

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DE  
GRÃOS DESIDRATADOS DE COZIMENTO RÁPIDO E PROCESSAMENTO INDUSTRIAL**

**VANDERLEIA SCHOENINGER**

**CASCAVEL - PR**

**OUTUBRO - 2015**

**VANDERLEIA SCHOENINGER**

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DE  
GRÃOS DESIDRATADOS DE COZIMENTO RÁPIDO E PROCESSAMENTO INDUSTRIAL**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento aos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Agroindustriais - Nível Doutorado, para obtenção do título de Doutor.

**Orientadora:** Dra. Silvia Renata Machado Coelho

**Coorientadora:** Dra. Priscila Zaczuk Bassinello

**CASCADEL - PR**

**OUTUBRO - 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S39c

Schoeninger, Vanderleia

Caracterização de cultivares de feijão para pré-processamento de grãos desidratados de cozimento rápido e processamento industrial./Vanderleia Schoeninger. Cascavel, 2015.

76 p.

Orientadora: Professora Dra. Sílvia Renata Machado Coelho

Coorientadora: Professora Dra. Priscila Zaczuk Bassinello

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Feijão enlatado. 3. Feijão de cozimento rápido. 5. Hidratação. 6. Bicarbonato de sódio. I. Coelho, Sílvia Renata Machado. II. Bassinello, Priscila Zaczuk. III. Sampaio, Sílvia César. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.


CDD 21. ed. 664

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

**VANDERLEIA SCHOENINGER**


"Caracterização de cultivares de feijão para pré-processamento de grãos desidratados de cozimento rápido e processamento industrial"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

  
Orientadora: Prof.ª Dra. Sílvia Renata Machado Coelho  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel

  
Prof.ª Dra. Janesca Alban Roman  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* de Toledo

  
Prof.ª Dra. Clair Aparecida Viecelli  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – *Campus* de Toledo

  
Prof.ª Dra. Ortência Leocádia Gonzalez da Silva Nunes  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Toledo  
(PNPD/CAPES)

  
Prof. Dr. Divair Christ  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel

Cascavel, 26 de outubro de 2015.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não  
é senão uma gota de água no mar. Mas o mar  
seria menor se lhe faltasse uma gota.”  
(Madre Tereza de Calcutá)

## BIOGRAFIA

Vanderleia Schoeninger, filha de Celson Schoeninger e Nailda Fátima Schoeninger, nasceu em Cascavel, Estado do Paraná, em 18 de dezembro de 1986. Em dezembro de 2004 concluiu o ensino médio no Colégio Estadual Mário Quintana, Cascavel - PR. Em fevereiro de 2005, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, graduando-se em dezembro de 2009, com menção honrosa pelo segundo lugar na turma. Durante a graduação desenvolveu atividades de pesquisa, participando de três projetos de iniciação científica, ligados às áreas de armazenamento e qualidade tecnológica de grãos, além de projetos de extensão como o *Unioeste em Ação* e o *Projeto Rondon*. No início do ano de 2012, concluiu o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, na área de Engenharia de Sistemas Biológicos Agroindustriais, na linha de pesquisa da Pós-Colheita, com o seguinte título para a dissertação: *Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento*. Em fevereiro de 2012, ingressou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, sob a orientação da Professora Doutora Silvia Renata Machado Coelho e coorientação da Professora Doutora Priscila Zaczuk Bassinello. Em 2014, realizou estágio sanduíche no *United States Department of Agriculture - USDA*, como bolsista do Programa PNDE- CAPES, onde sob a orientação do pesquisador Doutor José Jesus Berrios e desenvolveu pesquisas na área de alimentos extrudados à base de legumes e cereais.

Dedico ao meu companheiro Fabiano R. Gomes.

Aos meus irmãos Celson Jr. e Juliano Lucas.

À minha querida mãe Nailda.

Ao meu pai Celson Schoeninger (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por ter me dado o presente da vida e ser o meu suporte em cada segundo.

À minha família, pela força em todos os momentos, pelo caráter formado, pelo conhecimento e direcionamento: minha mãe Nailda, meus irmãos, meus avós e meu amigo e companheiro Fabiano, por todo apoio.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e a todos aqueles que fizeram parte da minha trajetória de formação durante esses dez anos na Unioeste.

À minha orientadora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, por ter conduzido minha trajetória profissional e científica durante todo esse tempo de trabalho em conjunto, desde a iniciação científica até o presente momento. Obrigada pela paciência, confiança, entusiasmo e ensinamentos importantes que levarei para toda vida.

À minha coorientadora Dra. Priscila Z. Bassinello, profissional admirável a quem agradeço muito, por ter compartilhado as ideias iniciais desse trabalho e estar à disposição em todos os momentos que precisei.

Ao professor Dr. Divair Christ por toda paciência e suporte estatístico, durante a condução do trabalho e por sempre me receber com um sorriso no rosto.

Aos professores membros da banca de avaliação: Dra. Janesca A. Roman, Dra. Clair A. Viecelli, Dra. Ortência L. G. S. Nunes e Dr. Divair Christ, por todas as contribuições realizadas neste trabalho, faço um agradecimento muito especial.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI. Aos docentes do PGEAGRI, por todo conhecimento compartilhado durante a realização dos créditos e nos demais momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pela concessão de bolsa, durante a realização dos estudos no Brasil e no exterior (Processo BEX 3175 – 14/6).

À Embrapa Arroz e Feijão, pela concessão de amostras de feijão para a realização deste experimento.

À *Conservas Oderich*, nas pessoas de Inez Dutra e Luciano Escobar, por todo o apoio e a liberação da estrutura para realização das atividades de processamento industrial do feijão.

Aos funcionários e técnicos da Universidade, em especial Lindonez Paiva e Vera Celita Schmidt, e ao técnico do Laboratório de Saneamento Ambiental, Edson Cunha, por estar sempre à disposição em nos ajudar.

Ao Dr. Jose de Jesus Berrios, por ter me recebido durante o estágio no USDA; ao pesquisador James Pan, por ter compartilhado tantos ensinamentos e metodologias durante esse meu período de estudos nos Estados Unidos.



Ao Eng. Agrônomo Rodrigo F. Soncela, por disponibilizar o maquinário, a área e o apoio técnico para o cultivo do material utilizado na segunda etapa deste trabalho.

Aos alunos da iniciação científica, que tanto ajudaram nesta pesquisa, nas atividades de campo e de laboratório, em especial: Carlos Alexandre Wunsch e Diandra Ganascini; cito também Carlos Henrique O. Paz e Vanessa Cassol, pela prontidão que sempre me atenderam.

Aos amigos tão especiais desta jornada: Rose Mary Q. Silochi, Tábata Z. Bischoff, Nathalie Kessler, Francielly Torres, Cristiane L. Paloschi, Flávia Cassol, Denise M. Grzegozewski, Rafaela Nicolau, Carla Limberger, Suzana Wrublack, Ariane Spiassi, Ana Julia B. Almeida, Peterson V. Pramiu, Fábio Pacheco, Micheli Tonini, Danielle Medina, Thaisa Pegoraro e Shaiane D. M. Lucas. Especial agradecimento a minha amiga Naimara V. Prado, por contribuir nas análises estatísticas deste trabalho. Enfim, a todos que dividiram comigo, durante esses quatro anos, momentos de muita alegria e companheirismo. Aos demais colegas do PGEAGRI, com os quais convivi durante as disciplinas e em outros momentos, também agradeço.

Enfim, obrigada a todos que direta ou indiretamente contribuíram com mais esta importante etapa em minha vida.

# CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA PRÉ- DE GRÃOS DESIDRATADOS DE COZIMENTO RÁPIDO E PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

## RESUMO

Atualmente uma alternativa alimentar que atende às demandas do consumidor moderno é o processamento industrial do feijão. Devido à necessidade de materiais científicos sobre processamento industrial do feijão na literatura nacional, objetivou-se na primeira etapa deste trabalho (Artigo 1) elaborar uma revisão de literatura sobre o tema. São apresentados alguns conceitos e detalhes do processamento industrial, das operações unitárias e dos parâmetros de qualidade avaliados no feijão enlatado. Na sequência (Artigo 2), apresentam-se os resultados do trabalho que avaliou a adaptabilidade de oito cultivares de feijão ao processamento industrial. Foram avaliados cultivares da classe comercial Carioca: BRS Pérola, BRS Estilo, BRS Ametista e BRS Notável; da classe Preto: IPR Uirapuru, BRS Campeiro, BRS Esteio e BRS Esplendor. Primeiramente, foram verificados os parâmetros físicos nos grãos: teor de água, aferição das dimensões, esfericidade, massa de 100 grãos, densidade, massa específica aparente, coeficiente de hidratação e componentes de cor. Em seguida, os grãos foram processados em uma indústria do setor, utilizando-se embalagens metálicas com capacidade de 420 g, nas quais as amostras foram acondicionadas sem o emprego de hidratação prévia. Como calda, utilizou-se água na temperatura de 75 °C e o processo de cozimento e esterilização foi realizado em autoclave rotativa. No feijão enlatado, avaliaram-se os parâmetros de qualidade: peso bruto, líquido e drenado, altura de *headspace*, índice de danos, cor, sólidos solúveis e sólidos totais no caldo, textura, acidez e pH. Os dados foram submetidos à análise multivariada: componentes principais e de agrupamento. Como resultado, verificou-se que, na classe Carioca, o cultivar BRS Estilo diferencia-se dos demais, devido ao baixo peso drenado que contribuiu para o aumento de sólidos totais no caldo, com baixos valores de dureza, não se adaptando ao tipo de processo utilizado neste experimento. Na classe Preto, observaram-se características de qualidade semelhantes entre BRS Esplendor e IPR Uirapuru, e entre BRS Esteio e BRS Campeiro, destacando-se esta última por apresentar menores índices de grãos danificados após o processamento. Por fim, no último trabalho (Artigo 3), apresentam-se informações sobre uma opção diferenciada de produto derivado do feijão, o desidratado de cozimento rápido, apontando-se detalhes sobre o processamento e a performance de diferentes cultivares brasileiros, assim como a qualidade tecnológica. No processamento do feijão desidratado de cozimento rápido foi empregado um delineamento composto central (DCC) com dois fatores. O primeiro fator foi cultivar, avaliando-se BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81; o segundo fator foi a concentração de NaHCO<sub>3</sub> (bicarbonato de sódio) empregado na hidratação, seguida da secagem dos grãos. Foram avaliados os parâmetros tempo de cozimento, índice de dano e diferença de cor no produto processado. Verificou-se que os efeitos nos parâmetros de qualidade são dependentes do fator cultivar, visto que BRS Estilo e BRS Madrepérola destacaram-se devido ao menor tempo de cozimento e diferença de cor, quando comparados ao BRS Pérola e IAPAR 81. Para BRS Estilo, o aumento na concentração de NaHCO<sub>3</sub> reduz significativamente o tempo de cozimento, com menor índice de dano quando comparado ao cultivar BRS Madrepérola. Por fim, com as informações presentes neste trabalho pretende-se contribuir com pesquisas futuras sobre o tema e dessa forma incrementar o consumo do feijão, seja na forma de um produto inovador como o desidratado de cozimento rápido ou na forma de enlatado.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L., feijão enlatado, feijão de cozimento rápido, hidratação, bicarbonato de sódio, secagem.

# CHARACTERIZATION OF BEAN CULTIVARS FOR PREPROCESSING OF DEHYDRATED QUICK-COOKING GRAINS AND INDUSTRIAL CANNING

## ABSTRACT

Currently an alternative that meets the demands of the modern consumer is the industrial processing. Due to the necessity of scientific materials about beans industrial processing in the national literature, then the objective in the first stage of this work (Paper 1) was prepare a review about this topic. Were presented some concepts and details of the industrial processing, unit operations and quality parameters evaluated in canned beans. In sequence (Paper 2) were presented the results of the study that evaluated the adaptability of eight bean cultivars for industrial processing. Cultivars evaluated were by commercial Carioca class: BRS Perola, BRS Estilo, BRS Ametista e BRS Notável and also the Black class: IPR Uirapuru, BRS Campeiro, BRS Esteio and BRS Esplendor. First the physical parameters of the grains were evaluated: water content, measurement of the size, roundness, weight of 100 seeds, density, bulk density, apparent moisture ratio and color components. Then the beans were processed at an industry of canning, using cans with a capacity of 420 g, in which the samples were put without the use of soaking. For sauce was used water at a temperature of 75°C and the cooking process and sterilization was performed in a rotary retort. The quality parameters were evaluated in canned beans: total, net and drained weight, *headspace*, damage index, color, soluble solids and total solids in the sauce, texture, acidity and pH. Data were submitted to multivariate analysis: Principal Components and Hierarchical Clustering. As a result it was found that the Carioca class BRS Estilo differs from others due to low drained weight that contributed to the increase of total solids in the broth, with low hardness values, not adapting to the type of process used in this experiment. In Black class were observed similar quality characteristics between cultivars BRS Esplendor and IPR Uirapuru, and between BRS Campeiro and BRS Esteio, especially this last one by having smaller index of damaged grains after processing. Lastly, in the last work (Paper 3) was presented information about a different option of product by beans, the quick cooking dehydrated, pointing details of the processing and the performance of Brazilian bean varieties, as well as the technological quality of the final product. In the processing of quick-cooking dried beans was used a Central Composite Design (CCD) with two factors. The first factor was cultivar, evaluating BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo and IAPAR 81. The second factor was concentration of NaHCO<sub>3</sub> used in soaking operation followed by drying of the beans. Were evaluated the parameters: cooking time, damage index and color difference in the processed product. It was found that the effects on these quality parameters are dependent upon the cultivar factor, because BRS Estilo and BRS Madrepérola stood out due to reduced cooking time and color difference when compared to BRS Pérola and IAPAR 81. For BRS Estilo cultivar the increased of NaHCO<sub>3</sub> concentration in the soaking reduced significantly the cooking time, with lower rates of damage when compared to BRS Madrepérola. Finally, the information in this work intends to contribute with future research on this topic and therefore increase the bean consumption, whether in the form of an innovative product like the quick cooking dehydrated or as canned beans.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L., canned beans, quick cooking beans; soaking, sodium bicarbonate, drying.

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>   | <b>xii</b> |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>  | <b>xiv</b> |
| <b>ARTIGO 1 - REVISÃO: ASPECTOS RELACIONADOS AO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DO FEIJÃO TIPO ENLATADO .....</b>           | <b>1</b>   |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O FEIJÃO .....</b>  | <b>2</b>   |
| <b>3 PROCESSAMENTO DO FEIJÃO.....</b>  | <b>7</b>   |
| 3.1 Processamento tipo enlatado .....  | 8          |
| 3.2 Etapas do processamento tipo enlatado.....   | 10         |
| 3.3 Parâmetros de qualidade do feijão enlatado .....   | 17         |
| <b>4 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>21</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>21</b>  |
| <b>ARTIGO 2 – ADAPTABILIDADE DE CULTIVARES BRASILEIRAS DE FEIJÃO AO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL TIPO ENLATADO .....</b> | <b>27</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>27</b>  |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>28</b>  |
| 2.1 Caracterização física dos grãos.....   | 29         |
| 2.2 Processamento industrial do feijão .....   | 31         |
| 2.3 Análise estatística.....   | 32         |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>33</b>  |
| 3.1 Parâmetros físicos de qualidade.....   | 33         |
| 3.2 Parâmetros de qualidade do feijão enlatado.....  | 36         |
| 3.3 Resultados para análises de correlação, ACP e análise de cluster.....  | 42         |
| <b>4 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>48</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>49</b>  |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| <b>ARTIGO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA SUBMETIDOS AO PROCESSAMENTO DE GRÃOS DESIDRATADOS DE COZIMENTO RÁPIDO .....</b> |  | <b>53</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>56</b> |
| 2.1  | Matéria-prima .....  | 56        |
| 2.2  | Processamento dos grãos .....  | 56        |
| 2.3  | Análises de qualidade realizadas no feijão desidratado de cozimento rápido ....              | 57        |
| 2.4  | Planejamento estatístico.....  | 58        |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>59</b> |
| 3.1  | Resultados relativos ao delineamento composto central (DCC) para todos os cultivares .....   | 59        |
| 3.2  | Resultados relativos ao novo processamento dos cultivares BRS Madrepérola e BRS Estilo ..... | 70        |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÕES .....</b>  | <b>72</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   |  | <b>73</b> |

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabela 1</b> | Tempo de maceração empregado no processamento do feijão em função do teor de água inicial do produto .....                            | 11 |
| <b>Tabela 2</b> | Tempos de processo e temperaturas da autoclave utilizadas no processamento de feijão cozido em função da capacidade da embalagem..... | 16 |

### ARTIGO 2

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Tabela 1</b> | Médias para os parâmetros físicos de qualidade da matéria-prima: teor de água (%), dimensões a, b e c (mm), esfericidade (%), massa de 100 grãos (g), densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ), massa específica aparente ( $\text{kg.m}^{-3}$ ), coeficiente de hidratação (CH) e parâmetros de cor $L_0^*$ , $a_0^*$ , $b_0^*$ , C e H dos grãos dos cultivares das classes comerciais Carioca: BRS Ametista, BRS Notável, BRS Pérola e BRS Estilo; e Preto: BRS Campeiro, BRS Esteio, BRS Esplendor e IPR Uirapuru .....  | 35 |
| <b>Tabela 2</b> | Médias para os parâmetros físicos de qualidade do feijão enlatado: PB: peso bruto (g); PL: peso líquido (g); PD: peso drenado (g); PPD: percentual de peso drenado (%); H: altura do <i>headspace</i> (mm), parâmetros de cor $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , C e H; índice de danos (%); textura ( $\text{N.grão}^{-1}$ ); SS: sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ); ST: sólidos totais (%); pH e acidez para os cultivares das classes comerciais Carioca BRS Ametista, BRS Notável, BRS Pérola e BRS Estilo; e Preto BRS Campeiro, BRS Esteio, BRS Esplendor e IPR Uirapuru ..... | 37 |
| <b>Tabela 3</b> | Estimativas das correlações de Pearson entre as variáveis de qualidade do feijão enlatado e da matéria-prima dos cultivares das classes comerciais Carioca e Preto .....   | 46 |

### ARTIGO 3

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabela 1</b> | Matriz do planejamento composto central (DCC) definindo os níveis iniciais estabelecidos das duas variáveis independentes do processo de produção do feijão Carioca desidratado de cozimento rápido ..... | 57 |
|-----------------|---|----|

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabela 2</b> | Caracterização dos parâmetros tempo de cozimento (TC) e componentes de cor L*, a* e b* (adimensionais) nos grãos considerados controle, ou seja, sem processamento.....   | 60 |
| <b>Tabela 3</b> | Resultados relativos ao delineamento composto central (DCC) para as variáveis dependentes: índice de dano (%), tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC%) e diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) dos grãos de feijão Carioca processados em relação ao controle de cada cultivar avaliado ..... | 61 |
| <b>Tabela 4</b> | Efeitos lineares principais dos fatores concentração de $\text{NaHCO}_3$ ( $\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ), cultivar e interação para cada combinação de dois cultivares de feijão avaliados na produção do feijão Carioca desidratado de cozimento rápido.....  | 65 |
| <b>Tabela 5</b> | Resumo das análises de regressão linear para as variáveis dependentes (VD) tempo de cozimento (TC), diferença de cor em relação ao controle ( $\Delta E^*$ ) e índice de dano (ID) para os grãos dos cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola processados em função de diferentes concentrações de $\text{NaHCO}_3$ .....                      | 70 |

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1** Fluxograma das operações unitárias para o processamento do feijão enlatado. 10

### ARTIGO 2

- Figura 1** Aparência dos grãos de feijão de diferentes cultivares brasileiras, das classes comerciais Carioca e Preto, após o processamento industrial tipo enlatado.... 40
- Figura 2** Biplot resultante da análise de componentes principais para os oito cultivares de feijão (expressas por ▲) com os parâmetros de qualidade da matéria-prima (identificados por ●) Ta: teor de água; a, b e c: dimensões do grão; M100: massa de 100 grãos, CH: coeficiente de hidratação,  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ : cor dos grãos não processados; e os parâmetros de qualidade do feijão enlatado (identificados por ●) PB: peso bruto, PL: peso líquido, PD: Peso drenado, PPD: percentual de peso drenado, Danos: índice de danos, Text: textura, SS: sólidos solúveis, ST: sólidos totais, Acidez, pH, *headspace* e  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e H: parâmetros de cor do produto processado. .... 45
- Figura 3** Dendrograma resultante da análise de cluster aglomerativa hierárquica para os oito cultivares brasileiros de feijão, avaliados no processamento industrial tipo enlatado. .... 47

### ARTIGO 3

- Figura 1** Aspecto visual das amostras de feijão processado através da hidratação em soluções de  $\text{NaHCO}_3$  seguida da secagem, resultantes dos 20 ensaios do Delineamento composto central (DCC). .... 62
- Figura 2** Diagramas para a interpretação dos resultados para a resposta tempo de cozimento (minutos) para as combinações do fator cultivar BRS Pérola x BRS Madrepérola (a,b), BRS Pérola x BRS Estilo (c, d) e BRS Pérola e IAPAR 81 (e,f), do planejamento composto central  $2^2$  juntamente com a representação dos modelos matemáticos em função dos fatores cultivar e concentração de  $\text{NaHCO}_3$ . .... 64
- Figura 3** Diagramas para a interpretação dos resultados para a resposta tempo de cozimento (minutos) para as combinações do fator cultivar BRS Madrepérola x



BRS Estilo (a, b), BRS Madrepérola x IAPAR 81 (c, d) e BRS Estilo x IAPAR 81 (e, f) do planejamento composto central  $2^2$  juntamente com a representação dos modelos matemáticos em função dos fatores cultivar e concentração de  $\text{NaHCO}_3$ . ..... 69

**Figura 4** Variáveis tempo de cozimento (a), índice de danos (b) e diferença de cor  $\Delta E$  (c) dos cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola em função da concentração de  $\text{NaHCO}_3$ , utilizada no processamento de grãos de feijão Carioca desidratado de cozimento rápido. .... 71

## ARTIGO 1 - REVISÃO: ASPECTOS RELACIONADOS AO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DO FEIJÃO TIPO ENLATADO

### 1 INTRODUÇÃO

Os legumes secos são fontes ricas em proteínas, de baixo custo, muito utilizados em todo o mundo, mas principalmente nos países em desenvolvimento. Depois da soja (*Glycine max*), o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L) é a Fabaceae mais importante e representa alto conteúdo de proteínas, amidos, fibras, vitaminas e minerais. É um alimento que apresenta propriedades culinárias interessantes para os consumidores do grão seco *in natura* e para as indústrias de processamento (OSORIO-DÍAZ *et al.*, 2002; ZAMINDAR *et al.*, 2013; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013).

O feijão é um alimento muito importante para o brasileiro e é, na junção deste grão com o arroz branco, o prato que mais o representa. Porém, na preparação do produto para ingestão, é necessário o processamento por cozimento, que por sua vez, requer um grande tempo de preparo doméstico. Com as mudanças culturais e econômicas que ocorreram nos últimos anos, como a inserção e concretização do espaço da mulher no mercado de trabalho, tarefas domésticas como cozinhar produtos que demandem maior tempo, deixaram de ser prioridade na rotina. O feijão, por ser um desses produtos, apresentou queda na aquisição doméstica nas últimas décadas. Em muitos casos, foi substituído por outros alimentos de preparo rápido. A necessidade de rapidez, comodidade e qualidade no preparo dos alimentos é uma realidade atual, e a indústria de processamento atua no sentido de atender estas aspirações do consumidor moderno.

Devido à necessidade de alternativas adequadas às exigências do consumidor de feijão no Brasil e em outros países, agregar valor, via processamento na indústria, oferecendo produtos semiprontos de qualidade nutricional, sensorial e de reduzido tempo de preparo e consumo, é uma necessidade atual (FERREIRA; WANDER, 2015). Pan *et al.* (2010) sugerem que o pré-processamento do feijão pode trazer benefícios como o aumento no valor do produto e a melhoria na rentabilidade dos agricultores e fabricantes de alimentos. Grãos de feijão em diferentes apresentações entre elas: desidratados, pré-cozidos, enlatados, feijão para forno micro-ondas, na formulação de cereal em flocos, congelados e refrigerados estão em alta demanda na indústria de alimentos, em restaurantes *fast-food*, alimentação escolar e também para os consumidores domésticos. De

acordo com Uebersax (2006), a indústria de alimentos, em parceria com universidades e institutos de pesquisa, deve concentrar esforços no processo de criação de produtos inovadores que sejam economicamente viáveis, de fácil acesso e preparo para os consumidores, e que apresentem qualidade culinária satisfatória.

Uma das principais formas de apresentação encontrada no mercado do grão processado é o feijão cozido, seguido do enlatamento, que é muito comum em países desenvolvidos da Europa e América do Norte. Nesse processo, o feijão é preparado, geralmente, por meio de operações de branqueamento dos grãos em água quente, envasamento, adição de salmoura e outros componentes, como o molho de tomate, a carne suína e os aditivos de sabor, para posterior envase hermético, seguido de processamento térmico. O feijão enlatado é um produto de características simples com grande aceitação no mercado internacional (UEBERSAX, 2006). No Brasil, o consumo ainda é pequeno, mas, nos últimos anos, vem ganhando a mesa dos brasileiros.

Este trabalho visa fornecer uma revisão da literatura que aborda informações a cerca do processamento industrial do tipo enlatado em feijão. Atualmente, no país são realizados poucos trabalhos dentro desta linha de pesquisa, pois o maior enfoque é para a qualidade tecnológica dos grãos para o consumo de mesa tradicional, na forma seca. Objetiva-se apresentar informações tanto para o meio acadêmico-científico quanto para a indústria brasileira de transformação do feijão tipo enlatado, contribuindo assim para o incremento de trabalhos nesta área.

## 2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O FEIJÃO

O feijão destaca-se no cenário mundial como uma leguminosa rica em proteínas e com alto valor nutricional, sendo uma das espécies mais cultivadas em todo o mundo. É considerado um alimento básico e uma alternativa de fonte proteica, que pode substituir produtos de origem animal. Além disso, o feijão é a segunda leguminosa mais produzida em todo o mundo, depois da soja (*Glycine max*), e é seguido do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e grão-de-bico (*Cicer arietinum*) (SLUPSKI, 2010; ERTAS, 2011; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013a; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013b). Juntamente com outras leguminosas como lentilha (*Lens culinaris*) e tremoço (*Lupinus albus*), o feijão é chamado de alimento dos ancestrais, visto que há relatos de seu cultivo no Vale do Nilo que data de 2000 a. C. Os grãos do gênero *Phaseolus* são reconhecidos como culturas do Novo Mundo, com origem no México, Guatemala e regiões dos Andes, apresentando uma enorme diversidade

genética, permitindo o cultivo em diferentes regiões (GRAHAM; RANALLI, 1997; UEBERSAX, SIDDIQ; 2013a).

Em relação ao consumo mundial, ocorrem mudanças devido à região geográfica, cultura da população, interações sociais e tradicionais, e aspectos relacionados ao próprio produto, como tipo de grão, cor, tamanho e forma de preparo (UEBERSAX; SIDDIQ, 2013a). O Brasil é o quarto consumidor mundial de feijão, com média, em 2013, de 16,07 kg.per capita.ano<sup>-1</sup>, sendo que nos anos de 2003 – 2013, o consumo médio no país foi de 16,08 kg.per capita.ano<sup>-1</sup> (ONU/FAO, 2015). Já a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) realizada no país comparou os dados de consumo aparente de feijão, ou seja, aquele que leva em consideração dados de estoque, produção, importação, exportação e estimativa da população, entre os anos de 2003 e 2009 e verificou que este passou de 16,3 para 17,6 kg.per capita.ano<sup>-1</sup>. Em contrapartida, observou-se, durante o mesmo período, uma diminuição significativa na aquisição domiciliar do feijão pelas famílias brasileiras, de 12,4, em 2003, para 9,1 kg.per capita.ano<sup>-1</sup>, em 2009, ou seja, uma redução de 26% (IBGE, 2012). O levantamento também aponta o aumento do consumo do produto fora do domicílio, isto é o brasileiro passou a consumir cerca de 24% do feijão fora de casa, destacando-se as mudanças nos hábitos alimentares na última década (IBGE, 2012; WANDER; CHAVES, 2011).

As principais classes de mercado comercial do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) consumidas mundialmente são feijão Preto, feijão Cranberry, Great Northern, Kidney, Navy, Pinto e Vermelho pequeno. O feijão Navy é o mais produzido e consumido nos Estados Unidos e também em países europeus, já o Kidney é mais importante na região da Índia (KELLY; CICHY, 2013; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013a; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013b; WANI *et al.*, 2013). O feijão Carioca do grupo cores é mais produzido e consumido no Brasil, porém, existem diferenças regionais em relação ao consumo do feijão. Na região sul, por exemplo, existe preferência por grãos do grupo preto, assim como em estados do sudeste, como o Rio de Janeiro (ALMEIDA; WANDER, 2011; SILVA *et al.*, 2012).

O feijão no Brasil é classificado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de acordo com a Instrução Normativa nº12, de 2008. Atualmente, esse documento é o instrumento que define o padrão oficial de classificação no país, com os requisitos de identidade, qualidade, amostragem, modo de apresentação e rotulagem do produto. O Regulamento Técnico apresentado nessa IN estabelece a classificação do produto em Grupos, Classes e Tipos. De acordo com a espécie vegetal, seguem-se dois grupos: o Grupo I, que inclui a feijão comum proveniente da espécie *Phaseolus vulgaris* L.; o Grupo II, no qual se incluem os grãos da espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp, conhecida como feijão-caupi. Os grãos de ambos os grupos são classificados de acordo com a coloração do tegumento e são admitidas quatro classes: branco, preto, cores e misturado.

Por fim, a classificação de Tipos se dá em função dos limites de tolerância de defeitos apresentados pelos grãos (BRASIL, 2008).

As características de qualidade comercial, importantes para o mercado mundial de feijão, além da classe, são: tamanho, formato e coloração do produto (BASSINELLO, 2008). No mercado brasileiro, os classificadores atribuem notas para o produto baseando-se na cor, índice de danos e impurezas, tamanho e também no teor de água da amostra. Lotes de feijão do grupo cores que apresentem coloração mais clara, com baixo teor de água, tamanho considerado bom e sem defeitos, recebem notas acima de 8,0 pontos e são rapidamente absorvidos pelo mercado. Grãos com tonalidade mais escura, tamanho pequeno e elevado teor de água recebem notas abaixo de 7,5 pontos, são grande parte da mercadoria ofertada nos períodos de entressafra (CONAB, 2015; BRASIL, 2001). A coloração sempre foi atribuída ao grão de forma subjetiva, por classificadores treinados. Nos últimos anos, alguns mercados passaram a utilizar o aparelho de mensuração da coloração chamado colorímetro (RIBEIRO; STORCK; POERSCH, 2008). Porém, ainda não foram estabelecidos os parâmetros ideais de cor dos grãos dentro desta mensuração.

Outro aspecto importante e que deve ser determinado nos grãos do feijão são parâmetros de qualidade tecnológica de caráter culinário, ou seja, aqueles que são observados pelos consumidores. Esses parâmetros compreendem a seguinte caracterização: capacidade de hidratação, taxa de expansão volumétrica após hidratação, tempo de cocção, espessura do caldo, índice de grãos danificados após a cocção, avaliação da coloração, aroma e sabor após a cocção (CORTE *et al.*, 2003; BASSINELLO, 2008; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013b). De acordo com Oliveira *et al.* (2012), os consumidores de feijão prezam por grãos com facilidade de hidratação, menor tempo de cocção, altas taxas de expansão e grãos inteiros, após o cozimento. Baixo tempo de cocção implica economia de tempo e energia no preparo do alimento (YOKOYAMA; STONE, 2000). Porém, cabe destacar que características de qualidade tecnológica podem ser influenciadas por fatores como: condições ambientais de produção, constituição genética, interação cultivar x ambiente, tempo e condições de armazenamento do produto (CARBONELL; CARVALHO; PEREIRA, 2003; COELHO *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O feijão é um alimento com alta qualidade nutricional e com destaque, nos últimos anos, para a sua alta qualidade funcional. Grãos de feijão comum são ótima fonte de proteína para dieta, com variação no conteúdo de 16 a 33%, além de também apresentarem baixo valor calórico (COSTA; VIEIRA, 2000; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2010; SLUPSKI, 2010; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013).

O conteúdo de carboidratos varia entre 55 e 65%, apresentados em três frações: amido, polissacarídeos não amiláceos (fibras alimentares) e alguns oligossacarídeos, como sucrose, estaquiose e rafinose. O amido está presente na maior proporção de 75 a 80%,

sendo classificado de acordo com a sua taxa de liberação de glicose e absorção no trato gastrointestinal em três frações: amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente. O destaque é para a última fração, o amido resistente que apresenta benefícios para a saúde como a diminuição do colesterol e níveis de glicose no sangue, devido aos efeitos hipoglicêmico e hipocolesterolêmico, prevenção de câncer do colo, além de ser substrato para desenvolvimento de organismos probióticos (COSTA; VIEIRA, 2000; OSORIO-DÍAZ *et al.*, 2002; SILVA, ROCHA; CANNIATTI-BRAZACA, 2009; AKILLIOGLU; KARAKAYA, 2010; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013; ZAMINDAR *et al.*, 2013).

As fibras alimentares estão presentes na composição do feijão na faixa de 3 a 7%, e são componentes considerados indigeríveis, formados por polissacarídeos complexos como celuloses, hemiceluloses, pectinas e lignina. Estas fibras alimentares se dividem em duas frações: fibras solúveis e insolúveis. A primeira está ligada a benefícios à saúde como redução de doenças cardiovasculares e a segunda apresenta efeitos protetores contra o câncer colorretal (ROCHA-GUZMÁN *et al.*, 2007; EYARU; SHRETHA, ARCOT, 2009; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013). Com o processamento do feijão para o consumo, ou seja, o cozimento doméstico ou industrial diminui o conteúdo de fibras e aumenta o conteúdo do amido resistente, porém essas alterações variam de acordo com as condições de processamento, origem botânica, cultivar, tempo de armazenamento e concentração de polissacarídeos complexos presentes no grão (OSORIO-DÍAZ *et al.*, 2002; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013).

O conteúdo de lipídios no feijão é baixo, variando de 1 a 3%, apresentando-se na forma de triglicerídeos e pequenas porções de ácidos graxos, esteróis, éster esteróis, fosfolipídios e glicolipídios (AZARPAZHOOH; BOYE, 2013). Há também vitaminas presentes no grão, destacando-se as hidrossolúveis como a tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B<sub>6</sub> e ácido fólico, este último responsável pelas sínteses de DNA (Ácido desoxirribonucleico), RNA (Ácido ribonucleico) e proteínas, muito importantes para desenvolvimento embrionário, prevenção de certos defeitos fetais e doenças cardiovasculares (COSTA; VIEIRA, 2000; SLUPSKI, 2010; ERTAS, 2011; XUE *et al.*, 2011). De acordo com But e Sultan (2011) e Slupski (2012), ocorre lixiviação significativa do conteúdo de algumas vitaminas após o tratamento térmico, perdas que variam de acordo com o cultivar e as formas de processamento utilizado.

Os minerais encontrados em maior concentração no grão do feijão são cálcio (Ca), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mn). O conteúdo de sódio é baixo, porém, com o processamento ocorre acréscimo na sua concentração devido à sua adição, assim como também ocorre para o Mn e P (COSTA; VIEIRA, 2000; ERTAS, 2011; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013). O fósforo apresenta-se na forma de ácido fítico, bem conhecido pelo seu efeito antinutricional. Este composto pode associar-se a cátions de

minerais e/ou proteínas devido à carga negativa da sua molécula que afeta a solubilidade, a funcionalidade, a digestibilidade e a absorção destes componentes (MECHI; CANIATTI-BRAZACA; ARTHUR, 2005; AKILLIOGLU; KARAKAYA, 2010; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2010; ERTAS, 2011).

Porém, o processamento do produto pode reduzir significativamente o conteúdo de ácido fítico, como observado por Ertas (2011), ao avaliar o efeito da hidratação e cozimento do feijão em condição pressurizada. Mariotto-Cezar *et al.* (2013) observaram a redução do ácido fítico presente no grão com o aumento do tempo de armazenagem do produto. Kelly e Cichy (2013) relatam pesquisas americanas atuais na área de melhoramento genético que vêm desenvolvendo cultivares com baixas concentrações de ácido fítico, por meio de mutações nas cadeias proteicas e, também, trabalhando na área de biofortificação, visando aumento nos níveis de Fe e Zn no grão de feijão.

Outros compostos, também chamados de antinutricionais, encontrados nos grãos de leguminosas como o feijão são os inibidores enzimáticos de proteases e de  $\alpha$ -amilase. O inibidor de protease mais conhecido é a tripsina com sua ação de impedir a digestão da proteína presente no grão. As  $\alpha$ -amilases são representadas pelos compostos rafinose, ciceritol, estaquiose e verbascose. São conhecidas por não serem digeridas no intestino fino e sim no grosso, ocorrendo então a emissão de gases, implicando na flatulência (SATHE, 2013). Já os compostos fenólicos são provenientes do metabolismo secundário das plantas, conhecidos pelos efeitos acarretados na cor, sabor e qualidade nutricional de grãos e legumes. Dentre eles, os taninos são o grupo de maior interesse para estudo em leguminosas, pois consistem em compostos fenólicos solúveis em água e que podem formar complexos insolúveis em água com proteínas e alcalóides (ROCHA-GUZMÁN *et al.*, 2007; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2010; SLUPSKI, 2010).

Problemas como a impermeabilidade no tegumento do grão de feijão e o escurecimento, no caso de cultivares da classe cores, estão associados aos altos índices de compostos fenólicos. A impermeabilidade e a dificuldade de amaciamento são consequências da formação de metabólitos como a quinona, via ação da catecol oxidase e de difenóis, resultando em atividade de polifenase, que gera o fenômeno conhecido como *hard-to-cook* (HTC), ou seja, grão de difícil cozimento (MONTEIRO *et al.*, 2005; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013b). Porém, os compostos fenólicos podem apresentar, também, efeitos benéficos à saúde humana, pela captação de radicais que interceptam oxigênio ativo e formam complexos estáveis, ocorrendo em alguns casos, efeito quimiopreventivo contra carcinogênese e atividades microbianas (MONTEIRO *et al.*, 2005; AZARPAZHOOH; BOYE, 2013). Em especial, cultivares dos grupos preto e cores apresentam maiores conteúdos de compostos fenólicos e desta forma são alternativas de alimento que apresenta ação

antioxidante (CAMPOS-VEJA; LOARCA-PINA; OOMAH, 2010; OOMAH *et al.*, 2011; MARIOTTO-CEZAR *et al.*, 2013).

Os efeitos benéficos da inclusão correta do feijão na dieta, aliado a bons hábitos alimentares e de vida, são apontados atualmente pela sociedade médica e por pesquisadores da área de saúde e promoção do produto, em todos os países do mundo. Os benefícios vão além da necessidade de proteína e energia na dieta para a população de países subdesenvolvidos. Em países desenvolvidos, o consumo está ligado, muitas vezes, à preocupação com a saúde e a melhoria na qualidade de vida. Os efeitos de redução e prevenção de doenças crônicas e metabólicas como diabetes e cardiovasculares são os que motivam a inserção desta leguminosa na alimentação (UEBERSAX, 2006). De acordo com Rondini, Barret e Bennink (2013), comer feijão diariamente pode ajudar a reduzir os efeitos das doenças citadas anteriormente, que hoje são responsáveis por 48% das mortes em todo o mundo.

### **3 PROCESSAMENTO DO FEIJÃO**

Apesar da importância elencada no item anterior, o tempo necessário para os processos de hidratação e cozimento dos grãos de feijão, faz com que muitos consumidores deixem de utilizar frequentemente o produto, implicando uma diminuição do consumo doméstico. Sugere-se, então, o emprego do processamento, atendendo assim às necessidades dos consumidores atuais, que inserem cada dia mais alimentos pré-processados na sua dieta.

De acordo com Uebersax e Siddiq (2013b), há várias formas de agregar valor via processamento para o feijão, com destaque para o enlatamento e para os produtos pré-cozidos na forma de feijão desidratado, congelado, extrudado, farinhas e concentrados proteicos.

No Brasil o feijão é atualmente comercializado na forma *in natura* para o cozimento, diferente de outros países onde o consumo do produto processado na forma de enlatado é superior ao produto em forma seca. A indústria de processamento de alimentos busca alternativas para incluir o feijão processado no mercado e no gosto do consumidor brasileiro. No Brasil, verificou-se que, na última década, ocorreu um aumento na produção e no espaço ocupado pelo feijão processado nas gôndolas dos supermercados. As indústrias processadoras de vegetais adaptaram suas plantas e incluíram o feijão como matéria-prima. O que se verificou entre os consumidores é uma melhora na qualidade sensorial do produto enlatado, contribuindo para o aumento do consumo (SOUZA, 2013).



Outro ponto importante, que contribuiu para o aumento do consumo do feijão processado no Brasil, foi a utilização de novas embalagens que vêm substituindo a lata de alumínio, dentre as quais se destacam as embalagens tipo sachê (*stand pouches*), *Tetra Pak* e *Tetra Recart* (com dispositivo que facilita a abertura).

Muitos países vêm investindo em tecnologia de processamento para o feijão. É o caso da África do Sul, onde 80% do feijão branco produzido são processados na forma de *baked beans* ou feijão cozido (MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006a). O país investiu nos últimos anos na avaliação de novos cultivares adaptados ao processo de enlatamento, além de adaptação ambiental e aceitabilidade pelos consumidores (MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006a; 2006b ).

De acordo com Merwe, Osthoff e Pretorius (2006b), o consumidor busca no feijão processado as seguintes características: textura, integridade dos grãos, cor e aparência, digestibilidade, facilidade e economia de energia no momento do preparo. A seguir são discutidos os aspectos relacionados ao processamento do feijão tipo enlatado.

### **3.1 Processamento tipo enlatado**

O feijão enlatado é uma alternativa de conveniência no mercado de alimentos, visto que quando comparado ao feijão seco, que requer tempo significativo de cozimento, traz para o consumidor maior comodidade no momento do preparo de suas refeições (ZANOVEC; O'NEIL; NICKLAS, 2011). No preparo do feijão seco, tradicional nas residências brasileiras, é necessária a etapa de molho, sendo em média de duas a quatro horas para grãos novos e 12 horas para grãos envelhecidos, seguida da etapa de cocção em panela de pressão, com duração de 20 a 40 minutos, dependendo da qualidade dos grãos (COELHO *et al.*, 2009). Já para o preparo do feijão enlatado, o consumidor utiliza um tempo menor, pois basta abrir a embalagem e transferir o conteúdo para outro recipiente e então realizar o aquecimento.

Com o aumento das demandas profissionais, sociais e financeiras sobre as famílias e a diminuição do tempo disponível para o preparo de alimentos, as escolhas alimentares ficaram baseadas em custo, gosto, conveniência, qualidade e tempo de preparo (FERREIRA; WANDER, 2015; ZANOVEC; O'NEIL; NICKLAS, 2011). Desta forma, o feijão enlatado é uma alternativa para estes consumidores, visto que é um alimento de fácil e rápido preparo.

O enlatamento de alimentos, como o feijão, tem como principal objetivo a preservação do produto, inibindo alterações químicas, enzimáticas e desenvolvimento

microbiológico. Esta técnica surgiu na França no ano de 1790, com Nicholas Appert, conhecido como o precursor dos enlatados, o primeiro a colocar alimentos em embalagens hermeticamente seladas e utilizar uma autoclave como equipamento de cozimento e esterilização. Mais tarde, Louis Pasteur demonstrou a relação entre a temperatura e a inativação microbiana. No século XX, a indústria de processamento de alimentos tipo enlatados expandiu-se nos Estados Unidos, Austrália e nos países Europeus, sendo então definidos padrões comerciais para os produtos e técnicas de processamento (MISHRA; SINHA, 2011).

Em relação ao consumo, observa-se que o feijão tipo enlatado é um produto bem aceito em todo o mundo. Nos Estados Unidos estão disponíveis diversas variedades na forma seca, porém, cerca de 60% da produção nacional de feijão são apresentadas na forma de enlatados (ZANOVEC; O'NEIL; NICKLAS, 2011).

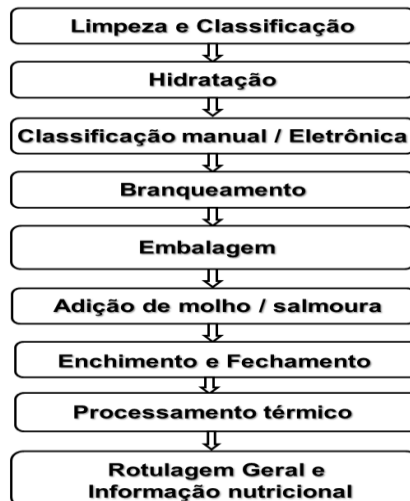
No Brasil este produto não é tão popular, visto que tradicionalmente os consumidores adquirem os grãos na forma seca. Porém, o que pode ser observado é que na última década surgiram diferentes marcas e tipos de embalagens nas gôndolas dos supermercados, oferecendo-se então a possibilidade do consumidor brasileiro experimentar o feijão processado. Almeida *et al.* (2012) realizaram pesquisa sobre o consumo de feijão tipo enlatado em um município do sul do país, Cascavel – PR, e verificaram que apenas 4,0% da população adquire e consome o feijão nesta forma de apresentação.

O processamento industrial produz alterações na qualidade nutricional dos grãos de feijão, no sentido de observar essas alterações, Zanovec, O'Neil e Nicklas (2011) avaliaram a composição de 8 tipos de feijão processados de forma doméstica e enlatado. Observaram a redução no teor calórico, de 130 Kcal no feijão preto processado na forma doméstica para 91 kcal no feijão preto enlatado; e 27% no teor de proteínas (de 8,2 para 6,0 g.100g<sup>-1</sup>). A pesquisa também aponta o aumento significativo no teor de sódio para os grãos enlatados, as amostras processadas na forma enlatada apresentaram média de 295 mg.100g<sup>-1</sup>. Esta é uma das problemáticas relevantes do feijão enlatado, visto que o sódio é considerado um dos grandes vilões na dieta, estando associado a alterações na pressão arterial e doenças coronarianas. Uma alternativa para a redução no nível de sódio consumido com o feijão enlatado é a realização da drenagem da calda do produto antes do consumo. Porém, independentemente do tipo de preparo, industrial ou doméstico, o feijão ainda é um alimento rico em nutrientes e deve ter seu consumo encorajado como parte de uma dieta saudável.

A seguir discutem-se as particularidades do processamento industrial do feijão e também as avaliações de qualidade no produto acabado.

### 3.2 Etapas do processamento tipo enlatado em feijão

Na Figura 1 apresentam-se as operações unitárias realizadas no processamento industrial do feijão enlatado (WHITE; HOWARD, 2013). Porém, destaca-se que, em algumas plantas industriais, estas etapas podem apresentar uma sequência diferenciada, de acordo com o tipo de produto e com o processo adotado.



**Figura 1** Fluxograma das operações unitárias para o processamento do feijão enlatado.

**Fonte:** White e Howard (2013).

O processo inicia-se com a limpeza e classificação da matéria-prima, utilizando-se máquinas de limpeza para remoção de materiais estranhos e de outras espécies vegetais. Também podem ser utilizados sistemas eletrônicos de inspeção visual para remoção de grãos partidos, descoloridos e fora do tamanho. Na segunda etapa do processamento ocorre a maceração ou hidratação dos grãos de feijão. O principal objetivo dessa etapa é promover a hidratação do cotilédone do grão, através da passagem da água por capilares presentes no tegumento e no hilo. Dessa forma, ocorre o amaciamento do produto para que em seguida possa ocorrer o cozimento. Em geral, o teor de água presente nos grãos de feijão, antes do processamento, varia entre 12% e 16%, porém, a meta do processo de maceração é obter grãos com cerca de 53% a 57% de teor de água (WHITE; HOWARD, 2013). Merwe, Osthoff e Pretorius (2006a) apontam como valores de capacidade de hidratação satisfatórias, ao final da maceração, no mínimo 80%.

A relação massa de grãos:volume de água utilizada na hidratação varia de acordo com o processo adotado pela indústria, mas, em geral, utiliza-se 1:3. Os grãos são mantidos em tanques de aço inox, em condições de temperatura ambiente por um período que varia de 8 a 16 horas, sendo o tempo de maceração inversamente relacionado com o teor de

água inicial dos grãos de feijão. Porém, em relação ao tempo de maceração, existem modificações no processo. Walters *et al.* (1997) e Posa-Macalincag *et al.* (2002) utilizaram para a etapa de maceração do processamento de feijão enlatado apenas 30 minutos, em condições de temperatura ambiente. De acordo com Zamindar *et al.* (2013), longos períodos de maceração podem ser prejudiciais, favorecendo proliferação microbiana. Mattela, Mishra e Dolan (2013) relacionam o tempo de maceração com o teor de água inicial do produto. Essa relação é apresentada na Tabela 1.

A temperatura também é um fator que pode afetar o processo de hidratação, em geral baixas temperaturas (10 °C a 35 °C) não promovem efeitos significativos no percentual de água absorvida pelos grãos (WHITE; HOWARD, 2013). Porém, em condições de hidratação em altas temperaturas, entre 40 °C e 60 °C, observa-se aumento na taxa de hidratação e redução de tempo para que grãos de feijão atinjam o máximo de hidratação, ou seja, o equilíbrio no processo de difusão (ABU-GHANNAM; MCKENNA, 1997; *et al.*, ).

**Tabela 1** Tempo de maceração empregado no processamento do feijão em função do teor de água inicial do produto

| Teor de água do feijão (%) | Tempo de maceração (horas) |
|----------------------------|----------------------------|
| 18                         | 8                          |
| 15                         | 10                         |
| 12                         | 12                         |
| 9                          | 14                         |

**Fonte:** Mattela, Mishra e Dolan (2013).

A temperatura também é um fator que pode afetar o processo de hidratação, em geral, baixas temperaturas (10 °C a 35 °C) não promovem efeitos significativos no percentual de água absorvida pelos grãos (WHITE; HOWARD, 2013). Porém, em condições de hidratação em altas temperaturas (40 °C a 60 °C) observam-se aumento na taxa de hidratação e redução de tempo para que grãos de feijão atinjam o máximo de hidratação, ou seja, o equilíbrio no processo de difusão (ABU-GHANNAM; MCKENNA, 1997; *et al.*, ).

Na indústria brasileira, observaram-se algumas particularidades em relação à etapa de maceração. É realizada em condições de temperatura ambiente, por um período de 10 horas, utiliza a relação de massa de produto e volume de água de 1:1,3 e a hidratação dos grãos é realizada em duas etapas. Na metade do tempo de maceração, ao final de 5 horas, a água de hidratação é retirada do tanque e um novo volume de água limpa é adicionado, que permanece até o final do processo. Algumas processadoras não utilizam esta etapa de

hidratação dos grãos, o produto é acondicionado diretamente na embalagem, recebe a salmoura e, em seguida, é encaminhado ao processamento térmico<sup>1</sup>.

Outro ponto de destaque é a qualidade da água utilizada na maceração. A quantidade do íon cálcio (Ca) presente na água de hidratação influencia significativamente a absorção e a textura do grão. Baixas concentrações de cálcio são responsáveis por grãos macios, enquanto altas concentrações causam resistência ao amaciamento do grão (WHITE; HOWARD, 2013). O cálcio é empregado no processamento do feijão enlatado, pois contribui no aumento da firmeza do produto final, característica esta exigida pelo mercado consumidor. O efeito do íon na textura ocorre devido ao endurecimento do tegumento e das paredes celulares dos cotilédones, pela formação de complexos de Ca e pectina (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2000). Outros aditivos são também apontados por Matella, Mishra e Dolan (2013), como o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), na concentração de, aproximadamente, 0,01%, que possibilita a formação de quelatos com o íon cálcio e ligações cruzadas com a pectina, contribuindo para a firmeza do produto. Outro aditivo citado é o bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), na concentração de 0,1 a 2%, com a função de aumentar o pH da água de maceração e aumentar a taxa de absorção. Em geral, a indústria utiliza na maceração a concentração de 0,025 mol.L<sup>-1</sup> de cálcio (POSA-MACALINCAG *et al.*, 2002).

Após a etapa de maceração, os grãos seguem para uma nova classificação, que pode ser realizada manualmente ou com auxílio de classificadores eletrônicos. O objetivo é a retirada de grãos que se partiram durante a hidratação ou tiveram o tegumento rompido, assim como a retirada de algum material estranho que tenha ficado na massa de grãos após a etapa de limpeza. White e Howard (2013) destacam a utilização de sistemas de separação por densidade e flutuação, que diferenciam o grão hidratado de outros materiais dentro do processo.

Após a retirada de grãos danificados na hidratação e de outros materiais estranhos, o próximo passo no processamento industrial é o branqueamento, que consiste em um tratamento térmico que utiliza alta temperatura e curto período de tempo de exposição dos grãos. De acordo com Yucel, Alpas e Bayindirli (2010), o branqueamento de leguminosas e vegetais é um método de pré-tratamento que tem como principal objetivo a inativação de enzimas, remoção de gases da superfície e de espaços intercelulares, evitando a oxidação e a descoloração do produto na prateleira, tendo também como benefício a redução de microrganismos patogênicos e deterioradores nos alimentos. Além disso, essa etapa também propicia o pré-aquecimento do produto antes do recebimento do molho ou

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal *in loco* realizada pela autora na indústria de conservas Quero, junto à responsável pelo setor de qualidade em 06/12/2012, no município de Nerópolis - GO, e também na Indústria de Conservas Oderich, no município de São Sebastião do Cai - RS, em 05/11/2013.

salmoura, conteúdo de preenchimento da embalagem que apresenta alta temperatura (MISHRA; SINHA, 2011). Cabe destacar também que, dentre as etapas do processamento do feijão enlatado, é no branqueamento que ocorre a maior geração de resíduo agroindustrial, um efluente rico em material orgânico que deverá ser tratado adequadamente (MISHRA; SINHA, 2011).

Existem vários processos comerciais de branqueamento praticados na indústria, de acordo com o tipo do grão e do cultivar empregado. Os parâmetros típicos para o branqueamento do feijão no processamento tipo enlatado são temperatura da água na qual os grãos são submersos, de 82 °C a 93 °C, por um período de 3 a 8 minutos (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013). Porém, são observadas diferenças no processo. Slupski (2012) utilizou no processamento do feijão, branqueamento com relação produto:água de 1:5 e temperatura de 96 °C – 98 °C, durante 3 minutos, ocorrendo em seguida o resfriamento em água fria durante 30 minutos. Walters *et al.* (1997) e Posa-Macalincag, *et al.* (2002) utilizaram no branqueamento do feijão a temperatura de 87 °C – 88 °C, durante 30 minutos, sem a etapa de resfriamento, promovendo boa hidratação e mínimo dano nos grãos. Em relação à indústria brasileira, observou-se que a etapa de branqueamento utiliza água na temperatura de 70 °C a 90 °C, por um período de 2 minutos, não se realizando a etapa de resfriamento<sup>2</sup>.

O processo segue então com o acondicionamento do produto nas embalagens. As embalagens mais utilizadas para o feijão processado industrialmente são as latas em alumínio, material seguro que garante proteção e preservação ao produto. Existem diversos tamanhos para estas embalagens, porém as mais utilizadas quando o processo apresenta as etapas citadas anteriormente - maceração por longo tempo em condição de temperatura ambiente (sem aquecimento) e branqueamento com alta temperatura em curto período de tempo - são as com capacidade de 198 – 227 g, 255 – 312 g, 396 – 454 g e 1,446 – 1,729 g (WHITE; HOWARD, 2013). A indústria brasileira utiliza em geral embalagens de alumínio com capacidade de 300 a 380 g e embalagens tipo *Tetra Recart* com capacidade de 340 – 380 g.

Em relação às embalagens, observou-se que as áreas de pesquisa, desenvolvimento e marketing das processadoras investiram nos últimos anos em conferir uma aparência moderna e prática ao produto para, desta forma, atrair mais consumidores. Surgiram então outras opções de embalagens para o feijão processado como a cartonada asséptica tipo longa vida, conhecida como *Recart* autoclavável, desenvolvida pela indústria Tetra Pak®, embalagem cartonada resistente à alta temperatura e pressão de vapor no sistema de

---

<sup>2</sup> Comunicação pessoal *in loco* realizada pela autora na indústria de conservas Quero, junto à responsável pelo setor de qualidade em 06/12/2012, no município de Nerópolis - GO, e também na Indústria de Conservas Oderich, no município de São Sebastião do Cai - RS, em 05/11/2013.

cozimento (WHITE; HOWARD, 2013). Outra embalagem inovadora é a tipo sachê (*stand-up pouch*), com base de alumínio e também em polipropileno, resistente termicamente e que permite ao consumidor o aquecimento do produto em aparelho micro-ondas. Essas embalagens são inovadoras e vêm ganhando mais importância na indústria, devido à conveniência, custo e considerações ambientais (MISHRA; SINHA, 2011).

Após o acondicionamento dos grãos na embalagem, ocorre a adição do molho ou salmoura com a seguinte proporção: cerca de 52% da capacidade da embalagem são preenchidos com feijão e 48% com o molho ou salmoura (WHITE; HOWARD, 2013). Existe uma grande variação na composição dos molhos e salmouras utilizados no feijão processado. Porém, fórmulas básicas para a salmoura apresentam a combinação de 1,8 - 3,0% (m/v) de cloreto de sódio (NaCl) e 3,6 - 5,4% (m/v) de açúcar. Na salmoura também são adicionados compostos químicos como o EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e o cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), pois estes contribuem na qualidade final do produto, aumentando a firmeza e diminuindo a perda de coloração do produto, no caso de cultivares do grupo cores (WHANG; CHANG, 1988). O efeito na coloração é explicado pela ação de quelatação do íon ferro e desta forma reduzindo a oxidação do feijão enlatado, ocorrendo menos alteração na cor do produto final (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013). Outros produtos podem ser também adicionados à salmoura, como alho, cebola, pimenta, molho de tomate, carne bovina e/ou suína, molhos adoçados, enfim, entre as indústrias processadoras existem muitas receitas que garantem ao feijão um sabor diferenciado dependendo da demanda regional do mercado.

A temperatura da salmoura ou molho no momento do preenchimento deverá estar próxima da temperatura dos grãos branqueados, de 82 °C a 93 °C, fixando melhor o vácuo no momento do fechamento da embalagem (SIDDIQ; BUT; SULTAN, 2011). Outro ponto importante a destacar, nessa etapa, é o não preenchimento completo da embalagem. É necessário deixar um espaço de cerca de um centímetro livre de produto, na extremidade da lata, espaço conhecido como *headspace* (WANG; CHANG, 1988). Esse espaço permite que durante a etapa de cozimento não ocorram imperfeições na embalagem (como estufamento da parte superior) e também a esterilização completa (MISHRA; SINHA, 2011).

Segue-se então o processo com o fechamento das embalagens. Porém, antes do selamento é necessária a redução do gás oxigênio presente no interior do conteúdo de preenchimento (grãos e salmoura). Segundo Mishra e Sinha (2011), esta etapa é fundamental para a manutenção do vácuo dentro da embalagem, além de que baixos níveis de oxigênio também impedem a descoloração, devido à oxidação de gorduras ou vitaminas e reduzem a corrosão interna na lata. Esta etapa é realizada com a injeção de um gás denso e inerte, como o gás carbônico, no interior do conteúdo de preenchimento, ocorrendo expulsão do oxigênio. Em seguida, coloca-se a tampa através de um processo de

rebitamento automático, sem que ocorra vedação total para retirada do oxigênio presente no *headspace*, seguindo-se com o apertamento e recravação, com fechamento total da embalagem de alumínio. Quando são utilizados outros tipos de embalagem, como cartonada asséptica, tipo longa vida ou tipo sachê, este processo também é realizado, ou seja, o oxigênio é retirado e a embalagem é lacrada automaticamente com auxílio de seladoras especificamente projetadas.

O processamento térmico é também uma das etapas mais importantes na industrialização do feijão, pois é responsável pelo cozimento e pela esterilização do produto, ou seja, possibilita a inativação de micro-organismos, garantindo, sob este ponto de vista, segurança alimentar. Essa etapa é conduzida em um aparelho hermético, conhecido como autoclave industrial, que utiliza diferentes meios de aquecimento na sua operação: água, vapor de água ou uma mistura dos dois, gerando um ambiente que propicia a transferência de calor para o interior do produto. As embalagens que saem da recravadora são acondicionadas dentro da autoclave e a mesma é fechada. A temperatura do processo varia entre 110 e 135 C, dependendo do meio de aquecimento e a condição de pressão utilizada é de  $1,04 \times 10^5$  Pa, ou seja, 1,06 Kgf.  $\text{cm}^{-2}$  (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013; MISHRA, SINHA, 2011; POSA-MACALING *et al.*, 2002; WALTERS *et al.*, 1997).

O tempo necessário para o cozimento e esterilização do produto é influenciado por alguns fatores como a resistência ao calor dos micro-organismos ou enzimas, as condições de aquecimento, pH do alimento e da embalagem utilizada (FELLOWS, 2006). Em relação à resistência térmica dos micro-organismos, devem-se considerar dois parâmetros: os valores D e Z. O valor D representa o tempo necessário para a destruição de 90% da população de um micro-organismo a uma certa temperatura, possibilitando, assim, reduzir a população a um décimo da inicial. Já o valor Z representa o número de graus centígrados que se deve aumentar a temperatura no processo, para que o tempo de deterioração seja reduzido em dez vezes. Os meios de aquecimento utilizados podem ser a água ou o vapor, o que varia a taxa de aquecimento, devido as suas propriedades termodinâmicas. O pH do feijão é não-ácido, ou seja, maior que 4,5, nesta faixa o micro-organismo esporulante resistente ao calor mais perigoso é o *Clostridium botulinum*, que pode produzir a toxina botulínica, e sua esterilização é requisito mínimo de segurança alimentar (FELLOWS, 2006; SPOTO; MIGUEL, 2006; MISHRA, SINHA, 2011; WHITE; HOWARD, 2013).

Em relação à embalagem, a penetração de calor até o centro da mesma é maior quanto menor for o seu tamanho. O material também influencia a taxa de penetração de calor devido à condutividade térmica, que é mais rápida em metal do que através do vidro ou do plástico. White e Howard (2013) apresentam tempos e temperaturas utilizadas no processamento do feijão em função do tamanho da embalagem de alumínio utilizada (Tabela 2).



Quanto ao tipo de autoclave utilizado no processamento industrial do feijão, existem no mercado diferentes tipos e mecanismos de trabalho. O modelo mais utilizado é a autoclave estática, na qual se têm o ambiente pressurizado com vapor de ar com constante suprimento, durante o processo de cozimento. Autoclaves rotativas também são utilizadas. Neste tipo de aparelho as embalagens são agitadas o que implica maiores taxas de transferência de calor para o produto, reduzindo assim o tempo de processo. Outro tipo de equipamento é a autoclave contínua, nesta as embalagens são transportadas de uma extremidade a outra do aparelho, ocorrendo, em alguns momentos, a agitação da esteira transportadora, com a peculiaridade de utilizar uma chama direta com alta temperatura, para o processo de cozimento e esterilização (MISHRA, SINHA, 2011).

Após o tratamento térmico, as embalagens são resfriadas com água na temperatura de 30 °C a 40 °C, isso previne deterioração por bactérias termofílicas. Além disso, a utilização do resfriamento também previne a deformação e esforços nas áreas recravadas da embalagem (WHITE; HOWARD, 2013). A identificação do lote, com a data de processamento e validade, é realizada após o resfriamento da embalagem. Em algumas plantas industriais, esta identificação é realizada antes do cozimento, com a impressão dos dados na cor preta e durante o cozimento e esterilização, a coloração é alterada tornando-se azulada, isso indica que o processo de esterilização foi eficiente.

Segue-se então a estocagem do produto em condições de temperatura ambiente e posterior distribuição comercial. Walters *et al.* (1997) e Posa-Macalincag *et al.* (2002) sugerem que as análises de qualidade e microbiológicas sejam realizadas duas semanas após o início da estocagem.

**Tabela 2** Tempos de processo e temperaturas da autoclave utilizadas no processamento de feijão cozido em função da capacidade da embalagem

| Capacidade da embalagem (g) | Temperatura mínima inicial °C | Tempo na autoclave (minutos) |        |        |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|--------|
|                             |                               | 116 °C                       | 118 °C | 121 °C |
| 375                         | 21                            | 95                           | 78     | 69     |
|                             | 38                            | 87                           | 75     | 66     |
|                             | 60                            | 81                           | 69     | 60     |
|                             | 82                            | 71                           | 60     | 52     |
| 500                         | 21                            | 110                          | 95     | 84     |
|                             | 38                            | 105                          | 89     | 79     |
|                             | 60                            | 95                           | 81     | 72     |
|                             | 82                            | 83                           | 70     | 62     |
| 570                         | 21                            | 115                          | 105    | 95     |
|                             | 38                            | 110                          | 100    | 86     |
|                             | 60                            | 105                          | 88     | 78     |
|                             | 82                            | 89                           | 76     | 67     |
| 700                         | 21                            | 125                          | 110    | 100    |

Fonte: White e Howard (2013).

### 3.3 Parâmetros de qualidade do feijão enlatado

O tratamento térmico em alimentos é responsável por perdas nutricionais, mas principalmente por perdas na qualidade sensorial, como alterações na coloração, aroma e textura do produto. Porém, não é possível generalizar essas perdas, pois variam de acordo com as condições e método de processamento utilizado (BUT; SULTAN, 2011).

A indústria americana estabeleceu padrões de qualidade para feijões enlatados, nos quais são avaliados parâmetros de cor, ausência de defeitos, consistência e sabor, atribuindo-se notas ao produto. A nota mais alta é atribuída a amostras de feijão consideradas padrão, com boa aparência, mínimos defeitos e sabor característico. Porém, o *Codex Alimentarius* está trabalhando no desenvolvimento de padrões mundiais para feijões enlatados (WHITE; HOWARD, 2013).

A qualidade do feijão enlatado refere-se a aspectos físicos, químicos, nutricionais e sensoriais. Porém, na indústria são avaliadas, primordialmente, características físicas e sensoriais, seguidas de alguns parâmetros químicos do produto.

Vale ressaltar que, para que haja alta qualidade do feijão enlatado, é necessária, primeiramente, uma matéria-prima de qualidade. Características como tamanho, coloração com aspecto de feijão novo e baixo índice de dano, são essenciais para que ao final do processamento obtenha-se um produto de qualidade para o consumo.

As principais características físicas avaliadas durante o processamento são a absorção de água, o coeficiente de hidratação e o índice de dano após hidratação. No produto final, são avaliados os seguintes parâmetros: medição do vácuo, altura do *headspace*, verificação do peso bruto, peso drenado, peso líquido, percentual de peso do produto drenado, aparência visual e tamanho dos grãos, textura, índice de danos, aglutinação e cor dos grãos drenados e do caldo (WHITE; HOWARD, 2013; MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006a; MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006b; HOSFIELD; GHADERI; UEBERSAX, 1984). Essas caracterizações serão descritas a seguir.

A absorção de água é mensurada ao final da etapa de maceração dos grãos, medindo-se a massa do produto. Com esse valor, juntamente com a massa inicial do produto é possível calcular o coeficiente de hidratação (CH), descrito pela expressão:

$$CH = \frac{\text{Massa dos grãos após a maceração (g)}}{\text{Massa dos grãos secos (g)}} \quad (1)$$

Coeficientes na faixa de 1,8 – 2,0 são considerados ótimos pela indústria e indicam grãos com boa hidratação (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2000).

No produto final avalia-se primeiramente a manutenção do vácuo dentro da embalagem, com a perfuração da tampa por um aparelho vacuômetro. Em seguida a embalagem é aberta e, com auxílio de uma régua graduada, é mensurada a altura do *headspace*. O peso bruto consiste na mensuração da massa da lata com o produto. Após, os grãos são drenados por dois minutos em uma peneira com tamanho 8 *mesh* (0,239 cm) colocada no ângulo de 20° e, em seguida, a massa drenada é mensurada. Com esse valor é possível calcular a porcentagem do peso drenado, de acordo com Merwe, Osthoff e Pretorius (2006a):

$$\text{Porcentagem do peso drenado (PPD)} = \frac{\text{Massa do produto drenado (g)}}{\text{Conteúdo total da embalagem (g)}} \quad (2)$$

A aparência visual é verificada por julgadores treinados que avaliam a presença de tegumentos soltos, integralidade do produto, uniformidade no tamanho dos grãos e coloração, além da consistência e coloração do caldo. A avaliação da aparência é importante na manutenção dos parâmetros de qualidade, além de ser um recurso para a indústria adequar seu processo e oferecer um produto próximo à preferência do consumidor (WHITE; HOWARD, 2013; POSA-MACALINCAG *et al.*, 2002). Merwe, Osthoff e Pretorius (2006a) apontam que a nota 10 deve ser atribuída à amostra que apresente grãos intactos, sem tegumentos desprendidos, com tamanho e coloração uniformes, brilhante e luminosa; a nota 1 deverá ser atribuída à amostras que apresentem grãos partidos, tegumento solto, cor opaca e caldo opaco e denso. Posa-Macalincag *et al.* (2002) sugerem que as amostras podem ser classificadas subjetivamente quanto à sua aparência global e aparência em danos, utilizando uma escala de 1 a 7 pontos, na qual a nota 7 indica que não ocorrem grãos partidos e quebrados, enquanto a nota 1 indica a ocorrência de muitos grãos quebrados, com tegumento trincado e presença de trincas em todas as dimensões do produto. As causas da divisão e rompimento do grão de feijão durante o processamento ainda não estão bem esclarecidas, porém, alguns fatores como genótipo, condição do grão na colheita, armazenamento, tipo de colheita e operações de limpeza e pré-limpeza podem afetar os índices de dano (POSA-MACALINCAG *et al.*, 2002).

A textura do feijão é mensurada numa amostra contendo 100 gramas do produto drenado, utilizando-se uma célula de carga padrão em um sistema hidráulico, denominado texturômetro, no qual se aplica um esforço durante 12 segundos, em intervalos de 0,1 segundo, sendo a unidade de resistência máxima do produto expressa em  $\text{Kg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} 12 \text{ s}^{-1}$  (MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006 a).

O grau de aglutinação do produto também é mensurado através da avaliação visual e atribuição de notas que variam em uma escala de 1 a 3. A nota 1 é atribuída às amostras de feijão que apresentam forte aglutinação no fundo da lata e a nota 3 é atribuída às

amostras com grãos soltos e não aglutinados (BALASUBRAMANIAN; SLINKARD; VANDERBERG, 1999).

A cor dos grãos e do caldo também deve ser avaliada, pois é uma característica muito apreciada pelo consumidor de feijão tipo enlatado. Muitos fatores alteram a coloração do produto durante o processamento como a degradação dos pigmentos, reações de escurecimento, oxidação do ácido ascórbico, acidificação e contaminação com metais pesados (GUZEL; SAYAR, 2012). Para a determinação da cor, utiliza-se um aparelho colorímetro no espaço de cor *Hunter Lab*, realizando-se a leitura das coordenadas de cor luminosidade (L), componente de cor vermelho-verde (a) e componente de cor amarelo-azul (b). Também poderão ser utilizados outros espaços de cor, como o CIELAB, obtendo-se os valores de L\*, a\* e b\* e calculando-se os parâmetros de cor cromaticidade (C\*) e ângulo de coloração (H\*). Para a determinação da cor deverão ser utilizadas duas amostras de cada embalagem e, para cada uma, devem ser feitas duas leituras, padronizando as irregularidades da superfície dos grãos (WHITE; HOWARD, 2013; MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006 a; HOSFIELD; GHADERI; UEBERSAX, 1984).

O teor de sólidos solúveis totais também é determinado no caldo do feijão processado pela leitura direta da graduação em °brix em um aparelho portátil ou de bancada, denominado refratômetro. Outra avaliação importante é a consistência do caldo, avaliada utilizando-se um viscosímetro (WHITE; HOWARD, 2013).

As avaliações químicas também são determinadas nas amostras após o processamento e os principais parâmetros são o teor de cloreto de sódio (NaCl), pH e acidez. O conteúdo de cloreto de sódio é, geralmente, mensurado utilizando-se o método potenciométrico em nitrato de prata. O pH indica a concentração de íons de hidrogênio na amostra, sendo medido diretamente com auxílio de um equipamento pHmetro de bancada ou portátil. A acidez indica compostos orgânicos do próprio produto ou adicionados durante o processamento e, também, aqueles que são resultado de alterações químicas (MISHRA, SINHA, 2011; WHITE; HOWARD, 2013). A caracterização nutricional do produto também poderá ser determinada com a avaliação do teor de fibras, amido e amido resistente, teor de água, cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos.

Com o processamento térmico, observam-se alterações em compostos nutricionais das leguminosas, como a oxidação de lipídeos, desnaturação de proteínas, redução da biodisponibilidade de alguns aminoácidos como a lisina, redução nos teores de vitaminas C, B1, B2, B3, B6 e ácido fólico (BUT; SULTAN, 2011; XUE *et al.*, 2011; SLUPSKI, 2012; MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013).

O amido é o carboidrato presente em maior concentração no feijão e, durante as etapas de processamento, hidratação e cozimento, ocorrem alterações na estrutura dos grânulos seguido da gelatinização (LOBO; SILVA, 2003; EYARU; SHRESTHA; ARCOT,

2009; GUZEL; SAYAR, 2012). A lixiviação do amido para a água de cozimento também pode ocorrer durante o cozimento. Guzel e Sayar (2012) avaliaram o efeito do método de cozimento do feijão nas frações de amido, observaram que a utilização da alta pressão aumenta os níveis de amido resistente e diminui os níveis do lentamente digerível. As mudanças ocorridas na digestibilidade do amido também são influenciadas por fatores como o cultivar, a presença de danos no grão (tegumento partido no início do processamento), morfologia dos grânulos de amido e sua distribuição ao longo do grão, razão amilose/amilopectina e também níveis de outros nutrientes (OSORIO-DIAZ *et al.*, 2002; EYARU; SHRESTHA; ARCOT, 2009).

Os oligossacarídeos presentes no grão de feijão, em especial a rafinose e estaquiose, são conhecidos por causar flatulência. Com o processamento observa-se a redução nos índices destes compostos, devido à lixiviação dos mesmos para a água de hidratação e de cozimento (WHITE; HOWARD, 2013).

Em relação às proteínas do feijão enlatado, observam-se alterações, devido à lixiviação, desnaturação e interações com fatores antinutricionais (XU; CHANG, 2008; MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013; WHITE; HOWARD, 2013). Os compostos antinutricionais como os fenólicos totais, taninos, aminoácidos não-proteicos, cianeto de hidrogênio, ácido fítico e inibidores de tripsina, são assim denominados devido a apresentarem efeitos adversos na disponibilidade de proteínas e minerais (MECHI; CANIATTI-BRAZACA; ARTHUR, 2005). Porém, durante o processamento é possível observar redução significativa destes compostos. Kalpanadevi e Mohan (2013), avaliando o efeito do processamento térmico nos compostos antinutricionais do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L), apontam que a hidratação e o tratamento térmico pressurizado reduzem cerca de 100% da atividade dos inibidores de tripsina, 12% os compostos fenólicos totais, 76% de taninos e 71% a concentração de ácido fítico.

Alguns dos compostos citados vêm sendo descritos não apenas por sua característica nutricional negativa, pois podem apresentar uma diversidade de efeitos benéficos no organismo. O ácido fítico, por exemplo, apresenta a habilidade de inibir as  $\alpha$ -amilases, logo contribui para redução do índice glicêmico, além de atuar como anticarcinogênico e antioxidante, sendo desta forma benéfico para a saúde humana (SILVA; SILVA, 1999). Redan, Vinson e Coco Jr. (2013) avaliaram o conteúdo de compostos fenólicos totais em nove cultivares de feijão enlatado e de acordo com os autores o conteúdo encontrado em uma porção é o mesmo oferecido em frutas e vegetais, considerando o produto como uma alternativa para alimentação saudável e preventiva. Percebe-se então, que estas controvérsias, em relação aos compostos antinutricionais, estão aos poucos sendo esclarecidas por pesquisas em todo o mundo.

## 4 CONCLUSÃO

Com o as informações apresentadas nesta revisão foi possível ressaltar a importância do feijão na dieta, sendo considerado um alimento rico nutricionalmente e que deve estar sempre na mesa do consumidor. Foram apresentadas as particularidades do processamento industrial do feijão, com alguns detalhes do processo e características de qualidade do produto final. O processamento agrega valor ao feijão e poderá contribuir com o aumento na inserção do grão na dieta de consumidores que buscam produtos de qualidade e fácil preparo. Logo o aumento no consumo implicaria maiores produções tanto em sistemas com alta tecnologia quanto em unidades de produção familiar que, atualmente, são responsáveis pela maior parcela da produção brasileira de feijão. Espera-se então, com este trabalho, contribuir com a cadeia produtiva do feijão brasileiro, para que o processamento industrial aumente suas demandas tanto em mercado interno quanto para futuras exportações do produto.

## REFERÊNCIAS

- ABU-GHANNAM, N.; MCKENNA, B. Hydration kinetics of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, Malden, v. 62, n. 3, p. 1-3, 1997.
- ALMEIDA, A. J. B.; SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; SILVA, A. C.; OLIVEIRA, D. M. Perfil dos consumidores de feijão na cidade de Cascavel – Paraná. CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA - CLIA, 10; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 41, 2012 Londrina – PR. **Anais...** Londrina - PR: p. 1-4.
- ALMEIDA, P. R. V.; WANDER, A. E. Análise de uma potencial cadeia de exportação de feijões sob a ótica da nova economia institucional. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. p. 1-4.
- AKILLIOGLU, H. G.; KARAKAYA, S. Changes in total phenols, total flavonoids, and antioxidant activities of common beans and pinto beans after soaking, cooking and in vitro digestion process. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 19, n. 3, p. 633-639, 2010.
- AZARPAZHOOH, E.; BOYE, J. I. Composition of processed dry beans and pulses. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 103 - 128.
- BALASUBRAMANIAN, P.; SLINKARD, A.; VANDERBERG, A. Genotype and environment effect on caning quality of dry bean grown in Saskatchewan. **Canadian Journal of plant science**, Ottawa, v. 79, n. 1, p. 335-342, 1999.

BALASUBRAMANIAN, P.; SLINKARD, A.; TYLER, R.; VANDERBERG, A. A modified laboratory canning protocol for quality evaluation of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 80, p. 732-738, 2000.

BASSINELLO, P. Z. Qualidade na escolha de variedades de feijão para o mercado consumidor. **Atualidades em micotoxinas e armazenagem qualitativas de grãos II**. 1. ed. Florianópolis: Imprensa Universitária, 2008. 586 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008**. Estabelece o Regulamento Técnico do Feijão. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/sanidade-vegetal/legislacao>. Acesso em: 12 fev. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Registro Nacional de Cultivares - RNC. **Anexo IV**. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no registro nacional de cultivares. 2001. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 12 fev. 2015.

BUT, M. S.; SULTAN, M. T. Nutritional profile of vegetables and its significance to human health. *In*: SINHA, N. K. **Handbook of vegetables & vegetable processing**. Ames: Wiley & Sons, 2011. p. 243-258.

CAMPOS-VEJA, R.; LOARCA-PINA, G.; OOMAH, B. D. Minor components of pulses and their potential impact on human health. **Food Research International**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 461-482, 2010.

CARBONELL, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; NÓBREGA, L. H. P.; LEITE, C. F. R. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 539-544, mar./abr., 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016. **Observatório Agrícola**, v. 3, n. 1, Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>. Acesso em: 15 out. 2015.

CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

COSTA, J. G. C.; VIEIRA, N. R. A. Qualidade, classificação e manejo pós-colheita. *In*: YOKOYAMA, L.P.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da produção. Santo Antônio de Goiás – GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 51-64.

ERTAS, N. The effects of aqueous processing on some physical and nutrition properties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Health & Nutrition**, Daves, v. 2, n.1, p. 21-27, 2011.

EYARU, R.; SHRESTHA, A. K.; ARCOT, J. Effect of various processing techniques on digestibility of starch in Red Kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) and two varieties of peas (*Pisum sativum*). **Food Research International**, Campinas, v. 42, p. 956-962, 2009.

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

FERREIRA, C. M.; WANDER, A. E.; **Consumo de feijão**. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_62\\_1311200215103.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_62_1311200215103.html). Acesso em: 12 jun. 2015.

GRAHAM, P. G.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Bonn, v. 53, n. 1, p. 131-146, 1997.

GUZEL, D.; SAYAR, S. Effect of cooking methods on selected physicochemical and nutritional properties of barlotto bean, chickpea, faba bean, and white kidney bean. **LWT - Journal of Food Science and Technology**, Zurich, v. 49, n. 1, p. 89-95, 2012.

HOSFIELD, G. L.; GHADERI, A.; UEBERSAX, M.A. A factor analysis of yield and sensory and physico-chemical data from tests used to measure culinary quality in dry edible beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 64, n. 1, p. 285-293, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa de orçamento familiar. Brasileiro come menos arroz com feijão e mais comida industrializada em casa. **IBGE, Comunicação Social**. 16 dez. 2012. Disponível em: [http://www.ibge.com.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1788&id\\_pagina=1](http://www.ibge.com.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1788&id_pagina=1), Acesso em: 14 ago. 2015.

KALPANADEVI, V.; MOHAN, V.R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subs. *unguiculata*. **LWT - Journal of Food Science and Technology**, Zurich, n. 51, v.1, p. 455-461, 2013.

KELLY, J. D.; CICHY, K. A. Dry bean breeding and production technologies. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 23-54.

LOBO, A. R.; SILVA, G. L. M. Amidos resistentes e suas propriedades físico-químicas. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

MARIOTTO-CEZAR, T.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SCHOENINGER, V.; ALMEIDA, A. J. B. Nutritional and antinutritional factors during the storage process of common bean. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 268-272, 2013.

MATELLA, N. J.; MISHRA, D. K.; DOLAN, K. D. Hydration, blanching and thermal processing of dry beans. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 129-154.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.

MERWE, D. V. D.; OSTHOFF, G.; PRETORIUS, A. J. Evaluation and standardization of small-scale canning methods for small white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in tomato sauce. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 86, p. 1115-1124, 2006a.

MERWE, D.V.D.; OSTHOFF, G.; PRETORIUS, A.J. Comparison of the canning quality of small white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in tomato sauce by a small-scale and an industrial method. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 86, p. 1146-1156, 2006b.



MISHRA, D. K.; SINHA, N. K. Principles of vegetable canning. *In*: SINHA, N. K. **Handbook of vegetables & vegetable processing**. Ames: Wiley & Sons, 2011. p. 243-258.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAUJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 892-896, 2005.

OLIVEIRA, D. P.; VIEIRA, N. M. B.; SOUZA, H. C.; MORAIS, A. R.; PEREIRA, J.; ANDRADE, M. J. B. A. Qualidade tecnológica de grãos de cultivares de feijão-comum na safra das águas. **Semina**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1831-1838, 2012.

OOMAH, B. D.; LUC, G.; LEPRELLE, C.; DROVER, J. C. G.; HARRISON, J. E.; OLSON, M. Phenolics, phytic acid, and phytase in canadian-grown low-tannin faba bean (*vicia faba* L.) Genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Daves, v. 59, p. 3763-3771, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO. **Dados de produção, consumo e mercado do feijão**. 2013. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#HOME>, Acesso em: ago. 2015.

OSORIO-DIAZ, P.; BELLO-PÉREZ, L.A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; VARGAS-TORRES, A.; TOVAR, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**, Reading, n. 78, p. 333 – 337, 2002.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

POSA-MACALINCAG, M.; HOSFIELD, G. L.; GRAFTON, K.F.; UEBERSAX, M.A.; KELLY, J.D. Quantitative Trait Loci (QTL) analysis of canning quality traits in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 127, n. 4, p. 608-615, 2002.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B.; REIS, F.P. Zinc bioavailability in different beans as affected by cultivar type and cooking conditions. **Food Research International**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 573-581, 2010.

REDAN, B. W.; VINSON, J. A.; COCO JR., M. G. Effect of thermal processing on free and total phenolics in nine varieties of common beans. **International Journal of Food Science and Nutrition**, Parma, v. 64, n. 2, p. 243-247, 2013.

RIBEIRO, N. D.; STORCK, L.; POERSCH, N. L. Classificação de lotes comerciais de feijão por meio da claridade do tegumento dos grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2042-2045, 2008.

ROCHA-GUZMÁN, N. E.; GONZÁLEZ-LAREDO, R. F.; IBARRA-PÉREZ, F. J.; NAVABERÚBEM, C. A.; GALLEGOS-INFANTE, J. A. Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Food Chemistry**, Reading, v. 100, n. 1, p. 31-35, 2007.

RONDINI, E. A.; BARRET, K. G.; BENNINK, M. R. Nutrition and human health benefits of dry beans and pulses. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 359-377.

SATHE, S. K. Chemistry and implications of antinutritional factors in dry beans and pulses. *In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. Dry beans and pulses: production, processing and nutrition.* Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 359-377.

SIDDIQ, M.; BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Dry Beans: Production, Processing, and Nutrition. *In: SINHA, N.K. Handbook of vegetables & vegetable processing.* Ames: Wiley & Sons, 2011. p. 545-564.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 5–19, 1999.

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**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; MAIA, L. G. S. Chemical composition as related to seed of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 132-137, 2012.

SLUPSKI, J. Effect of freezing and canning on the thiamine and riboflavin content in immature seeds of five cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Refrigeration**, Stuttgart, v. 35, n. 1, p. 890-896, 2012.

SLUPSKI, J. Effect of cooking and sterilization on the composition of amino acids in immature seeds of flageolet bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Food Chemistry**, Reading, v. 121, n. 1, p.1171-1176, 2010.

SPOTO, M. H. F.; MIGUEL, A. C. A. Processamento mínimo e congelamento. *In: OETTERER, M.; D'ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos.* São Paulo: Manole, 2006. p. 453-479.

SOUZA, C. C. **Produção e suprimento mundial de feijão.** 2013. Disponível em: [http://www.agrolink.com.br/colunistas/producao-e-suprimento-mundial-de-feijao\\_4813.html](http://www.agrolink.com.br/colunistas/producao-e-suprimento-mundial-de-feijao_4813.html). Acesso em: maio 2015.

UEBERSAX, M. A.; SIDDIQ, M. Postharvest storage quality, packaging and distribution of dry beans. *In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. Dry beans and pulses: production, processing and nutrition.* Ames: John Wiley & Sons, 2013a. p. 75-100.

UEBERSAX, M. A.; SIDDIQ, M. Market classes and Physical and Physiological characteristics of dry beans. *In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. Dry beans and pulses: production, processing and nutrition.* Ames: John Wiley & Sons, 2013b. p. 55-74.

UEBERSAX, M. A. Dry edible beans: indigenous staple and healthy cuisine. **Forum on Public Policy.** Urbana, A Journal of the Oxford round table. 2006. Disponível em: <http://www.forumonpublicpolicy.com/archive06/uebersax.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

WALTERS, K. J.; HOSFIELD, G. L.; UEBERSAX, M. A.; KELLY, J. D. Navy bean canning quality: correlations, heritability estimates, and randomly amplified polymorphic DNA markers associated with component traits. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 122, n. 3, p. 338-343, 1997.

WANDER, A. E.; CHAVES, M. O. Consumo per capita de feijão no Brasil de 1998 a 2010: uma comparação entre consumo aparente e consumo domiciliar. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. Anais...* Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. p. 1-4.

WANG, C.R.; CHANG, S.K.C. Effect of Selected Canning Methods on Trypsin Inhibitor Activity, Sterilization Value, and Firmness of Canned Navy Beans. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 36, p. 1015-1018, 1988.

WANI, I. A.; SOGI, D. S.; WANI, A. A.; GILL, B. S. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **LWT – Food Science and Technology**, Zurich, v. 53, n. 1, p. 278-284, 2013.

WHITE, B.; HOWARD, L. R. Canned whole dry beans and bean products. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 155-183.

XU, B. J.; CHANG, S. K. C. Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 73, n. 2, p. 19-27, 2008.

XUE, S.; YE, S.; SHI, J.; JIANG, Y.; LIU, D.; CHEN, J.; SHI, A.; KAKUDA, Y. Degradation kinetics of folate (5-methyltetrahydrofolate) in navy beans under various processing conditions. **LWT – Journal of Food Science and Technology**, Zurich, v. 44, n. 1, p. 231-238, 2011.

YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. Características da produção. *In*: YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. **Cultura do feijoeiro no Brasil: características da produção**. Santo Antônio de Goiás - GO : Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 31-50.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 98, n. 1, p. 266–272, 2010.

ZANOVEC, M.; O'NEIL, C. E.; NICKLAS, T. A. Comparison of Nutrient Density and Nutrient-to-Cost between Cooked and Canned Beans. **Food and Nutrition Sciences**, Irvine, v. 2, p. 66-73, 2011.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 50, n. 1, p. 108-114, 2013.

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**, Londrina, 30, n. 3, p. 619-628, 2009.

## ARTIGO 2 – ADAPTABILIDADE DE CULTIVARES BRASILEIRAS DE FEIJÃO AO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL TIPO ENLATADO

### 1 INTRODUÇÃO

O feijão destaca-se no cenário mundial como uma Fabaceae rica em proteínas e com alto valor nutricional, sendo uma das espécies mais cultivadas em todo o mundo. É considerado um alimento básico e a principal fonte proteica vegetal. Além disso, o feijão comum *Phaseolus vulgaris* L. é a segunda leguminosa mais produzida mundialmente, depois da soja, seguido do feijão-caupi e o grão-de-bico (OSORIO-DÍAZ *et al.*, 2002; BASSINELLO, 2009; SLUPSKI, 2010; ERTAS, 2011; SIDDIQ; BUT; SULTAN, 2011; UEBERSAX, SIDDIQ, 2013).

O processamento industrial do feijão através do enlatamento é uma prática comum em muitos países, nos quais há o hábito consolidado de consumo desse tipo de produto (WHITE; HOWARD, 2013). De acordo com Pedrosa *et al.* (2015), o feijão processado industrialmente é um alimento que apresenta perfil nutritivo adequado, com boa fonte de proteínas, fibras dietéticas, minerais, além de baixo conteúdo de gordura e presença de compostos bioativos que apresentam efeitos benéficos na saúde, como o controle glicêmico e a redução de risco para alguns tipos de câncer. No Brasil, o feijão é consumido tradicionalmente na forma seca, porém, nos últimos anos, observou-se incremento de opções de grãos processados no mercado. O consumidor busca no feijão processado características como textura, integridade dos grãos, cor e aparência, digestibilidade, facilidade e economia de energia no momento do preparo (MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006b).

Porém, são verificadas alterações de qualidade no grão submetido ao processamento industrial tipo enlatado, devido a diversos fatores como diferenças entre os cultivares, ambiente de cultivo, efeito cultivar x ambiente, considerado significativo na qualidade do feijão processado, além das condições e tempo de armazenamento da matéria-prima (MENDOZA *et al.*, 2014; KELLY; CICHY, 2013; POSA-MACALINCAG *et al.*, 2002; LANGE; LABUSCHAGNE, 2000; WALTERS *et al.*, 1997; HOSFIELD; GHADERI; UEBERSAX, 1984). A seleção de matéria-prima também muitas vezes é vista como problemática, pois, em muitas empresas, é realizada apenas através de uma análise visual por um grupo treinado, que avalia apenas um número limitado de parâmetros de qualidade,

como capacidade de hidratação, peso drenado, tamanho do grão e índice de dano. Outras questões relacionadas à textura e coloração acabam não sendo verificadas, e o produto muitas vezes pode não apresentar aceitação no mercado (MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006a).

Pesquisas no Brasil sobre processamento industrial tipo enlatado para a espécie *Phaseolus vulgaris* L., atualmente são pouco realizadas, devido ao fato do consumidor local não apresentar hábito de utilizar este tipo de produto (FERNANDES, 2010; WANDER; BASSINELO; RICARDO, 2006). Contudo, foram verificados alguns trabalhos no país em torno do processamento da espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp, que por sua vez apresenta grande aceitação por parte dos consumidores em várias regiões brasileiras (BENEVIDES *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2003; FORTUNATO; MAGALHÃES; MARIA, 2000; LIMA *et al.*, 2000). A industrialização dos alimentos é uma maneira de garantir o abastecimento racional e regular para os consumidores (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008). Logo, para o mercado do feijão, o processamento industrial é uma alternativa interessante. Apresentar informações e soluções para a indústria de transformação do feijão, além de oferecer indicativos para programas de melhoramento, atualmente se faz necessário. Para Khanal *et al.* (2015), uma variedade de feijão de sucesso não implica apenas altas produções no campo, mas deve apresentar valor em toda a cadeia produtiva. O genótipo ideal deverá apresentar performance agrônômica superior e também sustentar um nível aceitável de qualidade para o enlatamento, indiferente do local de cultivo.

Com base no exposto o objetivo do presente estudo foi avaliar parâmetros de qualidade em oito cultivares de feijão brasileiro, submetidos ao processamento industrial tipo enlatado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas (LACON) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado no *campus* de Cascavel. Foram utilizados grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), recém colhidos, de diferentes cultivares das classes comerciais Carioca e Preto, produzidas na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás – GO, na safra de inverno de 2013. Os cultivares da classe Carioca avaliados foram: BRS Pérola, BRS Estilo, BRS Ametista e BRS Notável; e os da classe Preto: IPR Uirapuru, BRS Campeiro, BRS Esteio e BRS Esplendor. Como critério de seleção aplicado aqui, para o estudo destes cultivares, aponta-se que todos apresentam atualmente sementes no

mercado com potencial de produção, ciclos semiprecoce e normal, com produtividade média que varia entre 2.529 e 4.472 kg.ha<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2013; PEREIRA *et al.*, 2013; IAPAR, 2015). De acordo com algumas processadoras no país, os cultivares BRS Pérola e IPR Uirapuru são considerados melhores adaptados ao processamento industrial tipo enlatado no país. Após a colheita, os grãos passaram pelo processo de secagem natural em condições ambientais e, em seguida, encaminhados ao laboratório, onde foram acondicionados em embalagens plásticas sob refrigeração, em temperatura de 5 ± 1 °C, até receberem o processamento.

## 2.1 Caracterização física dos grãos

Os grãos de feijão de todos os cultivares deste estudo tiveram suas características físicas avaliadas de acordo com os métodos e características descritos a seguir. Para tanto, o produto foi retirado da estocagem um dia antes da realização das avaliações e mantido em condições ambientais. Todos os parâmetros foram mensurados em triplicata.

O teor de água dos grãos foi determinado utilizando-se o método padrão de estufa na temperatura 105±3 °C, até a massa constante de uma amostra inicial contendo 5,0 g de grãos (BRASIL, 2009). Os grãos de feijão foram considerados com o formato de esferoides oblatos e tiveram suas dimensões aferidas (JESUS *et al.*, 2013). Para tal, de cada cultivar foram selecionados, aleatoriamente, três repetições, de 25 grãos cada e, com o auxílio de um aparelho paquímetro digital com resolução de 0,001 mm (Marca Profiel®), determinaram-se as medidas de comprimento, largura e espessura, todas expressas em milímetros (mm) (OOMAH *et al.*, 2011). De posse das medidas anteriores, calculou-se a esfericidade dos grãos utilizando-se a fórmula proposta por Mohsenin (1986):

$$Esfericidade = \left[ \left( \frac{(\pi/6)abc}{(\pi/6)a^3} \right) \right]^{1/3} = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3}$$

$$Esfericidade(\%) = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

a = comprimento ou maior eixo do grão, em mm;

b = largura ou eixo médio do grão, em mm;

c = espessura ou menor eixo do grão, em mm.

A massa de 100 grãos foi determinada para cada cultivar utilizando-se uma balança de precisão com resolução de 0,001 g e os resultados foram expressos em g.100 grãos<sup>-1</sup> (OOMAH *et al.*, 2011). A densidade foi verificada, para cada cultivar, pela medida do

deslocamento de água provocado pelos grãos em uma proveta graduada de capacidade de 100 mL, contendo 50 mL de água destilada, e utilizando-se uma amostra de 10 g de grãos adicionados na proveta, sendo medido imediatamente o volume de água deslocado (RESENDE *et al.*, 2008). A densidade foi então calculada pela relação massa/volume e expressa em  $\text{g.cm}^{-3}$ . A massa específica aparente ( $\rho_{\text{ap}}$ ) ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) foi determinada com auxílio de balança hectolétrica, com volume de 250 mL (SAHA *et al.*, 2009).

O coeficiente de hidratação (CH), antes do cozimento, foi determinado aplicando-se a metodologia proposta por Ertas (2011). Foram medidas as massas das amostras de feijão com, aproximadamente, 30 gramas e, em seguida, as mesmas foram acondicionadas em béquers com capacidade de 250 mL, no qual adicionaram-se 100 mL de água destilada. O produto foi mantido em condições de temperatura ambiente, durante o período de 16 horas. Após o processo de hidratação, os grãos foram drenados e mantidos durante 15 minutos sobre papel toalha e então pesados novamente. Calculou-se o valor de CH através da relação entre a massa dos grãos hidratados e a massa seca.

A cor dos grãos crus foi determinada pela leitura direta em aparelho colorímetro (Konica Minolta ®) CR410), com abertura de 50 mm, o qual considera no seu sistema as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , responsáveis pela luminosidade, teor de vermelho e teor de amarelo, respectivamente. O aparelho foi previamente calibrado em placa cerâmica de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante ( $Y= 85,8$ ;  $x=0,3195$ ;  $y= 0,3369$ ), utilizando-se o iluminante D65 que representa a média da luz do dia. Os grãos foram então colocados sob o acessório de acomodação de amostras do tipo granulares (modelo CR-A50) e as leituras realizadas em triplicata, para cada cultivar em estudo (OOMAH *et al.*, 2011). Foram determinados os parâmetros ângulo de coloração ( $H^*$ ) e cromaticidade ( $C^*$ ) dos grãos, de acordo com as equações 2 e 3, respectivamente:

$$H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

Em que:

$H^*$  = ângulo de coloração ou tonalidade cromática;

$a^*$  = componente de cor verde - vermelho;

$b^*$  = componente de cor azul – amarelo;

$C^*$ = cromaticidade.

## 2.2 Processamento industrial do feijão

O processamento industrial foi realizado na empresa *Conservas Oderich*, no município de São Sebastião do Caí – RS. Na indústria, os grãos de feijão foram lavados em água e escorridos manualmente e, em seguida, cerca de 126 - 130 g do produto foram dispostos em embalagens tipo flandres com capacidade de 420 g (diâmetro 73 mm e altura 110 mm). Após, o conteúdo da embalagem foi preenchido com água em temperatura de 75 °C, utilizando-se uma altura de *headspace* de 3 a 5 mm. Não foi adicionada calda, devido ao fato de se desejar conhecer os efeitos do processo sem a interferência de agentes como a sacarose e os sais (NaCl; CaCl<sub>2</sub>). As embalagens foram fechadas e recravadas automaticamente, então foi realizado o cozimento e a esterilização do produto em autoclave rotativa (Ferlo<sup>®</sup>), com frequência de 11 Hz, utilizando-se como meio de aquecimento a água pressurizada, temperatura de 120 °C e pressão de 1,2 kg. O tempo total desta etapa foi de 120 minutos, sendo 19 minutos para o aquecimento, 35 para cozimento e 66 minutos para o resfriamento gradativo do produto dentro do aparelho.

Após o processamento as amostras foram encaminhadas ao laboratório e mantidas em condições ambientais, durante o período de duas semanas, para garantir estabilização e equilíbrio do caldo (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013). Em seguida, foram caracterizadas de acordo com os parâmetros de qualidade do feijão tipo enlatado.

Foram mensurados primeiramente os pesos bruto (g), líquido (g), e drenado (g), sendo o último verificado de acordo com Merwe, Osthoff e Pretorius (2006a). Para tal os grãos foram retirados da embalagem e drenados por dois minutos em uma peneira plástica, tamanho 8 mesh (0,239 cm), colocada no ângulo de 20° e, em seguida, a massa drenada foi mensurada, calculando-se a porcentagem do peso drenado (%), em relação à massa total de grãos. A altura do *headspace* (mm), na embalagem, foi mensurada com auxílio de um paquímetro digital. Uma amostra de 100 g do produto processado (grão e caldo) foi submetida a uma avaliação visual para identificação da aparência em danos. Os grãos rompidos, danificados e/ou trincados tiveram sua massa mensurada, possibilitando o cálculo do índice de danos (%) durante o processo. Os parâmetros de cor do produto final foram verificados utilizando-se uma amostra de 50 gramas de produto (grãos e caldo) disposta em placa de petri, seguida da leitura com colorímetro (Konica Minolta ® CR410).

O teor de sólidos solúveis (SS) (%) foi determinado no caldo do feijão processado pela leitura direta da graduação em °Brix, em um refratômetro de bancada tipo ABBE. O teor de sólidos totais no caldo (ST) (%) foi determinado, utilizando-se uma amostra de 10 mL de caldo drenado submetida à secagem em estufa, em temperatura de 80 °C por 24 horas (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013). Também foram avaliados os parâmetros de pH através da leitura direta e acidez (%), medida por meio de titulação com NaOH 0,01M (IAL,



2008). A textura do produto processado foi determinada em aparelho texturômetro (TA.XT Plus, Stable Micro Systems®), utilizando-se 25 grãos, analisados individualmente, secos em papel toalha, dispostos na plataforma e comprimidos a 90% da altura inicial usando célula de carga de 50 kg (GHASEMLOU; GHARIBZAHEDI; EMAM-DJOMEH, 2013). A máxima força de compressão ( $N.grão^{-1}$ ) foi usada como indicador de dureza do feijão enlatado (SIQUEIRA *et al.*, 2014).

### 2.3 Análise estatística

O experimento foi realizado com três repetições e os dados verificados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e igualdade das variâncias (Teste de Bartlett), no nível de 5% de significância. Primeiramente, utilizou-se o teste F aplicado à análise de variância (ANOVA), avaliando-se os cultivares de cada classe, Carioca e Preto, entre si, com teste de comparação de médias, Tukey, conduzidos em nível de 5% de significância. Para os dados que não atenderam aos pressupostos de normalidade e igualdade de variâncias, utilizou-se a transformação Box-Cox, porém, no caso de ineficiência desta transformação, utilizou-se o teste Kruskal-Wallis para a comparação entre os cultivares.

A análise de correlação linear de Pearson foi aplicada às variáveis de interesse no nível de 5% de significância. As análises de estatística multivariada: análise de componentes principais (ACP) e agrupamento (cluster) foram aplicadas a todas as variáveis resposta, relativas à caracterização da matéria-prima e de qualidade do feijão enlatado, utilizando as correlacionadas e não correlacionadas estatisticamente ( $p > 0,05$ ). A análise de ACP foi utilizada para interpretar as relações entre as variáveis de qualidade da matéria-prima e do feijão processado e os cultivares. Os componentes principais foram extraídos da matriz de correlação das variáveis originais e considerados suficientes os componentes que explicaram mais de 70% da variância dos dados (MANLY, 2008). Para análise de cluster dos cultivares avaliados neste experimento, foi realizado o procedimento com agregação hierárquica entre os grupos baseada na matriz da distância Euclidiana.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Parâmetros físicos de qualidade

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios para os parâmetros físicos de qualidade tecnológica do feijão avaliados nos cultivares das classes comerciais Carioca e Preto. O teor de água para os cultivares da classe Carioca variou entre 8,86 e 12,54% para BRS Notável e BRS Ametista, respectivamente. Na classe Preto ocorreu diferença estatística significativa para este parâmetro, com menor teor de água para BRS Esteio (9,38%) e maior para IPR Uirapuru (14,50%). Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato que todas as amostras foram colhidas na mesma época e apresentaram diferenças na maturidade fisiológica no campo.

Para as dimensões do grão (Tabela 1), verificou-se para a classe Carioca maior valor de comprimento para BRS Estilo (11,59 mm) e menor para BRS Notável (10,27), maior largura para BRS Estilo (7,38 mm), sendo este valor estatisticamente igual à largura de grão apresentada por BRS Pérola (7,33 mm). Para a espessura dos grãos (c), o maior valor foi verificado também para o cultivar BRS Estilo (5,62 mm) e menor para o BRS Ametista (4,48 mm). Para os cultivares da classe Preto, as médias para o comprimento do grão (a) apresentaram diferença estatística significativa entre si, variando entre 10,07 e 11,00 mm, para IPR Uirapuru e BRS Campeiro, respectivamente. A largura (b) também foi diferente estatisticamente, entre os quatro cultivares estudados ( $p < 0.05$ ), com valores entre 6,91 e 7,26 mm, para o BRS Campeiro e o BRS Esplendor, respectivamente. A medida de espessura foi menor para o BRS Campeiro (4,56 mm) e maior para o BRS Esteio (5,22 mm).

As variáveis dimensionais citadas estão diretamente relacionadas com a massa de 100 grãos, com médias diferentes estatisticamente para os cultivares da classe comercial Carioca, sendo maior para o cultivar BRS Pérola (32,61 g) e menor para o cultivar BRS Notável (24,24 g). Na classe Preto, ocorreu também variação estatística entre os cultivares com variação de 24,43 a 27,31 g para o BRS Campeiro e o BRS Esteio, respectivamente. Cichy *et al.* (2014), avaliando 13 genótipos de feijão da classe Preto, verificaram valores para massa de 100 grãos entre 18,6 e 22,4 g, portanto, valores inferiores aos apresentados nos cultivares avaliados nesta pesquisa.

Os grãos de BRS Pérola e BRS Notável mais se aproximaram do formato de esferas dentro da classe Carioca e apresentaram médias estatisticamente iguais: 69,56 e 68,79%, respectivamente. No grupo Preto ocorreu menor média de esfericidade (63,83%) para o BRS Campeiro e a maior (70,23%) para o IPR Uirapuru.

A densidade e a massa específica aparente dos grãos foram maiores para o cultivar BRS Pérola, da classe Carioca; na classe Preto não foi verificada diferença estatística significativa para estes atributos ( $p < 0.05$ ).

O coeficiente de hidratação (CH) dos cultivares da classe Carioca variou entre 1,99 e 2,06, com o cultivar BRS Notável apresentando maior valor e este estatisticamente diferente dos demais cultivares. Para a classe Preto ocorreu diferença estatística entre os cultivares, com variação entre 1,93 e 2,09; destacando-se o BRS Campeiro por apresentar maior capacidade de hidratação dos grãos. Merwe, Osthoff e Pretorius (2006a), avaliando a qualidade de feijão branco para o processamento, verificaram valores de HC entre 1,81 e 1,86, menores que os apresentados neste trabalho.

As indústrias de processamento do feijão tipo enlatado buscam grãos com altos valores para o coeficiente de hidratação, pois isso garante uma expansão mais rápida e uniforme do produto durante o processo (KHANAL *et al.*, 2015; CICHY *et al.*, 2014; MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006b; WALTERS *et al.*, 1997; HOSFIELD; GHADERI, UEBERSAX, 1984). De acordo com Merwe, Osthoff e Pretorius (2006b) e Balasubramanian *et al.* (2000), valores de CH acima de 1,80 são considerados ideais na indústria de processamento, logo todos os cultivares de feijão avaliados neste experimento atenderam a esse parâmetro.

Para os componentes de cor dos cultivares da classe Carioca, as médias para a luminosidade ( $L_0^*$ ) foram estatisticamente iguais entre as amostras com valor médio de 57,57 (Tabela 1). O componente  $a_0^*$  variou entre 4,76 e 6,04, para os cultivares BRS Pérola e BRS Notável, respectivamente, não ocorrendo diferença estatística significativa entre os cultivares ( $p > 0,05$ ).

O componente de cor  $b_0^*$  variou entre 11,43 e 13,69, para os cultivares BRS Pérola e BRS Notável, respectivamente (Tabela 1). Para o espaço de cor  $L^*a^*b^*$ , os parâmetros  $a^*$  (componente cromático verde – vermelho) e  $b^*$  (componente cromático azul – amarelo) podem apresentar valores variando entre -120 e +120 (MENDOZA; DEJMEK; AGUILERA, 2006), dessa forma verificam-se valores positivos tanto para  $a_0^*$  quanto para  $b_0^*$ , ocorrendo predominância de vermelho e amarelo na composição final da cor dos grãos. No índice de cor  $C_0$  observou-se variação entre 12,38 e 14,97, sendo o maior valor verificado para o BRS Notável. O ângulo de coloração ( $H_0$ ) apresentou valores variando entre 66,16 e 67,39, não ocorrendo diferença estatística significativa entre os cultivares da classe de grãos Carioca.

**Tabela 1** Médias para os parâmetros físicos de qualidade da matéria-prima: teor de água (%), dimensões a, b e c (mm), esfericidade (%), massa de 100 grãos (g), densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ), massa específica aparente ( $\text{kg.m}^{-3}$ ), coeficiente de hidratação (CH) e parâmetros de cor  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ,  $C_0$  e  $H_0$  dos grãos dos cultivares das classes comerciais Carioca: BRS Ametista, BRS Notável, BRS Pérola e BRS Estilo; e Preto: BRS Campeiro, BRS Esteio, BRS Esplendor e IPR Uirapuru

| Variáveis                        | Classe Comercial Carioca   |                            |                            |                            | CV (%) | p-valor |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------|
|                                  | BRS Ametista               | BRS Notável                | BRS Pérola                 | BRS Estilo                 |        |         |
| Teor de água (%)                 | 12,54 ± 0,06 <sup>a</sup>  | 8,86 ± 0,04 <sup>d</sup>   | 10,45 ± 0,12 <sup>c</sup>  | 11,50 ± 0,02 <sup>b</sup>  | 13,13  | 0,00    |
| a (mm)                           | 11,10 ± 0,08 <sup>b</sup>  | 10,27 ± 0,15 <sup>d</sup>  | 10,79 ± 0,17 <sup>c</sup>  | 11,59 ± 0,16 <sup>a</sup>  | 7,12   | 0,00    |
| b (mm)                           | 7,01 ± 0,08 <sup>b</sup>   | 6,90 ± 0,06 <sup>b</sup>   | 7,33 ± 0,14 <sup>a</sup>   | 7,38 ± 0,19 <sup>a</sup>   | 5,9    | 0,00    |
| c (mm)                           | 4,48 ± 0,07 <sup>d</sup>   | 4,97 ± 0,02 <sup>c</sup>   | 5,33 ± 0,06 <sup>b</sup>   | 5,62 ± 0,09 <sup>a</sup>   | 10,21  | 0,00    |
| Esfericidade (%)                 | 63,37 ± 0,40 <sup>c</sup>  | 68,79 ± 0,50 <sup>a</sup>  | 69,56 ± 0,33 <sup>a</sup>  | 67,59 ± 0,29 <sup>b</sup>  | 4,85   | 0,00    |
| Massa 100 (g)                    | 27,15 ± 0,23 <sup>b</sup>  | 24,24 ± 0,07 <sup>c</sup>  | 32,09 ± 0,43 <sup>a</sup>  | 32,61 ± 1,16 <sup>a</sup>  | 12,69  | 0,00    |
| Densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) | 0,18 ± 0,00 <sup>b</sup>   | 0,18 ± 0,00 <sup>b</sup>   | 0,19 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 0,17 ± 0,00 <sup>c</sup>   | 2,4    | 0,00    |
| pap ( $\text{kg.m}^{-3}$ )       | 801,73 ± 2,20 <sup>b</sup> | 796,24 ± 3,24 <sup>b</sup> | 816,24 ± 6,94 <sup>a</sup> | 779,85 ± 3,96 <sup>c</sup> | 1,77   | 0,00    |
| CH                               | 1,99 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 2,06 ± 0,01 <sup>a</sup>   | 2,01 ± 0,00 <sup>b</sup>   | 2,00 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 1,31   | 0,00    |
| $L_0^*$                          | 57,56 ± 0,34 <sup>a</sup>  | 57,22 ± 0,30 <sup>a</sup>  | 57,82 ± 0,97 <sup>a</sup>  | 57,69 ± 0,52 <sup>a</sup>  | 0,97   | 0,65    |
| $a_0^*$                          | 5,08 ± 0,02 <sup>ab</sup>  | 6,04 ± 0,08 <sup>a</sup>   | 4,76 ± 0,06 <sup>b</sup>   | 5,24 ± 0,16 <sup>ab</sup>  | 9,47   | 0,01**  |
| $b_0^*$                          | 11,69 ± 0,18 <sup>bc</sup> | 13,69 ± 0,36 <sup>a</sup>  | 11,43 ± 0,34 <sup>c</sup>  | 12,24 ± 0,26 <sup>b</sup>  | 7,71   | 0,00    |
| $C_0$                            | 12,74 ± 0,16 <sup>bc</sup> | 14,97 ± 0,36 <sup>a</sup>  | 12,38 ± 0,31 <sup>c</sup>  | 13,32 ± 0,28 <sup>b</sup>  | 7,96   | 0,00    |
| $H_0$                            | 66,51 ± 0,27 <sup>a</sup>  | 66,16 ± 0,32 <sup>a</sup>  | 67,39 ± 0,72 <sup>a</sup>  | 66,81 ± 0,61 <sup>a</sup>  | 0,96   | 0,09    |

| Variáveis                        | Classe Comercial Preto     |                            |                            |                            | CV (%) | p-valor |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------|
|                                  | BRS Campeiro               | BRS Esteio                 | BRS Esplendor              | IPR Uirapuru               |        |         |
| Teor de água (%)                 | 10,04 ± 0,18 <sup>c</sup>  | 9,38 ± 0,20 <sup>d</sup>   | 11,73 ± 0,21 <sup>b</sup>  | 14,50 ± 0,12 <sup>a</sup>  | 18,14  | 0,00    |
| a (mm)                           | 11,00 ± 0,14 <sup>a</sup>  | 10,45 ± 0,02 <sup>b</sup>  | 10,51 ± 0,09 <sup>b</sup>  | 10,07 ± 0,15 <sup>c</sup>  | 6,71   | 0,00    |
| b (mm)                           | 6,91 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 7,05 ± 0,17 <sup>ab</sup>  | 7,26 ± 0,06 <sup>a</sup>   | 7,01 ± 0,02 <sup>ab</sup>  | 7,3    | 0,00    |
| c (mm)                           | 4,56 ± 0,05 <sup>c</sup>   | 5,22 ± 0,09 <sup>a</sup>   | 4,66 ± 0,10 <sup>c</sup>   | 5,01 ± 0,03 <sup>b</sup>   | 8,84   | 0,00**  |
| Esfericidade (%)                 | 63,85 ± 0,23 <sup>c</sup>  | 69,65 ± 0,28 <sup>a</sup>  | 67,43 ± 0,45 <sup>b</sup>  | 70,23 ± 0,55 <sup>a</sup>  | 5,54   | 0,00    |
| Massa 100 (g)                    | 24,43 ± 0,16 <sup>d</sup>  | 27,31 ± 0,20 <sup>a</sup>  | 25,24 ± 0,20 <sup>c</sup>  | 26,33 ± 0,48 <sup>b</sup>  | 4,5    | 0,00    |
| Densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) | 0,17 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 0,18 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 0,18 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 0,17 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 2,85   | 0,07**  |
| pap ( $\text{kg.m}^{-3}$ )       | 811,45 ± 8,84 <sup>a</sup> | 794,65 ± 2,76 <sup>a</sup> | 817,08 ± 4,08 <sup>a</sup> | 820,01 ± 2,34 <sup>a</sup> | 1,38   | 0,07**  |
| CH                               | 2,09 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 2,04 ± 0,00 <sup>b</sup>   | 1,97 ± 0,01 <sup>c</sup>   | 1,93 ± 0,01 <sup>c</sup>   | 3,40   | 0,00    |
| $L_0^*$                          | 38,92 ± 0,13 <sup>a</sup>  | 38,53 ± 0,07 <sup>b</sup>  | 38,64 ± 0,03 <sup>b</sup>  | 37,85 ± 0,06 <sup>c</sup>  | 1,07   | 0,00    |
| $a_0^*$                          | 0,44 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 0,46 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 0,45 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 0,60 ± 0,03 <sup>a</sup>   | 14,83  | 0,00    |
| $b_0^*$                          | 0,49 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 0,55 ± 0,06 <sup>a</sup>   | 0,58 ± 0,14 <sup>a</sup>   | 0,62 ± 0,03 <sup>a</sup>   | 14,74  | 0,28    |
| $C_0$                            | 0,66 ± 0,02 <sup>b</sup>   | 0,71 ± 0,04 <sup>ab</sup>  | 0,68 ± 0,02 <sup>ab</sup>  | 0,87 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 12,24  | 0,03**  |
| $H_0$                            | 48,39 ± 2,29 <sup>a</sup>  | 49,79 ± 3,27 <sup>a</sup>  | 49,01 ± 1,26 <sup>a</sup>  | 45,78 ± 1,58 <sup>a</sup>  | 5,13   | 0,22    |

**Notas:** Valores expressos em média ± desvio padrão. CV = coeficiente de variação geral. Médias na linha com diferentes letras sobrescritas correspondem a valores estatisticamente diferentes, ao nível de 5% de significância, pelos testes Tukey e Kruskal-Wallis (\*\*).

Dentre os componentes de cor dos grãos de feijão da classe Preto, ocorreram diferenças estatísticas apenas para  $L_0^*$  e  $a_0^*$ . A luminosidade variou entre 37,85 e 38,92; para o IPR Uirapuru e o BRS Campeiro, respectivamente. O componente de cor do grão  $a_0^*$  foi maior e estatisticamente diferente dos demais para o cultivar IPR Uirapuru (0,60). Os demais cultivares apresentaram valores médios de  $a_0$  iguais entre si. Para os parâmetros de cor  $b_0^*$ ,  $C_0$  e  $H_0$  não ocorreram diferenças estatísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre os quatro

cultivares estudados. As diferenças de coloração aqui reportadas são atribuídas às diferenças genéticas entre os cultivares avaliados. Porém, com relação aos cultivares da classe Preto, vale ressaltar que a indústria de processamento no momento da seleção da matéria-prima tem preferência por grãos de coloração opaca, isso porque feijões com aspecto brilhante não absorvem água tão rapidamente quanto os opacos, logo há aumento nos custos de produção (CICHY *et al.*, 2014).

### 3.2 Parâmetros de qualidade do feijão enlatado

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios para os parâmetros de qualidade do feijão enlatado, avaliados nos cultivares brasileiros das classes comerciais Carioca e Preto. Para o peso bruto (PB) e peso líquido (PL) verificaram-se diferenças estatísticas entre as médias dos cultivares da classe Carioca, com variação entre 473,90 e 490,65 g para o PB; entre 412,12 e 429,56 g de PL, para os cultivares BRS Estilo e BRS Notável, respectivamente.

Na classe Preto, o PB foi maior para o BRS Esteio (497,40), seguido pelo BRS Campeiro (497,34), valores estatisticamente iguais entre si e diferentes das médias dos demais. O PL variou entre 417,01 e 437,58; os cultivares BRS Campeiro e BRS Esteio foram estatisticamente iguais, e IPR Uirapuru e BRS Esplendor com valores médios para PL também iguais entre si ( $p < 0,05$ ).

O peso drenado (PD) variou na classe Carioca entre 304,42 g e 363,90 g, para o BRS Estilo e BRS Ametista, com médias iguais estatisticamente entre BRS Ametista, BRS Pérola e BRS Notável, sendo esta última igual ao BRS Estilo, ao nível de 5%. A porcentagem de peso drenado (PPD), ou seja, a relação entre a massa drenada e massa líquida no feijão enlatado, variou entre 73,89 e 88,29%, com médias iguais estatisticamente entre os cultivares BRS Ametista (88,25%) e BRS Pérola (85,29%). Para os cultivares da classe Preto, destacou-se o cultivar BRS Esplendor com maior valor do PD (357,20), o que implicou também maior valor para o PPD (84,62%). Os demais cultivares apresentaram médias para PD, estatisticamente iguais entre si. Balasubramanian *et al.* (2000) verificaram que os valores de PPD foram menores para o feijão preto (61,90%), seguido pelo feijão Pinto (63,80%) e maior para o feijão Navy (67,70%). Merwe, Osthoff e Pretorius (2006b) verificaram variação nos valores de PPD de 68,83 e 78,80% na avaliação de quatro cultivares de feijão provenientes de nove locais de produção, portanto, valores menores dos obtidos neste trabalho. Ainda segundo os mesmos autores, o percentual de peso drenado mínimo no feijão enlatado deverá ser 60%, logo os cultivares de ambas as classes avaliadas apresentaram valores aceitáveis.

**Tabela 2** Médias para os parâmetros físicos de qualidade do feijão enlatado: PB: peso bruto (g); PL: peso líquido (g); PD: peso drenado (g); PPD: percentual de peso drenado (%); H: altura do *headspace* (mm), parâmetros de cor L\*, a\*, b\*, C e H; índice de danos (%); textura (N.grão<sup>-1</sup>); SS: sólidos solúveis (°Brix); ST: sólidos totais (%); pH e acidez para os cultivares das classes comerciais Carioca BRS Ametista, BRS Notável, BRS Pérola e BRS Estilo; e Preto BRS Campeiro, BRS Esteio, BRS Esplendor e IPR Uirapuru

| Parâmetros                   | Classe Comercial Carioca    |                              |                             |                            | CV (%) | p-valor  |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------|----------|
|                              | BRS Estilo                  | BRS Notável                  | BRS Pérola                  | BRS Ametista               |        |          |
| PB (g)                       | 473,90 ± 7,41 <sup>b</sup>  | 490,65 ± 2,56 <sup>a</sup>   | 485,98 ± 4,53 <sup>ab</sup> | 476,38 ± 2,99 <sup>b</sup> | 1,71   | 0,0079   |
| PL (g)                       | 412,12 ± 10,48 <sup>b</sup> | 429,56 ± 4,03 <sup>a</sup>   | 421,27 ± 3,93 <sup>ab</sup> | 412,41 ± 5,09 <sup>b</sup> | 2,23   | 0,0313   |
| PD (g)                       | 304,42 ± 8,70 <sup>b</sup>  | 334,05 ± 18,01 <sup>ab</sup> | 359,28 ± 11,80 <sup>a</sup> | 363,90 ± 9,85 <sup>a</sup> | 7,92   | 0,015    |
| PPD (%)                      | 73,89 ± 2,47 <sup>c</sup>   | 77,79 ± 4,85 <sup>bc</sup>   | 85,29 ± 3,14 <sup>a</sup>   | 88,25 ± 2,93 <sup>a</sup>  | 8,22   | 0,0034   |
| H (mm)                       | 9,44 ± 2,13 <sup>a</sup>    | 3,33 ± 0,96 <sup>b</sup>     | 4,98 ± 1,17 <sup>b</sup>    | 4,18 ± 1,35 <sup>b</sup>   | 48,08  | 0,006    |
| L*                           | 47,76 ± 0,13 <sup>a</sup>   | 45,98 ± 0,39 <sup>a</sup>    | 46,08 ± 0,74 <sup>a</sup>   | 46,23 ± 1,11 <sup>a</sup>  | 2,07   | 0,096    |
| a*                           | 8,21 ± 0,25 <sup>b</sup>    | 9,35 ± 0,11 <sup>a</sup>     | 8,84 ± 0,39 <sup>ab</sup>   | 8,89 ± 0,22 <sup>a</sup>   | 5,42   | 0,004    |
| b*                           | 9,65 ± 0,70 <sup>a</sup>    | 10,33 ± 0,24 <sup>a</sup>    | 10,68 ± 0,46 <sup>a</sup>   | 10,38 ± 0,52 <sup>a</sup>  | 5,73   | 0,1638   |
| C                            | 12,67 ± 0,68 <sup>a</sup>   | 13,94 ± 0,25 <sup>a</sup>    | 13,87 ± 0,59 <sup>a</sup>   | 13,69 ± 0,46 <sup>a</sup>  | 5,16   | 0,059    |
| H                            | 49,57 ± 1,21 <sup>a</sup>   | 47,85 ± 0,35 <sup>a</sup>    | 50,41 ± 0,31 <sup>a</sup>   | 49,33 ± 1,19 <sup>a</sup>  | 2,48   | 0,1031** |
| Danos (%)                    | 97,74 ± 1,64 <sup>a</sup>   | 96,46 ± 1,22 <sup>a</sup>    | 95,60 ± 3,79 <sup>a</sup>   | 92,78 ± 3,13 <sup>a</sup>  | 3,09   | 0,2137   |
| Text (N.grão <sup>-1</sup> ) | 0,60 ± 0,22 <sup>a</sup>    | 0,75 ± 0,20 <sup>a</sup>     | 0,66 ± 0,24 <sup>a</sup>    | 0,70 ± 0,15 <sup>a</sup>   | 31,23  | 0,095    |
| SS (°Brix)                   | 9,60 ± 0,53 <sup>a</sup>    | 10,17 ± 0,15 <sup>a</sup>    | 11,83 ± 0,29 <sup>c</sup>   | 10,83 ± 0,29 <sup>b</sup>  | 8,63   | 0,000    |
| ST (%)                       | 16,94 ± 3,88 <sup>a</sup>   | 11,90 ± 0,24 <sup>b</sup>    | 12,45 ± 0,09 <sup>ab</sup>  | 13,23 ± 0,45 <sup>ab</sup> | 15,18  | 0,015**  |
| pH                           | 6,33 ± 0,08                 | 6,20 ± 0,02                  | 6,34 ± 0,03                 | 6,40 ± 0,16                | 1,72   | 0,1086   |
| Acidez (%)                   | 0,31 ± 0,04 <sup>a</sup>    | 0,26 ± 0,01 <sup>ab</sup>    | 0,20 ± 0,01 <sup>b</sup>    | 0,26 ± 0,03 <sup>ab</sup>  | 18,82  | 0,0067   |

| Parâmetro                    | Classe Comercial Preto      |                            |                            |                            | CV (%) | p-valor |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------|
|                              | BRS Esplendor               | BRS Campeiro               | BRS Esteio                 | IPR Uirapuru               |        |         |
| PB (g)                       | 486,13 ± 4,90 <sup>ab</sup> | 497,34 ± 5,44 <sup>a</sup> | 497,40 ± 5,65 <sup>a</sup> | 481,21 ± 5,99 <sup>b</sup> | 1,01   | 0,015   |
| PL (g)                       | 422,10 ± 0,96 <sup>b</sup>  | 437,58 ± 5,02 <sup>a</sup> | 437,17 ± 5,74 <sup>a</sup> | 417,01 ± 7,33 <sup>b</sup> | 2,54   | 0,027   |
| PD (g)                       | 357,2 ± 10,28 <sup>a</sup>  | 332,22 ± 9,85 <sup>b</sup> | 329,81 ± 2,47 <sup>b</sup> | 336,80 ± 4,23 <sup>b</sup> | 3,83   | 0,0079  |
| PPD (%)                      | 84,62 ± 2,26 <sup>a</sup>   | 75,92 ± 1,63 <sup>b</sup>  | 75,45 ± 1,47 <sup>b</sup>  | 80,77 ± 0,40 <sup>a</sup>  | 5,25   | 0,000   |
| H (mm)                       | 7,41 ± 1,80 <sup>a</sup>    | 4,39 ± 0,91 <sup>b</sup>   | 5,04 ± 1,59 <sup>ab</sup>  | 7,20 ± 1,44 <sup>ab</sup>  | 28,16  | 0,027   |
| L*                           | 36,67 ± 0,35 <sup>b</sup>   | 38,76 ± 0,63 <sup>a</sup>  | 39,05 ± 0,58 <sup>a</sup>  | 36,15 ± 0,61 <sup>b</sup>  | 3,71   | 0,044   |
| a*                           | 3,48 ± 0,13 <sup>c</sup>    | 4,15 ± 0,23 <sup>b</sup>   | 4,33 ± 0,16 <sup>ab</sup>  | 4,93 ± 0,39 <sup>a</sup>   | 13,36  | 0,004   |
| b*                           | 1,87 ± 0,24 <sup>b</sup>    | 2,05 ± 0,34 <sup>b</sup>   | 2,85 ± 0,12 <sup>a</sup>   | 2,97 ± 0,29 <sup>a</sup>   | 23,16  | 0,164   |
| C                            | 3,95 ± 0,22 <sup>c</sup>    | 4,63 ± 0,36 <sup>bc</sup>  | 5,18 ± 0,20 <sup>ab</sup>  | 5,76 ± 0,48 <sup>a</sup>   | 15,41  | 0,059   |
| H                            | 28,13 ± 2,32 <sup>bc</sup>  | 26,09 ± 2,71 <sup>c</sup>  | 33,32 ± 0,32 <sup>a</sup>  | 31,03 ± 0,49 <sup>ab</sup> | 11,56  | 0,041   |
| Danos (%)                    | 81,71 ± 3,42 <sup>b</sup>   | 31,98 ± 3,67 <sup>c</sup>  | 85,25 ± 2,39 <sup>b</sup>  | 97,05 ± 1,21 <sup>a</sup>  | 30,47  | 0,000   |
| Text (N.grão <sup>-1</sup> ) | 0,69 ± 0,16 <sup>c</sup>    | 0,93 ± 0,13 <sup>b</sup>   | 1,22 ± 0,32 <sup>a</sup>   | 0,64 ± 0,15 <sup>c</sup>   | 36     | 0,000   |
| SS (°Brix)                   | 10,27 ± 0,46 <sup>a</sup>   | 9,10 ± 0,10 <sup>b</sup>   | 10,17 ± 0,29 <sup>a</sup>  | 10,10 ± 0,10 <sup>a</sup>  | 5,52   | 0,000   |
| ST (%)                       | 13,27 ± 0,80 <sup>a</sup>   | 10,74 ± 0,24 <sup>b</sup>  | 11,66 ± 0,18 <sup>ab</sup> | 13,23 ± 1,40 <sup>a</sup>  | 10,94  | 0,023   |
| pH                           | 6,29 ± 0,04                 | 6,22 ± 0,00                | 6,24 ± 0,03                | 6,28 ± 0,06                | 0,71   | 0,135   |
| Acidez (%)                   | 0,27 ± 0,02                 | 0,27 ± 0,03                | 0,27 ± 0,04                | 0,29 ± 0,05                | 12,02  | 0,775   |

**Notas:** Valores expressos em média ± desvio padrão. CV: coeficiente de variação geral. Médias na linha com diferentes letras sobrescritas correspondem a valores diferentes estatisticamente ao nível de 5% de significância pelos testes Tukey e Kruskal-Wallis (\*\*).

De acordo com White e Howard (2013) e Matella, Mishra e Dolan (2013), os parâmetros PB, PL e PD são importantes para manutenção dos padrões de qualidade industriais para o feijão processado. O percentual de PD é um parâmetro de qualidade usado na determinação da hidratação precisa do feijão, bem como na proporção adequada

de calda a ser empregada no processo, além de estar associado ao rendimento para a indústria (WHITE; HOWARD, 2013; WALTERS *et al.*, 1997). Segundo Khanal *et al.* (2015), baixos valores para o peso drenado podem indicar excessivas perdas de sólidos durante o processamento e aumentar o grau de aglutinação do produto no topo da embalagem, depois do processamento e durante o armazenamento. Este por sua vez é um efeito indesejável com pequeno impacto econômico, mas que poderia provocar a rejeição do cultivar pela indústria processadora, pois o alto grau de aglomeração de produto é visto como uma característica negativa. Dessa forma, os baixos valores de percentual de PD apresentados por BRS Estilo na classe Carioca, BRS Campeiro e BRS Esteio, da classe Preto, indicam que pode vir a ocorrer esse efeito de aglutinação no produto.

As médias para o parâmetro altura do *headspace* (H), para os cultivares da classe Carioca foram diferentes estatisticamente, com variação entre 3,33 e 9,44 mm, para BRS Notável e BRS Estilo, respectivamente. Os cultivares BRS Notável, BRS Ametista e BRS Pérola apresentaram médias iguais estatisticamente ( $p < 0,05$ ), diferenciando-se do BRS Estilo que apresentou o maior valor para H. Na classe Preto, para H ocorreram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), com o menor valor de 4,39 mm para o BRS Campeiro e o maior para o BRS Esplendor, 7,41mm.

Para os componentes de cor do feijão Carioca enlatado (Tabela 2), verificou-se que, para a luminosidade ( $L^*$ ), não ocorre diferença estatística entre os quatro cultivares, após o processamento ( $p > 0,05$ ). Porém, observou-se que para todas ocorreu diminuição nos valores de  $L^*$ , quando comparados com a luminosidade dos grãos controle (Tabela 1). O componente  $a^*$  apresentou maior valor para o BRS Notável (9,35) e menor para o BRS Estilo (8,21), sendo estes diferentes estatisticamente. Portanto, nos dois cultivares avaliados, há predominância da cor vermelha na sua composição, em maior quantidade para o BRS Notável (MENDOZA; DEJMEK; AGUILERA, 2006), com aumento do valor do componente  $a^*$  dos grãos processados, quando comparados à matéria-prima. Os demais parâmetros de cor, componente  $b^*$  (azul – amarelo), ângulo de coloração ( $H^*$ ) (Kruskal-Wallis  $p = 0,1031$ ) e cromaticidade ( $C^*$ ) não apresentaram diferenças estatísticas entre os quatro cultivares da classe Carioca. Porém, o componente de cor  $b^*$  apresentado pelos grãos reduziu com o processamento, quando as médias são comparadas com as do produto cru. Segundo Guzel e Sayar (2012), vários fatores podem alterar a cor do feijão durante o processamento e os mais comuns são a degradação dos pigmentos, reações de escurecimento, oxidação do ácido ascórbico, acidez e presença de metais pesados. Logo a redução dos valores dos componentes  $L^*$  e  $b^*$ , e aumento de  $a^*$  pode ser explicada pela ocorrência de degradação dos pigmentos de cor durante o processamento industrial empregado.

Na classe Preto, a luminosidade dos grãos variou entre 36,15 e 39,05 para o IPR Uirapuru e BRS Esteio, respectivamente, sendo estas médias diferentes entre si ( $p < 0,05$ ). O componente  $a^*$  apresentou menor valor para o BRS Esplendor (3,48) e maior para o IPR Uirapuru (4,93). O componente de cor  $b^*$  foi igual estatisticamente entre o IPR Uirapuru (2,97) e o BRS Esteio (2,85) que apresentaram as maiores médias. BRS Campeiro e BRS Esplendor apresentaram menores médias para o componente de cor azul - amarelo, sendo estas estatisticamente iguais.

A cromaticidade dos grãos da classe Preto (Tabela 2) apresentou valores entre 3,95 (BRS Esplendor) e 5,76 (IPR Uirapuru), dessa forma a intensidade de percepção da cor para as amostras do cultivar IPR Uirapuru é maior.

Para o ângulo de coloração ( $H^*$ ) verificaram-se valores entre  $26,08^\circ$  (BRS Campeiro) e  $33,32^\circ$  (BRS Esteio), com ocorrência de diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre os cultivares. A coloração do feijão enlatado é um importante fator de qualidade para os consumidores e podem influenciar o potencial de mercado do produto (KHANAL *et al.*, 2015).

O índice de danos para os cultivares da classe Carioca variou entre 92,78% para o BRS Ametista e 97,74% para o BRS Estilo (Tabela 2), não ocorrendo diferenças estatísticas significativas ( $p = 0,2137$ ). Guzel e Sayar (2012), avaliando o processamento de feijão Kidney branco e feijão Cranberry (feijão da cor bege com listras vermelhas), também verificaram altos índices de danos nos grãos após o processamento. Na classe Preto, destacou-se o cultivar BRS Campeiro, por apresentar o menor índice de dano no feijão, após o processamento industrial (31,98%). O cultivar IPR Uirapuru apresentou a maior média para o produto danificado: 97,05%, diferenciando estatisticamente dos demais: BRS Esteio (85,25%) e BRS Esplendor (81,71%), sendo estas últimas iguais entre si ( $p < 0,05$ ).

Na Figura 1, visualiza-se a aparência dos grãos de feijão dos oito cultivares das classes Preto e Carioca, após o processamento industrial tipo enlatado.





**Figura 1** Aparência dos grãos de feijão de diferentes cultivares brasileiras, das classes comerciais Carioca e Preto, após o processamento industrial tipo enlatado.

Verificou-se que os cultivares BRS Notável da classe Carioca e BRS Campeiro da classe preto, apresentaram melhor aparência quanto à integridade dos grãos no produto processado. Foram verificados danos nestas amostras, porém apresentaram-se apenas como pequenas trincas no tegumento e não na forma de grão explodido como ocorreu nos cultivares BRS Estilo e IPR Uirapuru. Os altos índices de defeitos estruturais em produtos à base de feijão, como o enlatado, por exemplo, são um problema para a indústria, pois os consumidores preferem grãos íntegros com reduzidas taxas de defeitos estruturais (AZARPAZHOD; BOYE, 2013). Esses defeitos de ruptura no tegumento geralmente ocorrem nas estruturas do hilo e micrópila do feijão (AZARPAZHOD; BOYE, 2013; MERWE; OSTHOFF; PRETORIUS, 2006b). Logo, foi possível verificar, especialmente nas amostras dos cultivares BRS Estilo, BRS Ametista e BRS Esteio, nos quais se observam os danos nesta região do grão. No cultivar BRS Estilo verificou-se um alto grau de ruptura, devido à explosão dos grãos, como o desprendimento do tegumento e dissolução do conteúdo interno no caldo (Figura 1).

Para Merwe, Osthoff e Pretorius (2006b), é importante na aparência visual do feijão processado e apresentado na forma de enlatado que não ocorra desprendimento da casca, os grãos devem estar individualmente visíveis, com aspecto brilhante, cor e tamanho uniformes. Ainda de acordo com os mesmos autores, a ocorrência da aglomeração de produto causada pela lixiviação do amido e dispersão do cotilédone, seguida do aumento da viscosidade da calda, também é uma característica indesejável no produto final.

Foi possível verificar também as diferenças da coloração apresentadas pelos dos componentes  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$  (Tabela 2) e Figura 1. Observou-se que são pequenas as diferenças para os cultivares da classe Carioca. Para o feijão da classe Preto, verificou-se que o BRS Esteio destaca-se dos demais, apresentando maior luminosidade e coloração

com tonalidade marrom escuro. O BRS Esplendor que apresentou caldo com aspecto brilhante e bem distribuído em torno do grão. A coloração do feijão é influenciada pelo conteúdo de antocianinas no tegumento do grão, desta forma, a cor do produto final pode apresentar variação, devido às concentrações destes compostos na matéria-prima. Quando se comparam os valores dos parâmetros de cor da matéria-prima e do feijão processado observou-se para os grãos da classe preto aumento nos valores dos componentes  $a^*$  e  $b^*$ , isso indica que as amostras tornaram-se mais avermelhadas e amareladas, menos verdes e menos azuis, nas escalas de  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente, indicando que ocorreu lixiviação das antocianinas (CICHY *et al.*, 2014; WHITE, HOWARD, 2013).

O feijão preto se distingue dos outros tipos pelo fato de apresentar no seu tegumento altas concentrações de antocianinas, incluindo-se delphinidina-3-glicosídeo, petudinina-3-glicosídeo e malvadina-3-glicosídeo, juntamente com os compostos fenólicos que apresentam capacidade antioxidante e estão relacionadas com benefícios e promoção da saúde (CICHY *et al.*, 2014; LOPEZ *et al.*, 2013). De acordo com Cichy *et al.* (2014), processadores consideram um feijão da classe Preto de qualidade quando o mesmo apresenta retenção da coloração após o enlatamento. Pois, o que acontece com muitos cultivares é uma tendência de alteração na coloração, apresentando-se como produto de aspecto marrom ou acinzentado, resultante da excessiva lixiviação das antocianinas durante o processo industrial. De acordo com Wright e Kelly (2011), boa retenção na cor do feijão enlatado pode também melhorar o valor nutricional, além de contribuir com a aparência do produto.

A textura, medida em dureza média do grão de feijão, quantifica a maciez ou a firmeza do produto após o processamento e é outro fator determinante para a palatabilidade do enlatado (KHANAL *et al.*, 2015). Para os cultivares da classe Carioca, a dureza variou entre 0,60 e 0,75 N.grão<sup>-1</sup> (Tabela 2), não ocorrendo diferença estatística entre os cultivares ( $p = 0,085$ ). Na classe Preto, porém, ocorreram diferenças, com o menor valor apresentado por IPR Uirapuru (0,64 N.grão<sup>-1</sup>) e o maior valor atribuído ao cultivar BRS Esteio (1,22 N.grão<sup>-1</sup>). Dessa forma, verificou-se maior maciez para os grãos processados da classe comercial Carioca. Guzel e Sayar (2012) verificaram valores médios de dureza para feijão branco Kidney de 0,80 N.grão<sup>-1</sup> e de 1,8 N.grão<sup>-1</sup> para grãos do feijão Cranberry. Balasubramanian *et al.* (2000) afirmam que a dureza dos grãos de feijão da classe Preto é maior quando comparado a classes como Navy e Pinto.

O grau de sólidos solúveis no caldo (SS) variou entre 9,60 e 11,83 °Brix, para BRS Estilo e BRS Pérola, respectivamente, verificando-se diferença estatística significativa entre os cultivares da classe Carioca. Para os cultivares da classe Preto, o BRS Campeiro apresentou menor valor médio para SS (9,10 °Brix), sendo este diferente dos apresentados pelos demais cultivares, que foram estatisticamente iguais. Guzel e Sayar (2012) verificaram

valores variando entre 8,7 e 14,5 °Brix para amostras de feijão processado. Ainda segundo os mesmos autores, estes parâmetros podem ser dependentes do teor de água no material, tipo de grão e se há ocorrência de defeitos físicos ou químicos no produto, como o feijão HTC (*hard-to-cook*), por exemplo.

O índice de sólidos totais no caldo do feijão processado foi menor para o BRS Notável (11,90%) e maior para o BRS Estilo (16,94%) (Tabela 2), ocorrendo diferença estatística entre as amostras do estudo (Kruskal-Wallis  $p = 0,015$ ). Na classe Preto, o menor valor médio foi apresentado por BRS Campeiro (10,74%) e o maior no BRS Esplendor (13,27%), com diferença entre os cultivares ( $p < 0,05$ ).

Nas amostras das duas classes de feijão avaliadas não ocorreram diferenças significativas para o parâmetro pH do produto ( $p > 0,05$ ), com valores variando entre 6,20 e 6,40 na classe Carioca e 6,22 e 6,29, para o feijão Preto. De acordo com Merwe, Osthoff e Pretorius (2006b), o pH é um importante parâmetro na qualidade do feijão enlatado podendo variar de acordo com os ingredientes utilizados na calda que, caso seja reduzido poderá interferir em reações como a hidrólise de proteínas e do amido. Porém, cabe destacar que neste trabalho não foram usados aditivos, logo as diferenças inerentes ao pH foram em função da composição química dos grãos. Para a acidez também não foram verificadas diferenças estatísticas significativas para o produto da classe Preto, com variação entre 0,27 e 0,29%. Na classe Carioca observou-se a menor média de acidez para o BRS Pérola (0,20%) e a maior para o BRS Estilo (0,31%).

### **3.3 Resultados para análises de correlação, ACP e análise de cluster**

De acordo com Walters *et al.* (1997), os parâmetros de qualidade do feijão enlatado podem estar física e quimicamente inter-relacionados. Dessa forma, o uso da análise multivariada de componentes principais, pode ser empregada para explicar a extensão da variação de componentes físicos e químicos nas diferenças de qualidade do feijão processado, possibilitando o melhor entendimento dessas relações (LANGE; LABUSCHAGNE, 2000). Merwe, Osthoff e Pretorius (2007) apontam que a análise de variância possibilita a interpretação de diferentes parâmetros de qualidade do feijão enlatado separadamente, mas não indica o agrupamento das variedades. Dessa forma, com uma abordagem multivariada é possível verificar a formação de grupos e quais os parâmetros mais importantes que discriminam os cultivares de feijão entre si.

Para os cultivares avaliados observou-se que o peso bruto da amostra de feijão enlatado (PB) apresentou uma associação positiva com o peso líquido (PL), com coeficiente de correlação de 0,988 ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3). A variável PB também foi associada com o

pH ( $r = -0,792$ ,  $p < 0,05$ ) e com o conteúdo de sólidos totais ( $r = -0,896$ ,  $p < 0,05$ ), porém, com associação positiva com a textura ( $r = 0,840$ ,  $p < 0,05$ ). Dessa forma, ocorreu também uma correlação negativa e significativa entre a variável PL e o pH da amostra ( $r = -0,824$ ) e o conteúdo de sólidos totais ( $r = -0,860$ ), ou seja, quanto maior o conteúdo de feijão, maior foi a concentração de íons  $H^+$  e de sólidos totais no caldo do feijão. O PL também foi positivamente relacionado à textura dos grãos processados ( $r = 0,875$ ), possivelmente pela maior quantidade de produto dentro da embalagem inferir no processo de cocção, reduzindo as taxas de transferência de calor e massa e, dessa forma, aumentar a resistência no grão.

Verificou-se também, ao nível de 5% de significância, correlação negativa entre PL e o teor de água das amostras ( $r = -0,719$ ) e associação positiva com o coeficiente de hidratação ( $r = 0,736$ ) (Tabela 3). A associação negativa entre o conteúdo de água presente na matéria-prima e o peso líquido, após o processamento, é correta, pois, quanto menor o conteúdo de umidade inicial ao processo, menor, também, o conteúdo final da amostra líquida. O teor de água correlacionou-se negativamente com o coeficiente de hidratação ( $r = -0,835$ ), pois quanto menor o conteúdo de umidade inicial no grão, menor o CH, pois a quantidade de água antes da hidratação é menor.

A porcentagem de peso drenado (PPD) apresentou correlação positiva e significativa ( $r = 0,741$ ) com a quantidade de sólidos solúveis no feijão processado industrialmente, ou seja, nesse caso quanto maior for a PPD, maiores, também, as concentrações de sólidos dissolvidos no caldo, decorrentes da alta solubilidade do amido presente no grão. Dessa forma, o caldo do feijão processado apresentará aspecto de espessura mais grossa, quando comparado com o produto que apresenta baixos índices de sólidos solúveis. Walters *et al.* (1997) verificaram correlação negativa entre PPD e a textura do feijão enlatado, o que também foi verificado neste trabalho ( $r = -0,462$ ).

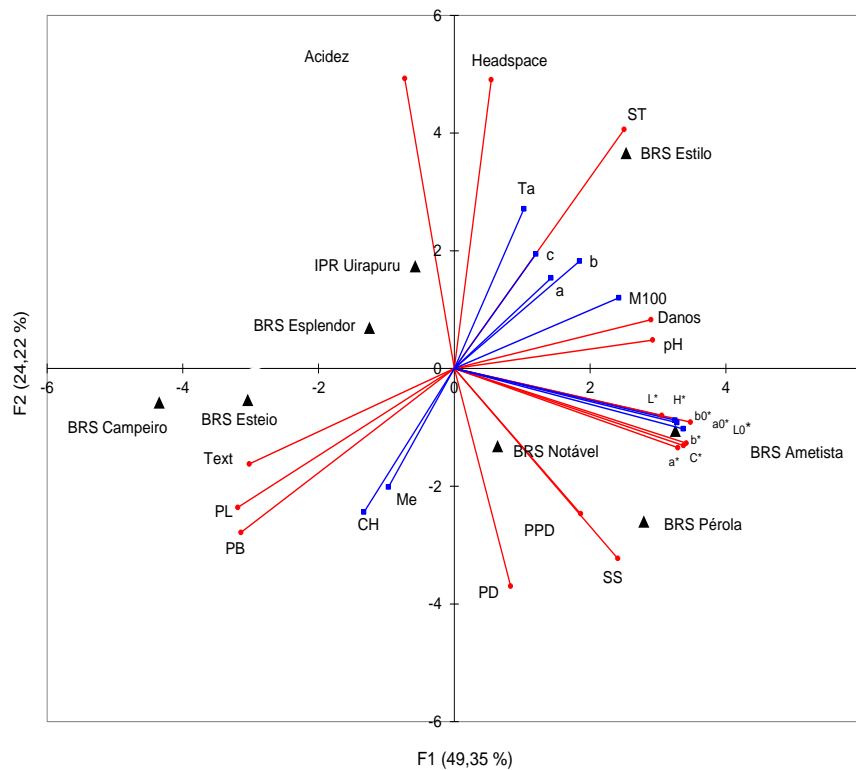
Ocorreu também associação negativa e significativa entre a dureza dos grãos processados e o teor de sólidos totais ( $r = -0,782$ ), ou seja, os grãos que apresentaram menor resistência degradaram-se em altas taxas e liberaram solutos para o caldo, durante o processamento, como pode ser observado para o cultivar da classe Carioca, BRS Estilo. Balasubramanian *et al.* (2000) verificaram que a textura do feijão foi inversamente relacionada com os parâmetros PD e PPD, o que também foi verificado neste trabalho, porém estas correlações não foram estatisticamente significativas. A altura do *headspace* foi positivamente associada com o índice de sólidos totais ( $r = 0,813$ ,  $p < 0,05$ ), isso pode ser explicado pelo fato de que maiores índices de sólidos no caldo são resultado de condições nas quais ocorreu maior lixiviação, possivelmente essa maior concentração de compostos lixiviados se agrega ao caldo e o espaço livre na parte superior da embalagem aumenta. Walters *et al.* (1997) verificaram uma correlação positiva entre o aspecto visual do feijão enlatado, verificado por meio de painel treinado e a textura. Neste trabalho, porém,

verificou-se correlação negativa ( $r = -0,616$ ) entre textura e índice de danos, concordando com os autores, visto que maiores valores de dureza implicam menores níveis de dano no grão processado, o que melhora o aspecto final do produto. Lange e Labuschagne (2000) verificaram na avaliação de seis cultivares provenientes de 11 localidades, correlação negativa e significativa entre PD, o tamanho do grão e a massa de 100 grãos. Neste trabalho, também, verificou-se correlação negativa entre PD e massa de 100 grãos ( $r = -0,205$ ) e com as dimensões do grão: comprimento ( $r = -0,271$ ) e espessura ( $r = -0,592$ ), porém, não significativas estatisticamente.

Cichy *et al.* (2014) verificaram que o coeficiente de hidratação (CH) apresentou correlação negativa com o peso drenado ( $r = -0,91$ ). O mesmo foi verificado neste trabalho ( $r = -0,335$ ), porém a relação foi fraca e não significativa entre as variáveis. Os mesmos autores apontaram ainda a relação negativa entre CH e textura ( $r = -0,49$ ), porém neste trabalho observou-se associação positiva entre estes parâmetros ( $r = 0,646$ ).

Os componentes relativos à cor  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e H, das amostras processadas, foram todos relacionados positivamente com os componentes de cor do grão *in natura*. O conteúdo de sólidos solúveis foi negativamente associado à acidez das amostras ( $r = -0,782$ ,  $p < 0,05$ ). O parâmetro massa de 100 grãos apresentou correlação positiva com as medidas do grão: comprimento ( $r = 0,574$ ), largura ( $r = 0,819$ ) e espessura ( $r = 0,772$ ), sendo significativas estatisticamente apenas para as duas últimas associações.

Na Figura 2 apresentam-se os dois componentes principais dos dados, da análise gerada a partir das 26 variáveis originais. Os componentes F1 e F2 apresentaram 73,57% de explicação para a variância dos resultados dos parâmetros avaliados nos grãos das classes Carioca e Preto.



**Figura 2** Biplot resultante da análise de componentes principais para os oito cultivares de feijão (expressas por ▲) com os parâmetros de qualidade da matéria-prima (identificados por ●) Ta: teor de água; a, b e c: dimensões do grão; M100: massa de 100 grãos, CH: coeficiente de hidratação,  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ : cor dos grãos não processados; e os parâmetros de qualidade do feijão enlatado (identificados por ●) PB: peso bruto, PL: peso líquido, PD: Peso drenado, PPD: percentual de peso drenado, Danos: índice de danos, Text: textura, SS: sólidos solúveis, ST: sólidos totais, Acidez, pH, *headspace* e  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e H: parâmetros de cor do produto processado.

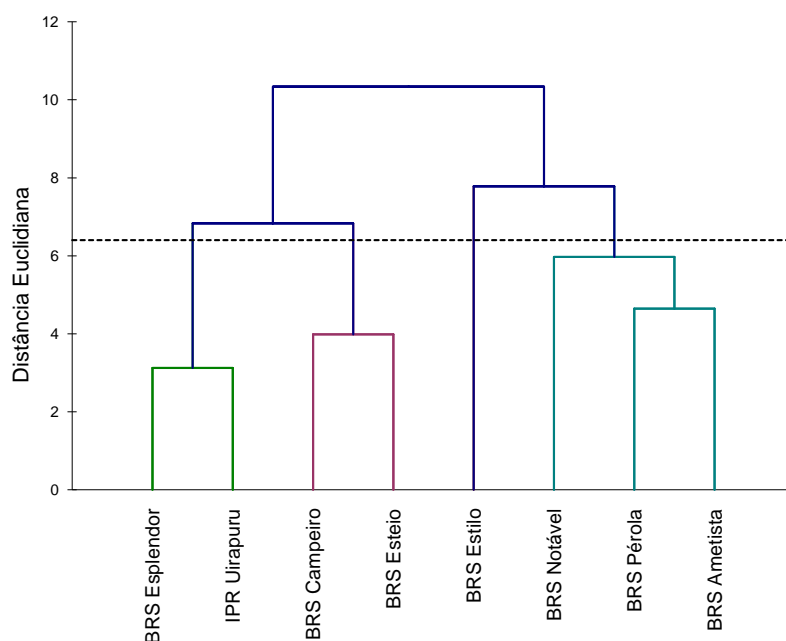
**Tabela 3** Estimativas das correlações de Pearson entre as variáveis de qualidade do feijão enlatado e da matéria-prima dos cultivares das classes comerciais Carioca e Preto

|                  | PB            | PL            | PD           | PPD          | H            | L*           | a*           | b*           | C*           | H*           | Dano   | S.S           | pH     | Acidez | ST            | Text  | Ta           | L <sub>0</sub> * | a <sub>0</sub> * | b <sub>0</sub> * | Me    | M100         | CH    | a     | b     |  |
|------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|---------------|--------|--------|---------------|-------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------|--------------|-------|-------|-------|--|
| PB               |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| PL               | <b>0,988</b>  |               |              |              |              |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| PD               | -0,011        | -0,136        |              |              |              |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| PPD              | -0,359        | -0,473        | <b>0,937</b> |              |              |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| H                | -0,559        | -0,533        | -0,449       | -0,218       |              |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| L*               | -0,451        | -0,399        | -0,099       | 0,055        | -0,129       |              |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| a*               | -0,484        | -0,461        | 0,052        | 0,210        | -0,241       | <b>0,939</b> |              |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| b*               | -0,514        | -0,494        | 0,072        | 0,239        | -0,184       | <b>0,960</b> | <b>0,992</b> |              |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| C*               | -0,504        | -0,483        | 0,066        | 0,231        | -0,207       | <b>0,954</b> | <b>0,997</b> | <b>0,999</b> |              |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| H*               | -0,547        | -0,524        | 0,024        | 0,208        | -0,100       | <b>0,957</b> | <b>0,969</b> | <b>0,988</b> | <b>0,982</b> |              |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| Dano             | -0,619        | -0,643        | 0,048        | 0,268        | 0,257        | 0,431        | 0,565        | 0,577        | 0,569        | 0,651        |        |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| S.S              | -0,228        | -0,337        | 0,702        | <b>0,741</b> | -0,247       | 0,348        | 0,478        | 0,518        | 0,503        | 0,537        | 0,561  |               |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| pH               | <b>-0,792</b> | <b>-0,824</b> | 0,396        | 0,644        | 0,296        | 0,418        | 0,398        | 0,467        | 0,443        | 0,509        | 0,426  | 0,548         |        |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| Acidez           | -0,309        | -0,206        | -0,690       | -0,538       | 0,591        | -0,205       | -0,278       | -0,302       | -0,296       | -0,261       | 0,004  | <b>-0,782</b> | -0,133 |        |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| ST               | <b>-0,896</b> | <b>-0,860</b> | -0,281       | 0,051        | <b>0,813</b> | 0,363        | 0,299        | 0,353        | 0,331        | 0,427        | 0,610  | 0,043         | 0,617  | 0,484  |               |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| Text.            | <b>0,840</b>  | <b>0,875</b>  | -0,179       | -0,462       | -0,435       | -0,378       | -0,506       | -0,519       | -0,516       | -0,502       | -0,616 | -0,368        | -0,562 | -0,040 | <b>-0,717</b> |       |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| Ta               | -0,679        | <b>-0,719</b> | 0,185        | 0,419        | 0,519        | -0,286       | -0,148       | -0,153       | -0,149       | -0,135       | 0,279  | 0,058         | 0,553  | 0,365  | 0,526         | 0,562 |              |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| L <sub>0</sub> * | -0,525        | -0,497        | 0,040        | 0,212        | -0,138       | <b>0,978</b> | <b>0,975</b> | <b>0,991</b> | <b>0,987</b> | <b>0,976</b> | 0,518  | 0,459         | 0,471  | -0,269 | 0,387         | 0,524 | 0,181        |                  |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| a <sub>0</sub> * | -0,501        | -0,465        | -0,014       | 0,152        | -0,165       | <b>0,960</b> | <b>0,982</b> | <b>0,983</b> | <b>0,984</b> | <b>0,962</b> | 0,546  | 0,392         | 0,367  | -0,198 | 0,368         | 0,525 | 0,201        | <b>0,987</b>     |                  |                  |       |              |       |       |       |  |
| b <sub>0</sub> * | -0,502        | -0,469        | -0,005       | 0,162        | -0,156       | <b>0,966</b> | <b>0,981</b> | <b>0,987</b> | <b>0,986</b> | <b>0,968</b> | 0,543  | 0,411         | 0,387  | -0,220 | 0,373         | 0,526 | 0,205        | <b>0,992</b>     | <b>0,999</b>     |                  |       |              |       |       |       |  |
| Me               | 0,209         | 0,080         | 0,675        | 0,567        | -0,172       | -0,610       | -0,416       | -0,434       | -0,424       | -0,499       | -0,250 | 0,307         | -0,011 | -0,451 | 0,403         | 0,102 | 0,374        | 0,472            | 0,504            | 0,498            |       |              |       |       |       |  |
| M100             | -0,526        | -0,516        | -0,205       | -0,003       | 0,482        | 0,572        | 0,450        | 0,526        | 0,498        | 0,610        | 0,464  | 0,417         | 0,617  | -0,136 | 0,616         | 0,375 | 0,098        | 0,534            | 0,438            | 0,465            | 0,347 |              |       |       |       |  |
| CH               | 0,667         | <b>0,736</b>  | -0,335       | -0,553       | -0,638       | 0,265        | 0,180        | 0,134        | 0,153        | 0,086        | -0,443 | -0,272        | -0,598 | -0,202 | 0,643         | 0,646 | <b>0,835</b> | 0,139            | 0,173            | 0,167            | 0,359 | 0,191        |       |       |       |  |
| a                | -0,430        | -0,349        | -0,271       | -0,116       | 0,300        | 0,586        | 0,327        | 0,395        | 0,373        | 0,409        | -0,154 | -0,143        | 0,520  | 0,157  | 0,461         | 0,133 | 0,045        | 0,483            | 0,395            | 0,414            | 0,535 | 0,574        | 0,079 |       |       |  |
| b                | -0,494        | -0,518        | -0,047       | 0,132        | 0,696        | 0,278        | 0,135        | 0,241        | 0,200        | 0,322        | 0,386  | 0,366         | 0,552  | -0,100 | 0,686         | 0,483 | 0,159        | 0,287            | 0,192            | 0,222            | 0,123 | <b>0,819</b> | 0,493 | 0,449 |       |  |
| c                | -0,213        | -0,177        | -0,592       | -0,469       | 0,492        | 0,375        | 0,293        | 0,326        | 0,310        | 0,424        | 0,519  | 0,132         | 0,050  | 0,088  | 0,472         | 0,174 | 0,139        | 0,313            | 0,300            | 0,313            | 0,484 | <b>0,772</b> | 0,037 | 0,180 | 0,606 |  |

**Nota:** PB: Peso bruto; PL: Peso líquido; PD: Peso drenado, PPD: percentual de peso drenado, H: altura do *headspace*; L\*, a\*, b\*, C e H: parâmetros de cor do produto processado; Dano: índice de dano; SS: sólidos solúveis; pH; acidez; ST: sólidos totais; Text: textura; Ta: teor de água; L<sub>0</sub>\*, a<sub>0</sub>\*, b<sub>0</sub>\*: cor dos grãos não processados; Me: massa específica; M100: massa de 100 grãos, CH: coeficiente de hidratação; a, b e c: dimensões do grão. Valores das correlações destacados em negrito foram significativos estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade através do Teste t.

No Biplot (Figura 2) verifica-se a variação e a associação entre os parâmetros de qualidade, assim como o desempenho relativo dos cultivares para cada parâmetro de qualidade avaliado, tanto da matéria-prima, como do grão processado industrialmente. Para o componente principal (F1), verificou-se maior contribuição das variáveis peso bruto, peso líquido, índice de danos, sólidos solúveis, pH, textura e cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e H). Para o componente F2 ocorreu maior contribuição das variáveis de qualidade altura de *headspace*, acidez e sólidos totais. O Biplot apresenta os cultivares da classe Carioca posicionados positivamente para F2, com BRS Notável, Ametista e Pérola no mesmo quadrante, diferenciando-se apenas o BRS Estilo, por estar no quadrante superior direito, por ter apresentado maiores valores para altura do *headspace*, acidez e sólidos totais. Para os cultivares da classe Preto, os mesmos posicionam-se inversos aos da classe Carioca, porém, o BRS Campeiro e o BRS Esteio estão no quadrante inferior esquerdo, por apresentarem maiores valores nos parâmetros peso bruto, peso líquido e textura. O BRS Esplendor e o IPR Uirapuru foram alocados no quadrante superior esquerdo, por apresentarem maiores valores para acidez e sólidos totais, quando comparados aos demais da mesma classe.

Na Figura 3 está apresentado o resultado gráfico da análise de cluster aglomerativa hierárquica para os cultivares de feijão avaliados.



**Figura 3** Dendrograma resultante da análise de cluster aglomerativa hierárquica para os oito cultivares brasileiros de feijão, avaliados no processamento industrial tipo enlatado.

A análise de cluster (Figura 3) apresentou uma separação de quatro grupos distintos, dois para cada classe de feijão estudada. O primeiro cluster é formado pelos cultivares BRS



Esplendor e IPR Uirapuru; o segundo pelo BRS Campeiro e o BRS Esteio, todos da classe comercial Preto. O terceiro grupo é formado apenas pelo cultivar Carioca BRS Estilo, o que comprova os resultados apresentados na ACP. O último cluster foi formado por: BRS Notável, BRS Pérola e BRS Ametista, sendo estes dois últimos mais similares quando comparados ao primeiro. Dessa forma, confirmaram-se os resultados apresentados anteriormente que, na classe Carioca, o cultivar BRS Estilo apresentou caracteres de qualidade diferente dos demais, após o processamento industrial. Na classe Preto não ocorrem destaques, mas se observa similaridade nos parâmetros de qualidade entre os cultivares BRS Esplendor e IPR Uirapuru e BRS Esteio e BRS Campeiro.

#### **4 CONCLUSÕES**

Foram verificadas diferenças significativas nos parâmetros de qualidade do feijão enlatado entre os cultivares de feijão avaliados. Na classe Carioca verificou-se que o cultivar BRS Estilo diferencia-se dos demais, devido ao baixo peso drenado, que aumentou o índice de sólidos totais no caldo, além da baixa resistência com acentuada maciez do grão processado e maior índice de danos no tegumento. Logo, este cultivar não deve ser indicado para o processamento industrial utilizado nesta pesquisa.

Para os feijões da classe comercial Preto, observaram-se características semelhantes entre os cultivares BRS Esplendor e IPR Uirapuru, e BRS Campeiro com BRS Esteio, especialmente devido aos parâmetros de textura, peso bruto e líquido. Destacou-se o BRS Campeiro que apresentou menores índices de grãos trincados e explodidos, o que reduziu também o índice de sólidos totais no caldo do produto.

Sugere-se que os cultivares avaliados neste experimento podem ser empregados e avaliados em diferentes protocolos de processamento, nos quais utilizam-se operações distintas dessa pesquisa, como a hidratação e o branqueamento dos grãos, empregados em algumas plantas de processamento no país. Os resultados obtidos contribuem para orientar novas pesquisas em torno do feijão enlatado no Brasil, nas quais poderão ser verificados atributos químicos e sensoriais do produto, além de fornecer informações à indústria de processamento, importadores e programas de melhoramento genético.

## REFERÊNCIAS

- AZARPAZHOOH, E.; BOYE, J. I. Composition of processed dry beans and pulses. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 103-128.
- BALASUBRAMANIAN, P.; SLINKARD, A.; TYLER, R.; VANDERBERG, A. A modified laboratory canning protocol for quality evaluation of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 80, p. 732-738, 2000.
- BASSINELLO, P. Z. Qualidade nutricional, funcional e tecnológica do feijão. *In*: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 452 p.
- BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, R. D. B.; SOUZA, M. V.; LOPES, M. V. Efeito do processamento sobre os teores de oxalato e tanino em maxixe (*cucumis anguria* L.), jiló (*solanum gilo*), feijão verde (*vigna unguiculata* (L.) walp) e feijão andu (*cajanus cajan* (L.) mill sp). **Alimentos e Nutrição – Brazilian Journal of Food and Nutrition**, Araraquara, v. 24, n. 3, p. 321-327, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, Brasil, 2009. 399 p.
- CICHY, K. A.; FERNADEZ, A.; KILIAN, A.; KELLY, J. D.; GALEANO, C. H.; SHAW, S.; BRICK, M.; HODKINSON, D.; TROXTELL, E. QTL analysis of canning quality and color retention in black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, v. 33, n. 1, p. 139-154, 2014
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Catálogo de cultivares de feijão comum**. 2013. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/tecnologiaseproductos/cultivares/catalogoFeijao-12jun2013.pdf>. Acesso em: ago. 2015.
- ERTAS, N. The effects of aqueous processing on some physical and nutrition properties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Health & Nutrition**, Daves, v. 2, n. 1, p. 21-27, 2011.
- FERNANDES, A. C. **Tipos de feijões e técnicas de preparo utilizados em unidades produtoras de refeições das regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC, Florianópolis, 2010.
- FORTUNATO, A. A.; MAGALHÃES, M. A.; MARIA, Z. L. Estudo do feijão verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 299-301, 2000.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. Nobel, São Paulo, 2008. 644 p.
- GHASEMLOU, M.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; EMAM-DJOMEH, Z. Relating consumer preferences to textural attributes of cooked beans: Development of a industrial protocol and

microstrutural observations. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 88-98, 2013.

GUZEL, D.; SAYAR, S. Effect of cooking methods on selected physicochemical and nutritional properties os barlotto bean, chickpea, faba bean and white kidney bean. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 1, p. 89-95, 2012.

HOSFIELD, G. L.; GHADERI, A.; UEBERSAX, M. A. A factor analysis of yield and sensory and physico-chemical data from tests used to measure culinary quality in dry edible beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 64, n.1, p.285-293, 1984.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1363>, Acesso em: jul. 2015.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 9-18, 2013.

KELLY, J. D.; CICHY, K. A. Dry bean breeding and production technologies. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013b. p. 23-54.

KHANAL, R.; BURT, A. J.; WOODROW, L.; BALASUBRAMANIAN, P.; NAVABI, A. Genotypic association of parameters commonly used to predict canning quality of dry bean. **Crops Science**, v. 54, p. 2564-2573, 2015.

LANGE, A.; LABUSCHAGNE, M. Multivariate assessment of canning quality, chemical characteristics and yield of small white canning beans (*Phaseolus vulgaris* L) in South Africa. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hamilton, v. 81, n. 1, p. 30-35, 2000.

LIMA, N. L.; EMANUELLE, C.; SILVA, C. L.; DINIZ, M. C.; OLIVEIRA, M. R. T.; GADELHA, T. S. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

LIMA, E. D. P.; JERÔNIMO, E. S.; LIMA, C. A. A.; GONDIM, P. J. S.; ALGRIGUE, M.L.; CAVALCANTE, L.F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão caupi para processamento tipo conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p. 129-134, 2003.

LOPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P.; POLOMINO, O. M.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking an germination on phenolic composition an biological properties of dark beans. **Food Chemistry**, v. 138, n. 1, p. 547-555, 2013.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. Tradução Carmona, S. I. C. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MATELLA, N. J.; MISHRA, D. K.; DOLAN, K. D. Hydration, blanching and thermal processing of dry beans. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: Jonh Wiley & Sons, 2013. p. 129 - 154.

MENDOZA, F.; DEJMEK, P.; AGUILERA, J. M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v.41, n. 1, p. 285-295, 2006.

MENDOZA, F. A.; CICHY, K.; LU, R.; KELLY, J. D. Evaluation of canning quality traits in black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by visible/near-infrared spectroscopy. **Food Bioprocess and Technology**, v. 7, n. 1, p. 2666-2678, 2014.

MERWE, D. V. D.; OSTHOFF, G.; PRETORIUS, A. J. Evaluation and standardization of small-scale canning methods for small white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in tomato sauce. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 86, p. 1115-1124, 2006a.

MERWE, D.V.D.; OSTHOFF, G.; PRETORIUS, A.J. Comparison of the canning quality of small white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in tomato sauce by a small-scale and an industrial method. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Daves, v. 86, p. 1146-1156, 2006b.

MERWE, D.V.D.; OSTHOFF, G.; PRETORIUS, A.J. Using canonical variety analysis to group small white bean cultivars canned in tomato sauce according to their canning quality. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 24, n. 2, p. 88-94, 2007.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach science publishers Inc., 1986. 734p.

OOMAH, B.D.; LUC, G.; LEPRELLE, C.; DROVER, J.C. G.; HARRISON, J.E.; OLSON, M. Phenolics, phytic acid, and phytase in Canadian-grown low-tannin faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Daves, v. 59, p. 3763-3771, 2011.

OSORIO-DIAZ, P.; BELLO-PÉREZ, L.A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; VARGAS-TORRES, A.; TOVAR, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry, Reading**, n. 78, p. 333-337, 2002.

PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; MUSQUIZ, M.; CABELLOS, B.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; ASENSIO-VEGAS, C. Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry, Reading**, n. 1, v. 166, p. 68-75, 2015.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; WENDLAND, A.; DEL PELOSO, M.A.; ...; BASSINELLO, P.Z. BRS Esteio - cultivar de feijoeiro comum com grãos pretos, alto potencial produtivo e resistência à antracnose. **Boletim técnico**, Santo Antônio de Goiás, GO, 2013. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/964215/1/comunicadotecnico213.pdf>.

Acesso em: ago. 2015.

POSA-MACALINCAG, M.; HOSFIELD, G.L.; GRAFTON, K.F.; UEBERSAX, M.A.; KELLY, J.D. Quantitative Trait Loci (QTL) analysis of canning quality traits in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 127, n. 4, p. 608-615, 2002.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.

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 Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 64, n. 1, p. 174-180, 2009.

SLUPSKI, J. Effect of cooking and sterilization on the composition of amino acids in immature seeds of flageolet bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Food Chemistry**, Reading, v. 121, n. 1, p. 1171-1176, 2010.

SIDDIQ, M.; BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Dry Beans: Production, Processing, and Nutrition. In: SINHA, N.K. **Handbook of vegetables & Vegetable processing**. Ames: John Wiley & Sons, 2011. p. 545-564.

SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. Dry beans and pulses production and consumption – an overview. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 3-22.

SIQUEIRA, B. S.; PEREIRA, W. J.; BATISTA, K. A.; OOMAH, D. B.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Influence of storage on darkening and hardening of slow – and regular – carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Agricultural Studies**, Cambridge, v. 2, n. 2, p. 2166-0369, 2014.

UEBERSAX, M. A.; SIDDIQ, M. Postharvest storage quality, packaging and distribution of dry beans. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 75-100.

WALTERS, K. J.; HOSFIELD, G. L.; UEBERSAX, M. A.; KELLY, J. D. Navy bean canning quality: correlations, heritability estimates, and randomly amplified polymorphic DNA markers associated with component traits. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 122, n. 3, p. 338-343, 1997.

WANDER, A. E.; BASSINELO, P. Z.; RICARDO, T. R. Perfil dos consumidores de arroz e feijão na região metropolitana de Goiânia. **Comunicado Técnico**, 127, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

WHITE, B.; HOWARD, L. R. Canned whole dry beans and bean products. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 155 - 183.

WRIGHT, E. M.; KELLY, J. D. Mapping QTL for seed yield and canning quality following processing of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v. 179, n. 1, p. 471-484, 2011.

## ARTIGO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA SUBMETIDOS AO PROCESSAMENTO DE GRÃOS DESIDRATADOS DE COZIMENTO RÁPIDO

### 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, destaca-se a inclusão do feijão na dieta e os seus benefícios na saúde humana devido aos seus constituintes nutricionais. Os principais efeitos da ingestão frequente deste alimento incluem o controle e a prevenção de várias doenças metabólicas, como o diabetes, doenças cardiovasculares e câncer (OSORIO-DÍAZ *et al.*, 2002; PAN *et al.*, 2010; GUZEL; SAYAR, 2012; SILVA *et al.*, 2012; GHASEMLOU; GHARIBZAHEDI; EMAM-DJOMEH, 2013; MORENO-JIMÉNEZ *et al.*, 2015 ). Os compostos fenólicos e taninos presentes nas leguminosas, também considerados antinutricionais por diminuírem a biodisponibilidade de proteínas e minerais, vêm ganhando espaço na pesquisa acadêmica. Devido a sua ação contra radicais livres, que podem retardar ou inibir danos oxidativos, pois atuam como antioxidantes e em, alguns casos, apresentam ação anti-inflamatória (GARCÍA-LAFUENTE *et al.*, 2014), dessa forma seus efeitos contribuem para a promoção da saúde. A produção de feijão em todo mundo aumentou nos últimos anos, porém o consumo vem diminuindo, devido a mudanças nos hábitos alimentares, por isso a indústria procura novos usos para o feijão com a criação de novos alimentos que apresentem além de preparo facilitado, efeitos na saúde e bem-estar do consumidor (AGUILERA *et al.*, 2011).

Uma das formas de processamento que pode ser empregada em leguminosas é a que visa obter um produto processado desidratado e de cozimento rápido. O objetivo da técnica é reduzir o tempo de preparação para os consumidores domésticos (CAI; CHANG, 1997a). Esse processo ainda não é empregado industrialmente em larga escala, mas tem potencial para, no futuro, interar o grupo de alimentos à base de feijão presentes no mercado. Porém, atualmente, um dos problemas relacionados com o este tipo de processamento que leva à não aceitação do produto são os defeitos estruturais, ou seja, a divisão dos grãos e a ruptura da casca. A pesquisa em torno do feijão pré-cozido desidratado está focada, principalmente, em duas áreas: redução do tempo de preparo e dos defeitos estruturais (PAN *et al.*, 2010).

A ideia básica acerca do feijão desidratado de cozimento rápido é a de grãos submetidos a processamento, principalmente com redução no tempo de preparo, seguido da secagem, visando apresentar ao consumidor um produto seco, com aspecto visual parecido

ao grão *in natura* encontrado no mercado (CAI; CHANG, 1997b). O grão processado e desidratado poderia ser uma alternativa de rápida preparação, além de promover o consumo do feijão (ULLOA *et al.*, 2013).

As etapas que envolvem o processamento do feijão desidratado de cozimento rápido podem ser: o branqueamento, a hidratação, o cozimento e a secagem (PAN *et al.*, 2010). A hidratação em grãos de feijão é uma etapa que antecede o cozimento, tradicionalmente realizada pelos consumidores, durante um período de algumas horas, que permite a absorção de água, facilitando a etapa de cozimento e garantindo a maciez ao produto (CORTE *et al.*, 2003). Segundo Rehman, Salarya e Safar (2001), a hidratação do feijão permite suavizar a textura e acelerar o cozimento do grão. Zhao e Chang (2008) apontam que a hidratação em longos períodos em condições de baixa temperatura aumenta a distribuição da celulose na parede celular e promove o amaciamento do produto. Entretanto, é um processo que, juntamente com o cozimento, pode acarretar perda de micro e macronutrientes e do conteúdo proteico. A hidratação dos grãos de feijão pode ser utilizada em associação com processos químicos, como por exemplo, adição de sais de sódio com o objetivo de reduzir o tempo de cocção de leguminosas (ONWUKA; OKALA, 2003; GHASEMLOU; GHARIBZAHEDI; EMAM-DJOMEH, 2013; SCHOENINGER *et al.*, 2014; ÁVILA *et al.*, 2015).

Matella, Mishra e Dolan (2013) apontam a utilização de aditivos no processo de hidratação de grãos de feijão como o cloreto de sódio (NaCl), bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), visando à redução no tempo de preparo do produto. Urga *et al.* (2006), com o objetivo de processar ervilhas de cozimento rápido utilizaram a maceração e o branqueamento em soluções, contendo bicarbonato de sódio, ácido cítrico e minerais. Ocorreram reduções significativas no tempo de cozimento quando utilizadas essas soluções na maceração dos grãos de ervilha. Essas técnicas são, então, alternativas para tornar o produto mais aceitável pelos consumidores, além de diminuir custos com energia no preparo dos alimentos. A secagem dos grãos de feijão de cozimento rápido é realizada para reduzir o teor de água, aumentando assim a vida de prateleira. O objetivo também é tornar o aspecto do produto próximo ao grão seco tradicional (ABU-GHANNAM, GOWEN; 2011).

As pesquisas com feijão desidratado de cozimento rápido iniciaram em meados de 1960 e evoluíram, ao longo do tempo. Dorsey, Orinda e Strashun (1966) apresentam uma das primeiras propostas para esta técnica de processamento, e designam o produto final como feijão instantâneo. Os autores utilizaram nesse processo as etapas de cozimento na temperatura de 100 °C por 15 minutos, em condição pressurizada e resfriamento seguido da secagem na temperatura de 130 °C por 2 horas ou 160 °C por 1 hora, com o objetivo de reduzir do teor de água dos grãos de feijão para 6 a 10%. Iyer *et al.* (1980) avaliaram a

aplicação do processamento em feijões de rápido cozimento em três tipos de feijão: Great Northern, kidney e Pinto; o primeiro foi indicado por apresentar características organolépticas mais aceitáveis do que os demais.

Al-Nouri e Siddiq (1982) relatam o método para obtenção de feijão de cozimento rápido, com as etapas de branqueamento por um período de 7 minutos, hidratação em soluções salinas, utilizando  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e fosfato trissódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), seguida da secagem. Della Valle e Marco (1988) avaliaram o processamento de feijão, também denominado pelos autores, como instantâneo. O processo utilizado consistiu no cozimento dos grãos por 2 horas na temperatura de 100 °C, seguido da secagem a 100 °C, em sistema de circulação de ar, com a redução do conteúdo de água para 10%. Bertoldo *et al.* (2010) avaliaram o efeito da adição do NaCl na hidratação de feijões dos cultivares BRS Pérola e IPR Uirapuru envelhecidos e verificaram para ambos um efeito significativo da adição deste sal na redução do tempo de cozimento, logo a técnica também é uma alternativa para processos de cocção de grãos com defeitos de endurecimento na casca e no tegumento devidos ao armazenamento.

Cai e Chang (1997a) relataram o grande problema na preparação de feijões desidratados de cozimento rápido, o alto índice de defeitos no produto final. Os autores sugeriram o revestimento dos grãos antes da secagem com utilização de biopolímero (dextrina a 20%), que reduziu 43% o índice de grãos danificados ao final do processo. Os autores também apontam outras características de qualidade que devem ser apresentadas por este tipo de produto, coloração com tonalidades próximas ao grão não processado, tempo de reidratação baixo (6 a 9 minutos) e firmeza aceitável pelos consumidores após o cozimento doméstico. O tempo de preparação de feijão pré-cozido desidratado deve ser relativamente curto, para atrair os consumidores para o produto. Segundo Pan *et al.* (2010), este tempo deve ser não mais do que 10 a 20 minutos, em água fervente.

Neste sentido, além de reduzir o tempo de preparo do feijão, deve-se buscar a redução no nível de dano e na diferença de coloração causados pelo pré-processamento, para que se obtenha um produto de qualidade e maior aceitação pelos consumidores, diminuindo-se as perdas econômicas para os fabricantes. Portanto, trabalhos na área se fazem necessários para que possam ser orientadas novas pesquisas e processos em torno desse tipo de produto, além da verificação da adaptabilidade de classes e cultivares de feijão neste processo. Considerando o exposto, estabeleceu-se como objetivo desta etapa do presente trabalho avaliar os efeitos do processamento, em quatro cultivares de feijão da classe comercial Carioca, utilizando hidratação em sal de sódio seguida de secagem, para obtenção de grãos desidratados de cozimento rápido.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matéria-prima

Grãos de quatro cultivares de feijão do grupo I, classe comercial cores (BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81) foram doadas pela Embrapa Arroz e Feijão e cultivadas na Safra 2013/2014, em uma área agrícola comercial no município de Santa Tereza do Oeste – Paraná. O solo da área foi classificado como Vermelho distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, substrato basáltico, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). A cultura antecessora na safra de inverno foi o milho. Realizou-se o plantio manualmente após a abertura mecanizada das linhas de plantio, utilizando-se densidade de 14 sementes.m<sup>-1</sup>, espaçamento de 0,45 m, em parcelas de 22,5 m<sup>2</sup>, com bordaduras e espaçamento entre parcelas de 1 m. Realizou-se o tratamento químico das sementes com inseticida e fungicida comercial e também a adubação base com N-P-K (4-20-20). A colheita, a debulha e a limpeza do produto foram realizadas manualmente, seguidas da secagem ao ar natural em ambiente de laboratório. Após a secagem, os grãos foram encaminhados ao Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas da UNIOESTE – *campus* Cascavel –PR, e submetidos ao processamento.

### 2.2 Processamento dos grãos

O processamento dos grãos de feijão Carioca de cozimento rápido foi realizado utilizando-se hidratação em solução salina seguida de secagem do produto. Para tal, foram utilizadas diferentes concentrações de bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) na solução de hidratação, além de considerar como fator de variação no processo, os cultivares. Os fatores estudados estão apresentados na Tabela 1, juntamente com seus respectivos níveis. A faixa de estudo para a concentração de NaHCO<sub>3</sub> foi definida com base em estudos realizados por Schoeninger *et al.* (2014). Os níveis para o fator cultivar foram 4: BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81.

**Tabela 1** Matriz do planejamento composto central (DCC) definindo os níveis iniciais estabelecidos das duas variáveis independentes do processo de produção do feijão Carioca desidratado de cozimento rápido

| Fatores   | Níveis |     |     |
|---|--------|-----|-----|
|   | -1     | 0   | +1  |
| Concentração de NaHCO <sub>3</sub> (g.100mL <sup>-1</sup> ) | 0      | 1,5 | 3,0 |
| Cultivar*   | -      | -   | -   |

**Nota:** \*Foram consideradas os quatro cultivares: BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81.

A combinação dos fatores estudados gerou a matriz do planejamento que contou com 20 ensaios. Para cada ensaio utilizaram-se 125 gramas de feijão, os quais foram acondicionadas em béquer, contendo 500 mL de solução de NaHCO<sub>3</sub>. Os grãos permaneceram em hidratação pelo período de 13 horas e 10 minutos em condições de temperatura ambiente. Após, a solução foi drenada e os grãos dispostos em estufa de circulação e renovação de ar (Tecnal® TE-394/1) na temperatura de 55 °C ± 2 °C. Durante a secagem, os grãos tiveram a massa mensurada em intervalos periódicos, até atingirem, aproximadamente, o teor de água inicial ao processo (13% base seca). As condições de tempo de hidratação, temperatura da solução e de secagem foram definidos de acordo com resultados das pesquisas de Schoeninger *et al.* (2014). Após o processamento, os grãos foram analisados quanto aos parâmetros de qualidade, descritos a seguir.

### 2.3 Análises de qualidade realizadas no feijão desidratado de cozimento rápido

Ao final do processamento, avaliou-se em, cada amostra, o índice de grãos danificados, utilizando-se metodologia de Pan *et al.* (2010). A massa total de grãos foi separada em duas porções: danificados e não danificados. Para a classificação de produto com dano, foram considerados: a presença de rachaduras no tegumento, o desprendimento da casca do tegumento e a presença de bandinhas (feijão partido). Os grãos danificados tiveram sua massa mensurada e o índice determinado em função da massa total da amostra, expresso em g.100 g<sup>-1</sup>.

O tempo de cozimento (minutos) foi avaliado nos grãos, utilizando-se o aparelho cozedor de Mattson modificado, em condições atmosféricas ambientais, seguindo o método proposto por Proctor e Watts (1987). O tempo de cozimento foi considerado quando, no mínimo, 50% (TC<sub>50</sub>) dos grãos foram perfurados pelas hastes metálicas do aparelho. A análise também foi realizada em grãos controle (não processados) e com os valores do tempo de cozimento das amostras de feijões, processado e controle, foi calculada a alteração do tempo de cozimento (ATC) nos grãos, conforme Equação 1:

$$ATC = \left( \frac{TC_{controle} - TC_{amostra}}{TC_{controle}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

ATC = Alteração do tempo de cozimento da amostra, em relação ao controle (%);

$TC_{controle}$  = tempo necessário para o cozimento dos grãos de feijão considerados controle (não processados), em minutos;

$TC_{amostra}$  = tempo necessário para o cozimento dos grãos das amostras de feijão processado, em minutos.

A cor do produto foi determinada pela leitura direta dos grãos de feijão em colorímetro (Konica Minolta, CR410, Osaka, Japão) com abertura de 50 mm, o qual considera no seu sistema as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , responsáveis pela luminosidade, teor de vermelho e teor de amarelo, respectivamente, utilizando o espaço de cor CIE (MENDOZA; DEJMEK; AGUILERA, 2006). O aparelho foi previamente calibrado em placa cerâmica, de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante ( $Y = 85,8$ ;  $x = 0,3195$ ;  $y = 0,3369$ ), utilizando-se o iluminante D65 que representa a média da luz do dia. O produto foi colocado sob o acessório de acomodação de amostras do tipo granulares (modelo CR-A50) e as leituras realizadas em triplicata (MINOLTA, 1993). Primeiramente, determinou-se a cor dos grãos controle de cada uma dos cultivares ( $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ) e, em seguida, foram medidas as amostras processadas, obtendo-se os valores médios para a diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle ( $\Delta E^*$ ), utilizando-se a seguinte equação:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (2)$$

Em que:

$\Delta E^*$  = diferença de cor, em relação ao controle;

$\Delta L^*$  = diferença entre a luminosidade da amostra, em relação ao controle ( $L_0^*$ );

$\Delta a^*$  = diferença entre o componente  $a^*$  da amostra, em relação ao controle ( $a_0^*$ );

$\Delta b^*$  = diferença entre o componente  $b^*$  da amostra, em relação ao controle ( $b_0^*$ ).

## 2.4 Planejamento estatístico

O experimento foi realizado em duas etapas: na primeira, utilizou-se um planejamento do tipo delineamento composto central  $2^K$ , com pontos centrais, que avaliou o efeito do fator quantitativo: concentração de  $\text{NaHCO}_3$  utilizada na hidratação ( $\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ), em três níveis (-1, 0 e +1); e do fator qualitativo: cultivar, em quatro níveis (BRS Pérola, BRS

Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81), nas variáveis dependentes índice de dano, tempo de cozimento e diferença de cor. Esta etapa contou com 20 ensaios, incluindo três repetições no ponto central a cada combinação dos níveis da variável cultivar. Os resultados foram analisados, calculando-se os efeitos principais dos fatores e da interação sobre as respostas analisadas, considerando um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ) (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010) e, também, as combinações entre dois fatores qualitativos (cultivar).

Na segunda etapa do experimento, definiram-se dois cultivares com melhor adaptação ao processo de produção de feijão desidratado de cozimento rápido e se realizou um novo planejamento estatístico, tipo delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, com variação na concentração de bicarbonato de sódio ( $\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ) de 0 a  $7,5 \text{ g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ , utilizada na hidratação seguida da secagem. Foram ajustados modelos de regressão polinomial, correlacionando as variáveis dependentes com a variável concentração de  $\text{NaHCO}_3$ , verificados através da análise de variância, ao nível de 5%, com seus coeficientes avaliados por meio do teste “t”.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Resultados relativos ao delineamento composto central (DCC) para todos os cultivares**

Os grãos de feijão não processados (controle) apresentaram tempo de cozimento médio igual a 20, 16, 13 e 20 minutos para os cultivares BRS Pérola, BRS Madrepérola, BRS Estilo e IAPAR 81, respectivamente (Tabela 2). Os valores são considerados baixos, porém, cabe ressaltar que foram avaliados em grãos recém-colhidos. Oliveira *et al.* (2011) avaliaram o tempo de cozimento em diferentes cultivares de feijão recém-colhido e verificaram valores médios inferiores a 24,4 minutos, dessa forma todas as amostras apresentaram um grau de maciez aceitável para o consumo doméstico. No caso dos cultivares avaliados neste estudo, pode-se inferir que os mesmos apresentaram alta qualidade para o cozimento doméstico, após a colheita, com atenção para o BRS Estilo que apresentou o menor tempo de cocção.

O tempo de cozimento é uma característica de qualidade tecnológica importante na seleção de linhagens promissoras, porém, podem ocorrer importantes variações para a mesmo cultivar de acordo com o ambiente, época e prática de cultivo, assim como as

condições e o tempo de armazenagem dos grãos (LEÃO; GUERRA; FREITAS, 1992; CARBONELL; CARVALHO; PEREIRA, 2003; ZAMINDAR *et al.*, 2013). Delfino e Caniatti-Brazaca (2010), avaliando a qualidade do cultivar BRS Pérola, armazenada em condições ambientais, verificaram incremento no tempo de cozimento dos grãos até o terceiro mês de armazenamento, ocorrendo estabilização desta resposta após este período. Além disso, condições de alta umidade relativa e alta temperatura no ambiente de armazenagem aceleram também o endurecimento dos grãos, causando o problema conhecido como HTC ou difícil de cozinhar (COELHO *et al.*, 2013; UEBERSAX; SIDDIQ, 2013).

**Tabela 2** Caracterização dos parâmetros tempo de cozimento (TC) e componentes de cor L\*, a\* e b\* (adimensionais) nos grãos considerados controle, ou seja, sem processamento

| Cultivar        | TC (minutos) <sup>1</sup> | L*                        | a*                       | b*                        |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| BRS Pérola      | 20 ± 1,53 <sup>a</sup>    | 52,26 ± 0,38 <sup>b</sup> | 7,67 ± 0,39 <sup>a</sup> | 12,27 ± 0,32 <sup>a</sup> |
| BRS Madrepérola | 16 ± 1,15 <sup>b</sup>    | 57,46 ± 0,17 <sup>a</sup> | 4,55 ± 0,04 <sup>b</sup> | 12,59 ± 0,11 <sup>a</sup> |
| BRS Estilo      | 13 ± 0,58 <sup>b</sup>    | 52,25 ± 1,67 <sup>b</sup> | 7,00 ± 0,38 <sup>a</sup> | 12,14 ± 0,42 <sup>a</sup> |
| IAPAR 81        | 20 ± 2,08 <sup>a</sup>    | 52,33 ± 0,76 <sup>b</sup> | 7,27 ± 0,25 <sup>a</sup> | 12,23 ± 0,65 <sup>a</sup> |

**Nota:** <sup>1</sup>: Média ± desvio padrão. Letras minúsculas iguais na coluna representam médias estatisticamente iguais entre si, de acordo com o teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Com relação à coloração dos grãos controle (Tabela 2), verificou-se que a luminosidade (L\*) apresentada pelo cultivar BRS Madrepérola foi maior dentre os avaliados, com valor médio de 57,46. O valor do componente L\* varia em uma escala de 0 a 100, em que o zero representa o preto absoluto e 100 o branco absoluto (MENDOZA; DEJMEK; AGUILERA, 2006), sendo assim, o cultivar BRS Madrepérola apresentou maior claridade no tegumento, quando comparado aos demais. Dentro do espaço de cor L\*a\*b\*, os demais parâmetros a\* (componente cromático verde – vermelho) e b\* (componente cromático azul – amarelo) podem apresentar valores variando entre -120 e +120 (MENDOZA; DEJMEK; AGUILERA, 2006). Dessa forma observou-se para a\* valores entre 4,55 e 7,67, positivos com predominância da cor vermelha na composição, destacando-se o cultivar BRS Madrepérola, por apresentar menor média, estatisticamente diferente dos demais. Já para b\* não ocorreu diferença estatística entre os cultivares, com valores entre 12,14 e 12,59; valores estes também positivos o que implica a predominância da cor amarela na composição.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados para os parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos processados, analisados após a realização dos ensaios do planejamento delineamento composto central (DCC). Com relação ao índice de grãos danificados, após o processamento, observou-se um valor médio de 5,11 g.100g<sup>-1</sup>, com variação de 1,55 a 9,31 g.100g<sup>-1</sup>, para os ensaios 14 e 03, respectivamente, ambos relativos ao cultivar BRS Madrepérola. Schoeninger *et al.* (2013), trabalhando com o processamento

de feijão desidratado de cozimento rápido em soluções salinas, obtiveram índices de dano que variaram entre 3,72 e 9,53%, para o cultivar IAPAR 81, logo os resultados obtidos para o mesmo cultivar nesta pesquisa encontram-se neste intervalo. Os maiores índices de dano verificados nas condições dos ensaios 03, 06, 08 e 11 são considerados altos, haja vista que os grãos que, após a secagem, apresentaram rachaduras no tegumento, desprendimento da casca e/ou bandinhas podem interferir no aspecto visual do produto, com menor aceitabilidade pelo consumidor.

**Tabela 3** Resultados relativos ao delineamento composto central (DCC) para as variáveis dependentes: índice de dano (%), tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC%) e diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) dos grãos de feijão Carioca processados em relação ao controle de cada cultivar avaliado

| Ensaio | NaHCO <sub>3</sub><br>(g.100mL <sup>-1</sup> ) | Cultivar        | Índice de dano<br>(g.100g <sup>-1</sup> ) | Tempo de cozimento<br>(min) | ATC (%) <sup>a</sup> | $\Delta E^*$ |
|--------|--|-----------------|---|-----------------------------|----------------------|--------------|
| 01     | +1 (3)   | BRS Pérola      | 2,36                                      | 11                          | - 43,33              | 11,07        |
| 02     | -1 (0)   | BRS Pérola      | 2,64                                      | 21                          | + 6,67               | 2,00         |
| 03     | +1 (3)   | BRS Madrepérola | 9,31                                      | 17                          | + 8,33               | 7,69         |
| 04     | -1 (0)   | BRS Madrepérola | 2,82                                      | 21                          | + 29,17              | 1,12         |
| 05     | +1 (3)   | BRS Estilo      | 4,81                                      | 10                          | - 23,08              | 11,74        |
| 06     | -1 (0)   | BRS Estilo      | 7,90                                      | 21                          | + 61,54              | 2,07         |
| 07     | +1 (3)   | IAPAR 81        | 4,97                                      | 13                          | - 35,00              | 10,35        |
| 08     | -1 (0)   | IAPAR 81        | 8,35                                      | 23                          | + 15,00              | 1,47         |
| 09     | 0 (1,5)  | BRS Pérola      | 3,91                                      | 17                          | - 16,67              | 8,53         |
| 10     | 0 (1,5)  | BRS Pérola      | 3,74                                      | 21                          | + 6,67               | 9,12         |
| 11     | 0 (1,5)  | BRS Pérola      | 8,28                                      | 18                          | - 8,33               | 8,93         |
| 12     | 0 (1,5)  | BRS Madrepérola | 3,17                                      | 24                          | + 50,00              | 7,86         |
| 13     | 0 (1,5)  | BRS Madrepérola | 3,17                                      | 18                          | + 9,38               | 7,96         |
| 14     | 0 (1,5)  | BRS Madrepérola | 1,55                                      | 21                          | + 31,25              | 7,23         |
| 15     | 0 (1,5)  | BRS Estilo      | 5,48                                      | 19                          | + 43,59              | 7,95         |
| 16     | 0 (1,5)  | BRS Estilo      | 5,23                                      | 18                          | + 41,03              | 9,57         |
| 17     | 0 (1,5)  | BRS Estilo      | 6,44                                      | 20                          | + 56,41              | 8,79         |
| 18     | 0 (1,5)  | IAPAR 81        | 6,92                                      | 18                          | - 10,00              | 7,54         |
| 19     | 0 (1,5)  | IAPAR 81        | 5,35                                      | 20                          | 0,00                 | 8,29         |
| 20     | 0 (1,5)  | IAPAR 81        | 5,82                                      | 19                          | - 3,33               | 8,56         |

**Nota:** <sup>a</sup>: Calculado com relação aos grãos controle (não processados).

Na variável resposta tempo de cozimento, verificou-se média geral de 19 minutos, com variação entre 11 (ensaio 01) e 24 minutos (ensaio 12) (Tabela 3). Em relação ao percentual de alteração do tempo de cozimento (ATC), observou-se que a condição do ensaio 01, ou seja, para os grãos do cultivar BRS Pérola hidratados na concentração de NaHCO<sub>3</sub> de 3 g.100mL<sup>-1</sup>, ocorreu redução do tempo de cozimento, comparando-se aos grãos controle, correspondendo a 43,33%. Nas condições do ensaio 06, para o cultivar BRS Estilo, sem adição de sal na hidratação, ocorreu o incremento no tempo de cozimento dos grãos, correspondendo a 61,54%.

Na variável diferença de cor ( $\Delta E^*$ ), verificou-se valor médio de 7,39, com menor valor apresentado na condição do ensaio 04, sendo este igual a 1,12, correspondendo aos grãos processados do cultivar BRS Madrepérola sem adição de  $\text{NaHCO}_3$  ( $0 \text{ g.100mL}^{-1}$ ) na hidratação. Esse resultado pode também ser visualizado na Figura 1 que apresenta o aspecto visual dos grãos de feijão após o processamento visando à redução no tempo de cocção.



**Figura 1** Aspecto visual das amostras de feijão processado através da hidratação em soluções de  $\text{NaHCO}_3$  seguida da secagem, resultantes dos 20 ensaios do Delineamento composto central (DCC).

O maior valor para a  $\Delta E^*$  dos grãos processados foi verificado na condição do ensaio 05 (Tabela 3), ou seja, para grãos do cultivar BRS Estilo, hidratados na concentração de  $\text{NaHCO}_3$  com  $3 \text{ g.100mL}^{-1}$ . O incremento do escurecimento dos grãos pré-processados com aumento da concentração de  $\text{NaHCO}_3$  foi apresentado também por Al-Nouri e Siddiqi (1982), ocorrendo uma variação de luminosidade nos grãos de feijão. Uzogara, Morton e Daniel (1990) verificaram o efeito do bicarbonato de sódio na coloração dos grãos de feijão caupi processados, devido ao escurecimento do tegumento. Ertas (2011) também apontou o efeito de escurecimento em grãos hidratados com  $\text{NaHCO}_3$ , na concentração de 0.5%, resultado da redução da luminosidade, aumento nos valores dos componente de cor verde-vermelho ( $a^*$ ) e redução no valor do componente azul-amarelo ( $b^*$ ), além da intensificação da tonalidade cromática dos grãos.

Na Tabela 4 são apresentados os efeitos lineares principais dos fatores abordados no processamento do feijão Carioca de cozimento rápido. Para a combinação dos cultivares BRS Pérola x BRS Madrepérola, observou-se que o efeito do uso do sal ( $\text{NaHCO}_3$ ) na hidratação dos grãos apresentou valor positivo para a resposta índice de dano, ou seja, o acréscimo de  $3 \text{ g.100mL}^{-1}$  de sal gera um incremento de  $3.10 \text{ g.100g}^{-1}$  no valor da variável. Porém, este efeito não foi significativo no nível de 10% de significância. O mesmo valor positivo do efeito do fator sal é verificado para a diferença de cor dos grãos, ou seja, quando se alterou a concentração de  $\text{NaHCO}_3$  de 0 para  $3 \text{ g.100mL}^{-1}$ , ocorreu incremento de 7,82 na diferença de cor do produto, sendo este efeito considerado estatisticamente significativo ( $p < 0,10$ ). O fator concentração de sal apresentou na resposta tempo de cozimento um efeito negativo (-7,00) (Figuras 2a e b) e significativo, ou seja, com a alteração de 0 para  $3 \text{ g.100 mL}^{-1}$  na concentração de  $\text{NaHCO}_3$  da solução de hidratação, os grãos diminuíram seu tempo de cocção em 7 minutos. Este é um resultado desejável no processo de obtenção de feijão desidratado de cozimento rápido.

Em relação ao efeito do fator cultivar (Tabela 4), observou-se que, quando passa do nível BRS Pérola para BRS Madrepérola, ocorre incremento no índice de dano dos grãos processados (efeito de 3,56), no tempo de cozimento (efeito de 3,00) (Figuras 2a e 2b) e redução na diferença de cor (efeito de -2,13), sendo apenas este último considerado significativo, ou seja, o cultivar BRS Madrepérola se sobressai positivamente no quesito diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle, quando comparado ao BRS Pérola.

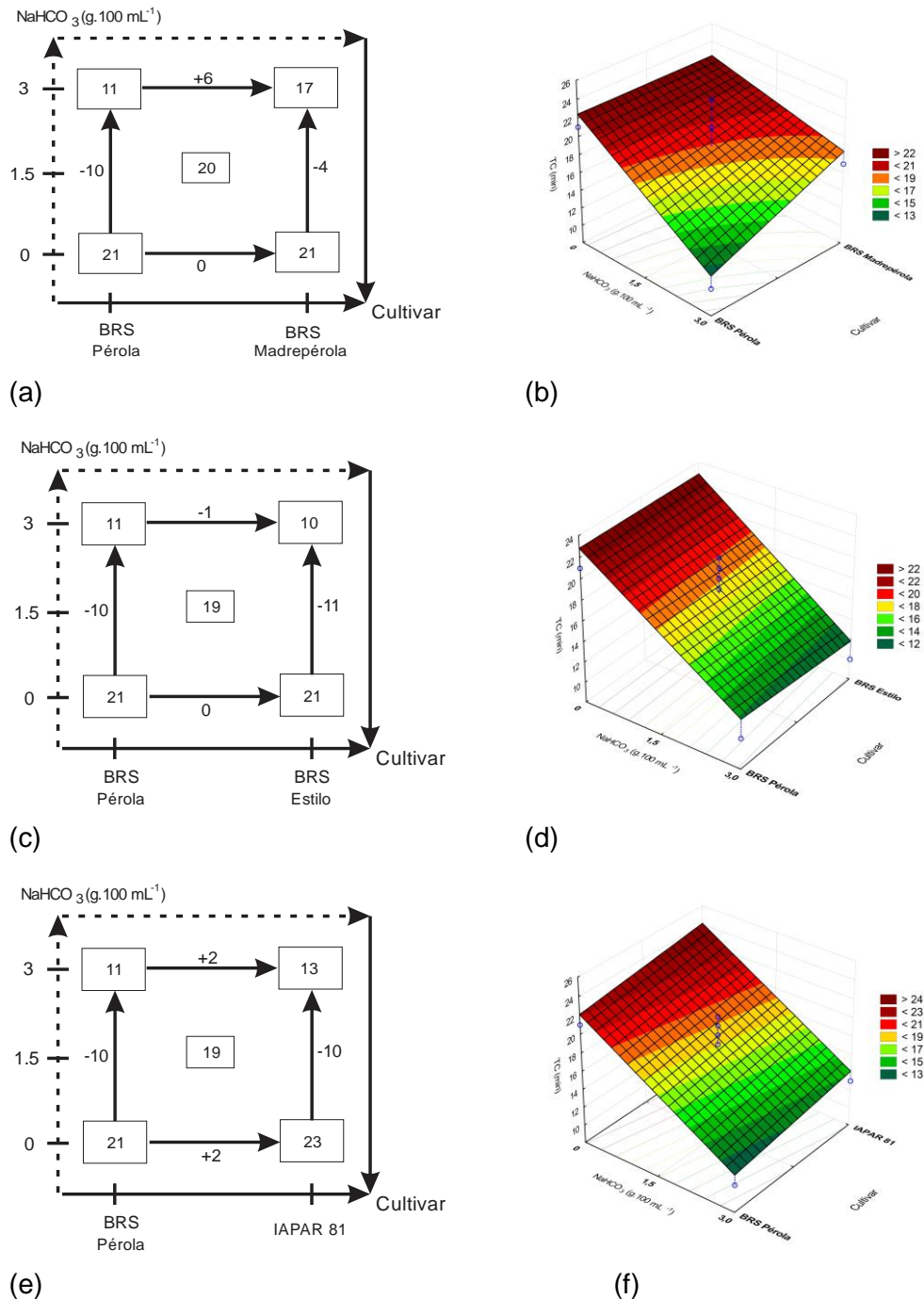
Para a combinação dos cultivares BRS Pérola x BRS Estilo (Tabela 4), observou-se o efeito de valor negativo (-1,68), porém, não significativo do fator concentração de sal no índice de dano do grão processado. Com relação ao efeito da concentração de sal no tempo de cozimento verifica-se o valor de -10,50, ou seja, quando a concentração de  $\text{NaHCO}_3$  é alterada de 0 para  $3 \text{ g.100mL}^{-1}$ , o tempo é reduzido em 10,5 minutos (Figuras 2c e 2d). Porém, ocorre também efeito positivo e significativo para a diferença de cor (9,37). Nesta combinação, o único efeito positivo, significativo, se dá na resposta índice de dano (3,85), o que implica melhor qualidade do cultivar BRS Pérola, quando comparado ao BRS Estilo, para esta característica de qualidade.

Na avaliação de cultivares BRS Pérola x IAPAR 81 (Tabela 4), observou-se também um expressivo e significativo efeito do fator sal no tempo de cozimento (-10,00) que também pode ser visualizado nas Figuras 2e e 2f. Também ocorreu efeito significativo de valor positivo desse fator para a variável  $\Delta E^*$  dos grãos processados (8,97).

Nessa combinação (BRS Pérola x IAPAR 81), para o fator cultivar verificou-se apenas o efeito significativo e positivo (4,16), na variável resposta índice de dano. Ou seja, nesse caso o cultivar BRS Pérola se sobressai, quando comparado ao IAPAR 81, pois o



processamento do segundo cultivar implica incremento no índice de dano do produto. Entre os cultivares BRS Madrepérola e BRS Estilo observaram-se, também, os efeitos significativos para a variável resposta tempo de cozimento (-7,50) (Figuras 3a e b) e  $\Delta E^*$  (8,12).



**Figura 2** Diagramas para a interpretação dos resultados para a resposta tempo de cozimento (minutos) para as combinações do fator cultivar BRS Pérola x BRS Madrepérola (a,b), BRS Pérola x BRS Estilo (c, d) e BRS Pérola e IAPAR 81 (e,f), do planejamento composto central  $2^2$  juntamente com a representação dos modelos matemáticos em função dos fatores cultivar e concentração de  $\text{NaHCO}_3$ .

**Tabela 4** Efeitos lineares principais dos fatores concentração de  $\text{NaHCO}_3$  ( $\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ), cultivar e interação para cada combinação de dois cultivares de feijão avaliados na produção do feijão Carioca desidratado de cozimento rápido

| BRS Pérola x BRS Madrepérola |                |         |                    |         |              |         |
|------------------------------|----------------|---------|--------------------|---------|--------------|---------|
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 4.09           | 0.002*  | 18.90              | 0.000*  | 7.15         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | 3.10           | 0.229   | -7.00              | 0.045*  | 7.82         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 3.56           | 0.177   | 3.00               | 0.307   | -2.13        | 0.003*  |
| Sal x Cultivar               | 3.38           | 0.196   | 3.00               | 0.307   | -1.25        | 0.141   |
| BRS Pérola x BRS Estilo      |                |         |                    |         |              |         |
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 5.08           | 0.000   | 17.60              | 0.000*  | 7.65         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | -1.68          | 0.365   | -10.50             | 0.001*  | 9.37         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 3.85           | 0.071*  | -0.50              | 0.748   | 0.37         | 0.628   |
| Sal x Cultivar               | -1.40          | 0.444   | -0.50              | 0.748   | 0.30         | 0.693   |
| BRS Pérola x IAPAR 81        |                |         |                    |         |              |         |
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 5.23           | 0.000*  | 18.10              | 0.000*  | 7.59         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | -1.83          | 0.343   | -10.00             | 0.001*  | 8.97         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 4.16           | 0.063*  | 2.00               | 0.302   | -0.62        | 0.311   |
| Sal x Cultivar               | -1.55          | 0.416   | 0.00               | 1.000   | -0.09        | 0.871   |
| BRS Madrepérola x BRS Estilo |                |         |                    |         |              |         |
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 4.99           | 0.000*  | 18.90              | 0.000*  | 7.20         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | 1.70           | 0.397   | -7.50              | 0.022*  | 8.12         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 0.29           | 0.880   | -3.50              | 0.185   | 2.50         | 0.028*  |
| Sal x Cultivar               | -4.79          | 0.048*  | -3.50              | 0.185   | 1.55         | 0.117   |
| BRS Madrepérola x IAPAR 81   |                |         |                    |         |              |         |
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 5.14           | 0.000*  | 19.40              | 0.000*  | 6.81         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | 1.55           | 0.476   | -7.00              | 0.028*  | 7.72         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 0.59           | 0.780   | -1.00              | 0.679   | 1.50         | 0.026*  |
| Sal x Cultivar               | -4.93          | 0.058*  | -3.00              | 0.245   | 1.15         | 0.062*  |
| BRS Estilo x IAPAR 81        |                |         |                    |         |              |         |
| Fator                        | Índice de dano |         | Tempo de cozimento |         | $\Delta E^*$ |         |
|                              | Efeito         | p-valor | Efeito             | p-valor | Efeito       | p-valor |
| Média                        | 6.12           | 0.000*  | 18.10              | 0.000*  | 7.66         | 0.000*  |
| Sal (L)                      | -3.23          | 0.004*  | -10.50             | 0.000*  | 9.27         | 0.000*  |
| Cultivar (L)                 | 0.305          | 0.669   | 2.50               | 0.038*  | -0.99        | 0.271   |
| Sal x Cultivar               | -0.145         | 0.837   | 0.50               | 0.600   | -0.39        | 0.644   |

**Nota:** \*Coeficientes estatisticamente significativos ( $p < 0.05$ ), considerando o erro padrão e t (5 graus de liberdade).

Para o fator cultivar, na mesma combinação anterior, verificou-se apenas como significativo o efeito significativo e positivo para a diferença de cor (2,50), ou seja, sobressaiu-se, entre os dois, o cultivar BRS Madrepérola por apresentar menor diferença de cor, quando comparado ao BRS Estilo. A interação entre os dois fatores estudados foi

significativa dentro desta combinação de cultivares para a resposta índice de dano do produto, ou seja, os fatores concentração de sal na solução de hidratação e cultivar apresentaram um efeito combinado de redução de  $4,79 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de grãos danificados. O mesmo ocorreu para os cultivares BRS Madrepérola x IAPAR 81, verificando-se um efeito negativo (-4,93) e significativo no índice de dano e também na  $\Delta E^*$  (1,15) dos grãos.

Para a combinação de cultivares BRS Estilo e IAPAR 81, verificou-se (Tabela 4) efeito significativo do fator sal em todas as respostas avaliadas, sendo negativo para o índice de dano (-3,23) e tempo de cozimento (-10,50) e positivo para  $\Delta E^*$  (9,27). O efeito do fator cultivar foi significativo apenas para a variável resposta tempo de cozimento (2,50), ou seja, sobressaiu-se o cultivar BRS Estilo, quando comparado ao IAPAR 81, devido este contribuir para o aumento no tempo de cocção dos grãos processados (Figura 3e e 3f).

O rompimento e explosão do tegumento dos grãos de feijão, durante o processamento, são um problema tanto para os processos típicos industriais de feijão enlatado como no caso do feijão desidratado de cozimento rápido. Isso se dá em função das etapas adotadas no processo: hidratação seguida de secagem, branqueamento, hidratação e cozimento, seguidos da secagem (CAI; CHANG, 1997a; PAN *et al.*, 2010). Porém, pode-se afirmar que ocorrem alterações em função do cultivar avaliado, como observado nesse trabalho para a BRS Madrepérola que apresentou maior suscetibilidade ao dano, quando utilizada no processamento em hidratação salina. O cultivar BRS Pérola foi o que apresentou a menor suscetibilidade aos danos no tegumento e cotilédone. De acordo com Pan *et al.* (2010), os grãos com tegumento rompido ou explodidos podem limitar a produção e aceitação comercial dos produtos desidratados à base de feijão, principalmente, pelos efeitos adversos sobre a aparência do produto final. Ainda segundo os mesmos autores, os grãos danificados perdem mais sólidos durante o processamento, o que resulta perdas econômicas para o fabricante e nutricionais para o consumidor.

Segundo Cai e Chang (1997a; 1997b), o processo de secagem, realizado ao final do processamento do grão de cozimento rápido, além de apresentar efeito direto na umidade final do feijão desidratado, influencia a quantidade de defeitos no produto. Isso porque a separação entre os cotilédones e as fissuras no tegumento do feijão está relacionada, principalmente, com as interações entre as pressões de vapor presentes no grão e no ar de secagem (ZHAO; CHANG, 2008). Dorsey, Orinda e Strashun (1966) relatam que os defeitos nos grãos são causados por diferenças na taxa de secagem entre o tegumento e o cotilédone do feijão, o tegumento seca mais rapidamente e, então, se contrai, e a lenta secagem do cotilédone gera pressões de vapor internas com magnitude capaz de causar os rompimentos e fissuras. Ulloa *et al.* (2013), avaliando feijão pré-cozido desidratado, verificaram valores médios de grãos danificados de 1,2%, o diferencial para o baixo

conteúdo de produto trincado ou explodido foi o uso da secagem com ar em condições de temperatura ambiente.

Pan *et al.* (2010) apontam que o índice de dano, após as etapas que envolvem o processamento de feijão desidratado, pode estar relacionado também com a qualidade da matéria-prima utilizada. Os mesmos autores sugerem que os grãos podem ser classificados antes de receberem o pré-processamento, por meio de métodos como a detecção de impacto acústico e a separação por densidade, que permitem a utilização somente dos grãos com menor probabilidade de apresentarem danos após o processo. Neste trabalho, as diferenças observadas para o índice de dano são devidas à concentração de sal aplicada no processo de secagem, além da interação entre os fatores (sal x cultivar), para alguns dos cultivares avaliados. Em geral, a ação dos compostos na hidratação e as características dos cultivares, associada às pressões promovidas pelo ar de secagem, podem ter resultado em grãos com maiores quantidades de tegumento trincado ou explodido.

O efeito das soluções salinas na redução no tempo de cozimento dos grãos, observado neste trabalho, foi abordado por várias pesquisas em torno de feijão e outras leguminosas processadas. De acordo com Matella, Mishra e Dolan (2013), o sal empregado, bicarbonato de sódio, é um aditivo utilizado para aumentar o amaciamento do tegumento e do cotilédone pelo incremento no pH da solução, promovendo-se assim acréscimo na absorção de água. Ainda segundo os mesmos autores, os efeitos da solução a base de  $\text{NaHCO}_3$  se dá devido ao aumento das pressões osmóticas que levam a água para o interior do grão e, também, pelo aumento da permeabilidade do grão de feijão através de mudanças físico-químicas que ocorrem dentro dos tecidos estruturais, como os amidos do feijão.

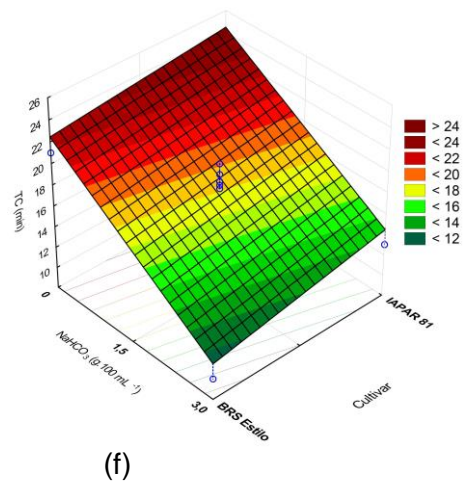
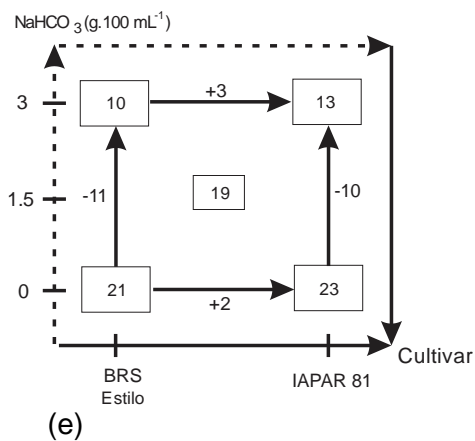
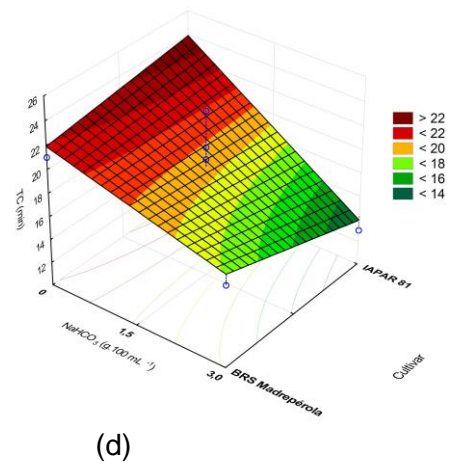
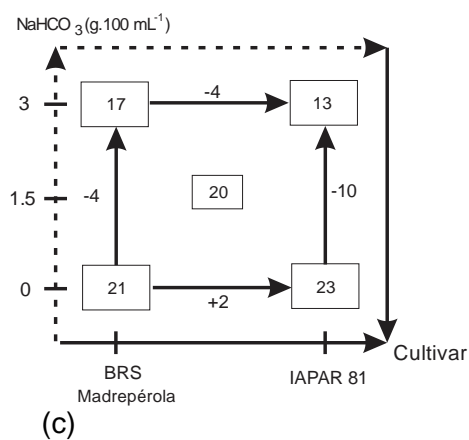
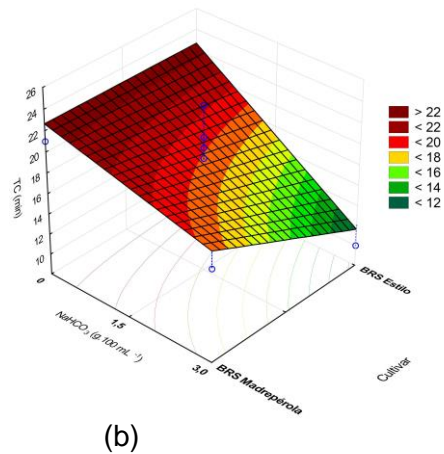
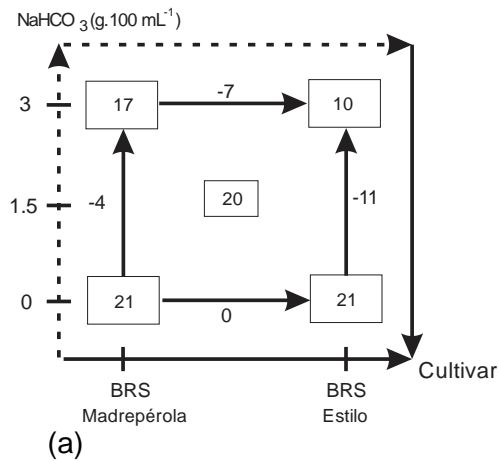
Iyer *et al.* (1980) avaliaram o efeito da adição de uma solução contendo cloreto de sódio, bicarbonato de sódio, tripolifosfato e carbonato de sódio na hidratação de feijão e verificaram uma redução de 80 a 85% do tempo de cozimento, quando comparados ao controle. Ávila *et al.* (2015) avaliaram o efeito da aplicação de  $\text{NaHCO}_3$  em feijão caupi envelhecido e, para esta espécie, a redução no tempo de cocção foi expressiva: 14 minutos para a concentração de 0%, e 2 minutos para 2,5%. Além das pressões osmóticas, outro fator que pode explicar a redução no tempo de cocção e o amaciamento da textura de leguminosas, após a adição de sais de sódio é a ação dos agentes quelantes. Os mesmos realizam trocas e mecanismos de quelação entre os cátions monovalentes, como o  $\text{Na}^+$  presente na solução de hidratação utilizada neste trabalho, por cátions bivalentes como o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$ , que estão presentes na lamela média da parede celular do grão (IYER *et al.*, 1980; AL-NOURI; SIDDIQ 1982; BELLIDO *et al.*; 2006; ÁVILA *et al.*, 2015). Nesta estrutura, o  $\text{Ca}^+$  possui um importante papel de manutenção, com efeito cimentante, devido à deposição deste sal durante os processos de divisão celular (FAVARO; IDA, 1998). Com base nisto, um dos fatores que pode contribuir para o maior ou menor volume das trocas

entre os íons, é a concentração de  $\text{Ca}^+$  presente nos grãos, fato este que poderá ser investigado em trabalhos futuros, correlacionando-se os efeitos no tempo de cozimento com o conteúdo químico de cada cultivar de feijão. Outra combinação que altera a textura do produto é a alta temperatura associada à condição alcalina no momento do cozimento, nessa condição os grãos tornam-se excessivamente inchados e os amidos são rompidos, devido à perda de ordenação molecular e desnaturação das estruturas (IYER *et al.*, 1980).

Durante o processo de hidratação e secagem dos grãos de feijão desidratado de cozimento rápido ocorreram as alterações de coloração do tegumento. Estas por sua vez podem ser explicadas pela reação de escurecimento não enzimática, conhecida como reação de Maillard, que ocorre entre açúcares redutores e grupos proteicos, sendo necessário o calor como agente catalisador (UZOGARA; MORTON; DANIEL, 1990; BASSINELLO, 2008; SCHOENINGER *et al.*, 2014).

Outro fator considerado, a adição do  $\text{NaHCO}_3$  na hidratação, apresentou efeito significativo em  $\Delta E^*$  para todas os cultivares avaliados neste experimento. Contudo, Iyer *et al.* (1980) destacam que as mudanças na coloração podem ocorrer em função do pH da solução, concentração e tipo de sal utilizado no processamento de grãos de rápido cozimento. Em condições de alto pH, a reação de Maillard também é favorecida (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

Também foram observadas neste trabalho algumas variações na diferença de cor dos grãos em relação ao controle ( $\Delta E^*$ ), dentre os cultivares, como é o caso do BRS Madrepérola, no qual ocorreu menor efeito na diferença de cor. Esse cultivar, por sua vez, apresentou anteriormente ao processamento (grãos controle), características que a destacaram das demais, como o tegumento mais claro (Tabela 1), com maiores valores para a  $L_0^*$ , devido à menor concentração de compostos responsáveis pela coloração do tegumento, como antocianinas. Este é um fato importante a ser considerado no processamento de grãos desidratados de cozimento rápido, de que o efeito cultivar alterará a coloração do produto final. Outro fator responsável pelo escurecimento no produto final a ser considerado é a ação de enzimas comuns em vegetais, como as peroxidases, tripsinas e fosfatases alcalinas, que atuam sobre os compostos fenólicos resultando no produto, a intensa cor escura (WHITAKER, 1996).



**Figura 3** Diagramas para a interpretação dos resultados para a resposta tempo de cozimento (minutos) para as combinações do fator cultivar BRS Madrepérola x BRS Estilo (a, b), BRS Madrepérola x IAPAR 81 (c, d) e BRS Estilo x IAPAR 81 (e, f) do planejamento composto central  $2^2$  juntamente com a representação dos modelos matemáticos em função dos fatores cultivar e concentração de  $\text{NaHCO}_3$ .

### 3.2 Resultados relativos ao novo processamento dos cultivares BRS Madrepérola e BRS Estilo

Com base na análise geral dos efeitos do fator cultivar e das suas respectivas interações (Tabela 5), foram selecionadas entre os quatro, os cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola para compor a segunda etapa do experimento no qual se realizou a variação do fator concentração de  $\text{NaHCO}_3$  na solução de hidratação, até o limite de  $7,5 \text{ g.}100\text{mL}^{-1}$ , seguindo-se a secagem, nas mesmas condições dos ensaios anteriores. Apesar de o cultivar BRS Pérola ter sobressaído por apresentar menores índices de dano em seus grãos, observou-se um efeito mais expressivo do cultivar BRS Estilo na redução do tempo de cozimento (-3,50) e do BRS Madrepérola na redução da diferença de cor dos grãos. Ou seja, esses cultivares foram os que apresentaram menores tempos de cozimento, 10 minutos para BRS Estilo na condição de hidratação com  $3 \text{ g.}100\text{mL}^{-1}$ , nas condições dos ensaios principais, assim como o cultivar BRS Madrepérola a menor alteração na coloração (7,69) na condição do ensaio (3). Entendeu-se que os parâmetros de qualidade tempo de cozimento e diferença de cor sobressaem-se ao índice de dano, visto que a percepção do mesmo no produto final é variável, pois se consideraram como danificados os grãos que apresentaram pequenas fissuras, assim como os que tiveram seu tegumento explodido.

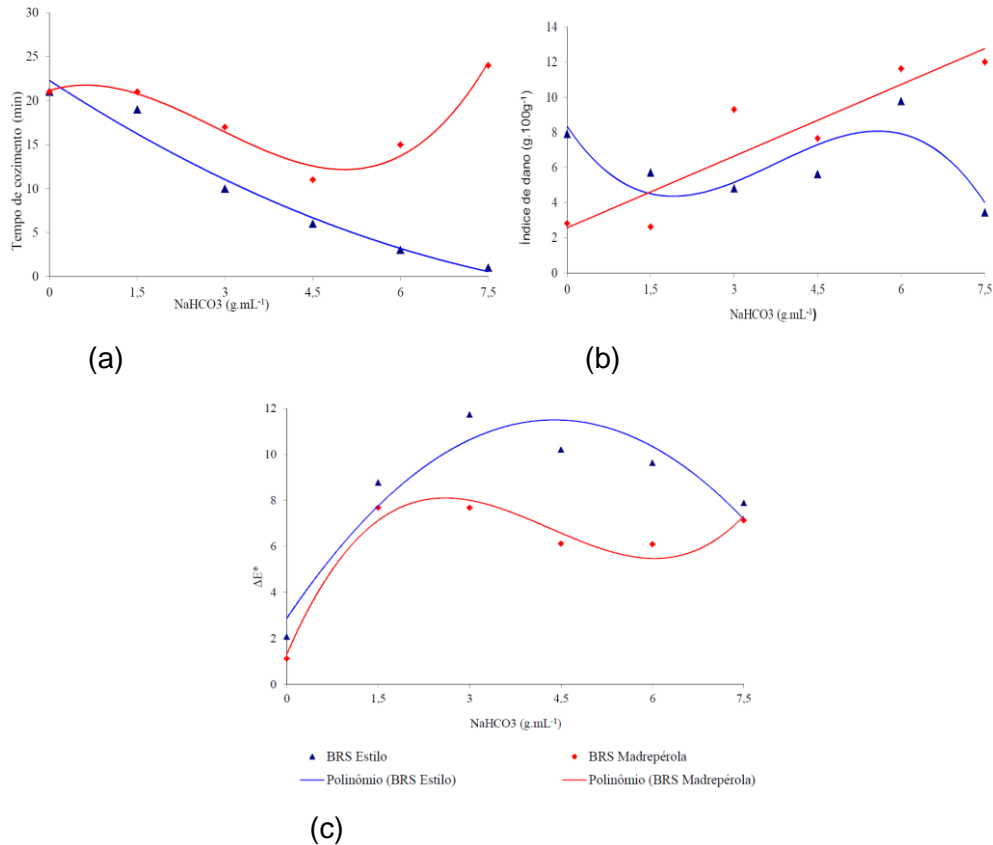
**Tabela 5** Resumo das análises de regressão linear para as variáveis dependentes (VD) tempo de cozimento (TC), diferença de cor em relação ao controle ( $\Delta E^*$ ) e índice de dano (ID) para os grãos dos cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola processados em função de diferentes concentrações de  $\text{NaHCO}_3$

| VD           | Cultivar        | Modelo  | R <sup>2</sup> | F <sub>cal</sub> | p-valor <sup>a</sup> | p-valor <sup>b</sup> |
|--------------|-----------------|---|----------------|------------------|----------------------|----------------------|
| TC           | BRS Estilo      | $TC = 22,4 - 4,51x + 0,22x^2$                 | 0,9524         | 170,90*          | 0,00*                | 0,00*                |
|              | BRS Madrepérola | $TC = 20,84 + 2,27x - 1,93x^2 + 0,22x^3$      | 0,9344         | 81,77*           | 0,00*                | 0,02*                |
| ID           | BRS Estilo      | $ID = 7,83 - 2,39x^2 + 0,73x^3$               | 0,9448         | 73,78*           | 0,00*                | 0,00*                |
|              | BRS Madrepérola | $ID = 2,58 + 1,36x$                           | 0,8332         | 85,92*           | 0,00*                | 0,00*                |
| $\Delta E^*$ | BRS Estilo      | $\Delta E = 2,86 + 3,95x - 0,45x^2$           | 0,8908         | 70,35*           | 0,00*                | 0,00*                |
|              | BRS Madrepérola | $\Delta E = 1,30 + 6,11x - 1,68x^2 + 0,13x^3$ | 0,9569         | 126,90*          | 0,00*                | 0,00*                |

**Nota:** R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação ajustado; F<sub>cal</sub>: valor calculado; \*Significativo, ao nível de 5%, pelo do teste F; a = corresponde ao valor do resultado da análise da regressão e b= corresponde no valor da falta de ajuste.

Os resultados dos parâmetros de qualidade relativos à expansão do nível do fator concentração de  $\text{NaHCO}_3$  na solução de hidratação (0 – 7,5%) dos grãos feijão dos cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola estão apresentados na Tabela 5 e na Figura 4. Foram ajustados modelos matemáticos, visando à descrição do comportamento das variáveis dentro do intervalo de 0 a  $7,5 \text{ g.mL}^{-1}$ , visto que esta expansão de concentração foi

abordada no sentido de se conhecerem os efeitos de elevadas concentrações do  $\text{NaHCO}_3$ , nos parâmetros de qualidade do grão processado, porém, limitando o nível superior de concentração.



**Figura 4** Variáveis tempo de cozimento (a), índice de danos (b) e diferença de cor  $\Delta E$  (c) dos cultivares BRS Estilo e BRS Madrepérola em função da concentração de  $\text{NaHCO}_3$ , utilizada no processamento de grãos de feijão Carioca desidratado de cozimento rápido.

Para a variável tempo de cozimento dos grãos pré-processados, verificou-se para o BRS Estilo, um decréscimo da resposta em função da aplicação de  $\text{NaHCO}_3$  na hidratação, reduzindo-se expressivamente a partir da adição de 3 g.100 mL<sup>-1</sup>. O modelo apresentado (TC) foi significativo, ao nível de 5%, e apresenta coeficiente de determinação de 95,24, ou seja, ocorre uma boa explicação da variação total dos resultados. Com relação ao cultivar BRS Madrepérola observou-se, em baixas concentrações de  $\text{NaHCO}_3$ , pouco efeito no tempo de cozimento, porém, a partir de 3,0 g.mL<sup>-1</sup> a resposta é reduzida, até o limite máximo de 5,20 g.mL<sup>-1</sup> (Figura 4a). A partir deste ponto de concentração, ocorre a mudança no comportamento dos resultados, ocorrendo um acréscimo no valor do tempo de cozimento, diferentemente do que ocorreu com o cultivar BRS Estilo. O modelo ajustado para o TC do cultivar BRS Madrepérola foi de terceira ordem, significativo ao nível de 5%, com  $R^2$  ajustado no valor de 93,44% (Tabela 5).



Para o índice de danos, no cultivar BRS Estilo observou-se um modelo significativo ao nível de 5%, capacidade de predição de 94,48%. Observou-se que a não utilização de  $\text{NaHCO}_3$  na hidratação ( $0 \text{ g.mL}^{-1}$ ) ocasionou alto índice de dano nos grãos para este cultivar (Figura 4 - b). Com a adição do sal ocorreu redução na resposta até o limite de  $6 \text{ g.mL}^{-1}$ , e elevação no índice de grãos danificados, reduzindo-se novamente na maior concentração utilizada. Para BRS Madrepérola o índice de dano foi inferior nas concentrações iniciais, ocorrendo aumento acentuado a partir da adição de  $3 \text{ g.mL}$  de  $\text{NaHCO}_3$  na hidratação. O modelo linear, estatisticamente validado, descreveu esse comportamento com  $R^2 = 83,32\%$  (Tabela 5).

A diferença de cor ( $\Delta E$ ) entre os grãos processados e o controle em função da aplicação de  $\text{NaHCO}_3$  é apresentada na Figura 4c, na qual observou-se para o cultivar BRS Estilo valores superiores, quando comparado ao BRS Madrepérola. Os modelos para  $\Delta E$  dos dois cultivares foram validados e estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ), com valores de  $R^2$  ajustado de 89,08 e 95,69%, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

A adição de  $\text{NaHCO}_3$  na hidratação seguida de secagem ocasionou alteração nos parâmetros avaliados, com significativa redução do tempo de cozimento, porém, com elevados índices de dano e diferenças de cor no feijão Carioca.

Os efeitos nos parâmetros de qualidade do processamento do feijão desidratado são dependentes do fator cultivar, visto que BRS Estilo e BRS Madrepérola destacaram-se devido ao menor tempo de cozimento e diferença de cor, após o processamento, quando comparados ao BRS Pérola e IAPAR 81.

Para o cultivar BRS Estilo, o aumento na concentração de  $\text{NaHCO}_3$  reduz, significativamente, o tempo de cozimento com menor índice de dano, quando comparado com o cultivar BRS Madrepérola.

Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir com trabalhos futuros em torno de feijão desidratado de rápido cozimento, com a necessidade de realização de testes de comparação nutricional e de características organolépticas no produto final.

## REFERÊNCIAS

- ABU-GHANNAM, N.; GOWEN, A. Pulse-based food products. *In*: TIWARI, B. K.; GOWEN, A.; MCKENNA, B. **Pulse foods - Processing, quality and nutraceutical applications**. USA: Elsevier, 2011, p. 249-282.
- AGUILERA, Y.; ESTRELLA, I.; BENITEZ, V.; ESTEBAN, R.M.; MARTÍN-CABREJAS, M. Bioactive phenolic compounds and functional properties of dehydrated bean flours. **Food Research International**, v. 44, n.1, p. 774–780, 2011.
- AI-NOURI, F.F.; SIDDIQI, M. A Quick Cooking Method for Broad Beans. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 15, n. 1, p. 75-77, 1982.
- ÁVILA, B. P.; SANTOS, M. S.; NICOLETTI, A. N.; ALVES, G. D.; ELIAS, M. C.; MONKS, J.; GULARTE, M. A. Impact of different salts in soaking water on the cooking time, texture and physical parameters of cowpeas. **Plant Foods for Human Nutrition**, 2015. (Artigo em impressão).
- BASSINELLO, P. Z. Qualidade na escolha de variedades de feijão para o mercado consumidor. **Atualidades em micotoxinas e armazenagem qualitativas de grãos II**. 1. ed. Florianópolis: Imprensa Universitária, 2008. 586 p.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BELLIDO, G.; ARNTFIELD, S. D.; CENKOWSKI, S.; SCANLON, M. Effects of micronization pretreatments on the physicochemical properties of navy and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 39, p. 779-787, 2006.
- BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. *In*: FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 157-224.
- BERTOLDO, J. G.; ROCHA, F.; BARILI, L. D.; VALE, N. M.; COIMBRA, J. L. M. Concentrações salinas combinadas com tempos de hidratação: efeito no tempo de cocção em feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 5010-515, 2010.
- CAI, T. D.; CHANG, K. C. Processing to improve quality of dehydrated precooked pinto beans. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 1, p. 141-144, 1997a.
- CAI, T. D.; CHANG, K. C. The effect of coatings and processing methods on dehydrated precooked whole pinto beans quality. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 20, n. 1, p. 315-328, 1997b.
- CARBONELL, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.
- COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; SCHOENINGER, V. Physical-chemical properties of common beans under natural and accelerated storage conditions. **Ciencia e Investigacion Agraria**, Santiago, v. 40, n. 3, p. 637-644, 2013.
- CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

DELFINO, R. A.; CANITTI-BRAZACA. Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade proteica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n.2, p. 308-312, 2010.

DELLA VALLE, F. R.; MARCO, E. Production of quality quick-cooking beans by a cooking/dehydration process. **Journal of Food Processing and Preservation**, Davis, v. 12, n. 2, p. 83-93, 1988.

DORSEY, W. R., ORINDA, S. I., STRASHUN. Dehydrated precooked bean process. Patentes americanas oficiais, Patente n. 3.290.159. 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 412 p.

ERTAS, N. The effects of aqueous processing on some physical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Health and Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 21-27, 2011.

FAVARO, S. P.; IDA, E. L. Textura de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) processado ou não: efeito da aplicação de concentrações crescentes de cálcio via absorção radicular. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 2, 1998.

GARCÍA-LAFUENTE; A.; MORO, C.; MANCHÓN, N.; GONZALO-RUIZ, A.; VILLARES, A.; GUILLAMÓN, E.; ROSTAGNO, M.; MATEO-VIVARACHO, L. In vitro anti-inflammatory activity of phenolic rich extracts from white and red common beans. **Food Chemistry**, Reading, v. 161, n. 1, p. 216-223, 2014.

GHASEMLOU, M.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; EMAM-DJOMEH, Z. Relating consumer preferences to textural attributes of cooked beans: Development of an industrial protocol and microstructural observations. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 88-98, 2013.

GUZEL, D.; SAYAR, S. Effect of cooking methods on selected physicochemical and nutritional properties of barlotto bean, chickpea, faba bean, and white kidney bean. **LWT - Journal of Food Science and Technology**, Zurich, v. 49, n.1, p. 89-95, 2012.

IYER, V.; SALUNKHE, D. K.; SATHE, S. K.; ROCKLAND, L. B. Quick-cooking beans (*Phaseolus vulgaris* L.): I. Investigations on quality. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 30, n. 1, p. 27-43, 1980.

LEÃO, M. C. D.; GUERRA, N. B.; FREITAS, E. M. P. Efeito das condições de armazenamento sobre as características sensoriais do feijão macassar *Vigna unguiculata* (L) Walp. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 43-52, 1992.

MATELLA, N. J.; MISHRA, D. K.; DOLAN, K. D. Hydration, blanching and thermal processing of dry beans. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 129-154.

MENDOZA, F.; DEJMEK, P.; AGUILERA, J. M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, n. 1, p. 285–295, 2006.

MINOLTA. **Precise color communication**: Color control from feeling to instrumentation. Osaka: Minolta Camera Co. Ltd., 1993.

MORENO-JIMENEZ, M. R.; CERVANTES-CARDOZA, V.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; GONZÁLEZ-LAREDO, R. F.; ESTRELLA, I.; GARCÍA-GASCA, T. J.; HERRERA-CARRERA, E.; DÍAZ-RIVAS, J. O.; ROCHA-GUZMÁN. Phenolic composition changes of processed common beans: their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. **Food Research International**, Toronto, v. 76, n. 1, p. 79-85, 2015.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 746-752, 2011.

ONWUKA, U. N.; OKALA, O. Effect of selected salts on the cooking time, protein content and sensory properties of african yam beans and cowpeas. **Food Service Technology**, v. 3, n. 1, p. 3-7, 2003.

OSORIO-DIAZ, P.; BELLO-PÉREZ, L.A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; VARGAS-TORRES, A.; TOVAR, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**, Reading, n. 78, p. 333-337, 2002.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

REHMAN, Z.; SALARYA, A. M.; SAFAR, S. I. Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, Reading, v. 73, n. 3, p. 351-355, 2001.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S.R.M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S.C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; ALMEIDA, A. J. B. Pre-processing of aged carioca beans: Soaking effect in sodium salts in the cooking and nutrition quality. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 184-189, 2013.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; MAIA, L. G. S. Chemical composition as related to seed of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 132-137, 2012.

UEBERSAX, M. A.; SIDDIQ, M. Postharvest storage quality, packaging and distribution of dry beans. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses**: production, processing and nutrition. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 75 - 100.

ULLOA, J. A.; BONILLA-SÁNCHEZ, C. R.; ORTÍZ-JIMÉNEZ, M. A.; RAMÍREZ-RAMÍREZ, J. C.; ULLOA-RANGEL, B. E. Rehydration properties of precooked whole beans (*Phaseolus*

*vulgaris* L.) dehydrated at room temperature. **CyTA - Journal of Food**, v. 11, n. 1, p. 94-99, 2013.

URGA, K.; FUFA, H.; BIRATU, E.; GEBRETSADIK, M. Effects of blanching and soaking on some physical characteristics of grass pea (*Lathirus Sativus*). **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, Nairobi, v. 6, n. 1. p. 1-17, 2006.

UZOGARA, S. G.; MORTON, I. D.; DANIEL, J. W. Changes in some antinutrients of cowpeas (*Vigna unguicultata*) processed with kanwa alkaline salt. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 40, n. 1, p. 249-258, 1990.

WHITAKER, J. R. Enzymes. *In*: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 431-530.

ZAMINDAR, N. ; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 50, n. 1, p. 108 -114, 2013.

ZHAO, B.; CHANG, K. C. Evaluation of effects of soaking and precooking conditions on the quality of precooked dehydrated pea, lentil and chickpea products. **Journal of Food Processing and Preservation**, Wyndmoor, v. 32, n. 1, p. 517-532, 2008.