

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

**OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE PRÉ-PROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DE
FEIJÃO SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO**

VANDERLEIA SCHOENINGER

CASCADEL – PR

FEVEREIRO - 2012

VANDERLEIA SCHOENINGER

**OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE PRÉ-PROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DE
FEIJÃO SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Silvia Renata Machado Coelho

Co-Orientador: Dr. Divair Christ

CASCADEL – PR

FEVEREIRO - 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

S39o Schoeninger, Vanderleia
 Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento. / Vanderleia Schoeninger — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
 65 f. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silvia Renata Machado Coelho
Coorientador: Prof. Dr. Divair Christ
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Soluções salinas. 2. Maceração. 3. Branqueamento. 4. Plackett-Burman. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 635.652

VANDERLEIA SCHOENINGER

**“Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com
reduzido tempo de cozimento”**

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

Orientadora: Dra. Silvia Renata Machado Coelho
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Dra. Priscila Zaczuk Bassinello
Embrapa Arroz e Feijão

Dra. Luciane Sene
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 02 de Fevereiro de 2012.

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. Durante a graduação desenvolveu atividades de pesquisa e extensão, participando de três projetos de iniciação científica na Universidade.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, na área de Engenharia de Sistemas Biológicos Agroindustriais, na linha de pesquisa da Pós-Colheita.

Em fevereiro de 2012, conclui o curso de Mestrado com a aprovação desta dissertação.

Dedico esta,
assim como as demais conquistas à minha amada
família: minha mãe **Nailda**, meu pai **Celson** que
sempre ilumina meus passos, meus irmãos
Celson Jr. e **Juliano**, meu padrasto **Ardeni** e
meu querido companheiro **Fabiano**, pelo apoio
e incentivo sempre.

“Tudo posso naquele que me conforta.”

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha força, minha fé, meu pilar, pelas vitórias que me deram força e pelas derrotas que me deram experiência, por todas oportunidades que encontrei pelo caminho. Sempre em primeiro lugar na minha vida.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e disponibilidade de sua estrutura para que assim fosse possível realizar o curso e aprimorar meu conhecimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos durante a realização deste curso de pós-graduação.

À Dra. Silvia Renata Machado Coelho, pela orientação e confiança, por seus ensinamentos e instruções, não apenas neste trabalho, mas em todos os momentos em que suas palavras souberam conduzir-me por muitos caminhos.

Ao Dr. Divair Christ, pela orientação e paciência em contribuir para a realização desta pesquisa.

Aos professores da pós-graduação, pela contribuição durante a realização dos créditos.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, Dr. Nelson Fonseca, Dra. Priscila Z. Bassinello e Dra. Luciane Sene, por todas as contribuições e correções neste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa do Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas em especial ao Eduardo Manoel Branco, Ana Julia Bispo de Almeida e Paulo Alexandre Wolff. E também quero lembrar de Cristiane L. Paloschi, Rodrigo Soncela, Thais M. Cezar, Sabrine Z. da Silva, Adriana da Silva Correa, Aline E. Bassinela, Tábata Z. Bischoff, e também Edison B. Cunha, técnico do laboratório de Saneamento Ambiental, agradeço a todos por sempre colaborarem quando precisei.

Aos amigos, Naimara V. do Prado, Francielly T. Santos Koelln e Péttersson V. Pramiu, pelo companheirismo, e por todos os momentos de descontração nesta jornada.

À colega Rose Mary H. Q. Silochi, por suas contribuições e correções neste trabalho.

À minha mãe Nailda F. Schoeninger por todo seu apoio e incentivo durante toda minha jornada acadêmica.

Ao meu irmão Celson Schoeninger Jr. por sempre apoiar e encorajar meus trabalhos.

Ao meu companheiro e amigo Fabiano Rodrigo Gomes, por sua compreensão durante a realização deste trabalho, por seu amor e carinho sempre.

Enfim, é difícil lembrar neste momento, mas do fundo do meu coração eu agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE PRÉ-PROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DE FEIJÃO SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L) é uma leguminosa típica para o brasileiro. O consumo do grão deve ser incentivado devido aos benefícios relativos ao seu conteúdo de proteínas, fibras, ácido fólico e minerais, como o ferro e o potássio. Porém, o tempo necessário para o processo de cozimento dos grãos de feijão, faz que muitos consumidores deixem de utilizar frequentemente o produto, implicando diminuição do consumo e da demanda por produção. A possibilidade de oferecer um produto previamente processado, mantendo-se as características tecnológicas com o tempo de preparo reduzido é uma opção para consumidores que buscam conveniência e qualidade. Técnicas como a maceração e o branqueamento do feijão, apresentam-se como opções para pré-processamento dos grãos. O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos do pré-processamento dos grãos com as operações de branqueamento e maceração em soluções salinas nos parâmetros de qualidade do feijão carioca, visando obter um produto seco com tempo de cozimento reduzido e manutenção das características de qualidade tecnológica do grão *in natura*, utilizando técnicas de planejamento experimental. Foi utilizado um planejamento tipo Plackett e Burman que avaliou os efeitos de nove fatores no pré-processamento: tempo de maceração, concentração de cloreto de sódio na maceração, concentração de bicarbonato de sódio na maceração, temperatura da solução de maceração, temperatura de branqueamento, tempo de branqueamento, concentração de cloreto de sódio no branqueamento, concentração de bicarbonato de sódio no branqueamento e temperatura de secagem, sob as respostas tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e diferença de cor (ΔE^*) dos grãos pré-processados em relação ao controle. Na otimização foi utilizado um planejamento DCCR 2³, apenas com os fatores da etapa de maceração e que contribuíram principalmente para redução do tempo de cozimento dos grãos. O aumento da concentração de bicarbonato de sódio utilizado na maceração do feijão reduziu consideravelmente o tempo de cozimento, porém, aumentou o nível de dano no produto e escureceu o tegumento do feijão contribuindo para maiores diferenças de cor dos grãos pré-processados em relação ao controle. Os fatores que mais influenciaram nas respostas avaliadas foram o tempo de maceração, a concentração de bicarbonato de sódio na maceração e a temperatura de secagem. A técnica de desejabilidade permitiu a avaliação simultânea das respostas e as condições ótimas para o processo foram definidas. O processo apresentou desejabilidade global de 56,53%, sendo os níveis dos fatores definidos na seguinte condição: tempo de maceração de 13,1 horas, concentração de NaHCO₃ na solução de maceração igual a 2,3% e temperatura de secagem igual a 50 °C. Nestas condições é possível reduzir o tempo de cozimento em aproximadamente 58%, com índice de grãos danificados próximo de 9,13% e diferença de cor de 8,39. Os resultados obtidos poderão contribuir para pesquisas que visem o desenvolvimento de tecnologias de pré-processamento do feijão com tempo de cozimento reduzido.

Palavras chave: soluções salinas; maceração; branqueamento; Plackett-Burman.

OPTIMIZATION OF PREPROCESSING PARAMETERS FOR BEAN DRYING WITH REDUCED COOKING TIME

ABSTRACT

The bean (*Phaseolus vulgaris L*) is a typical leguminous in Brazil. Its consumption should be encouraged due to the benefits of its quantity of protein, fiber, folic acid and minerals such as iron and potassium. However, its long cooking process consequently makes many consumers often avoid eating this product, which results in a decrease of production and demand. The possibility of offering a product previously processed, as well as keeping its technological characteristics with a short time of preparation, is an option for consumers who look for convenience and quality. Techniques as soaking and bleaching beans are presented as options for grains preprocessing. Thus, this study aim was investigating the effects of grains preprocessing with blanching and soaking applied under salt solutions according to the carioca bean quality parameters in order to obtain a dry product with a short cooking time. The maintenance of technological quality characteristics of *in natura* grain through the use of experimental design techniques was also considered. A Plackett and Burman experimental design was applied to evaluate the effects of nine factors in preprocessing: soaking time, soaking in sodium chloride concentration, soaking in sodium bicarbonate concentration, soaking temperature, blanching temperature, blanching time, concentration of sodium chloride under soaking, concentration of sodium bicarbonate under soaking and drying temperature based on responses as cooking time, splitting percentage and color difference (Δe^*) of preprocessed grains related to control. In the optimization, a DCCR 2³ plan was used only with factors of the maceration step which mainly contributed to reduce cooking time. The increased concentration of sodium bicarbonate used in the soaking of beans significantly reduced the cooking time, but it increased the damage level in the product and darkened the bean integument. This contributed to greater differences in color of preprocessed grains when compared to the control treatment. The factors that most influenced the studied answers were soaking time, concentration of sodium bicarbonate under soaking and drying temperature. The desirability technique allowed the answers simultaneous evaluation and the definition of optimal conditions for this process. This process presented overall desirability of 56.53%, thus the factors levels were defined according to the following conditions: soaking time of 13.1 hours, concentration of NaHCO₃ under soaking solution of 2.3% and drying temperature of 50 °C. Under these conditions, it is possible to reduce the cooking time by 58% with an index of damaged grains near 9.13% and color difference of 8.39. The obtained results may contribute to future researches that aim at developing bean preprocessing quality in a shorter cooking time.

Keywords: salt solutions; soaking; blanching; Plackett-Burman.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi	
LISTA DE FIGURAS	xiii	
1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Geral	3
2.2	Específicos	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	Aspectos relacionados à cultura e importância do feijão.....	4
3.2	Qualidade nutricional dos grãos	5
3.3	Qualidade tecnológica e o consumo do feijão.....	7
3.4	Técnicas utilizadas no processamento do feijão	9
3.4.1	Maceração e branqueamento dos grãos.....	11
3.5	Qualidade do feijão.....	14
3.5.1	Tempo de cozimento	14
3.5.2	Cor dos grãos.....	15
3.6	Planejamento experimental	18
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1	Caracterização do feijão não processado (controle)	21
4.1.1	Teor de água dos grãos.....	21
4.1.2	Capacidade de absorção de água antes do cozimento.....	22
4.2	Primeiro planejamento experimental.....	22
4.3	Descrições dos tratamentos de pré-processamento	24
4.3.1	Pré-processamento com maceração dos grãos em soluções salinas	25
4.3.2	Pré-processamento utilizando o Branqueamento com soluções salinas	25
4.4	Análises de qualidade tecnológica realizadas após os ensaios do planejamento Plackett & Burman	26
4.4.1	Tempo de cozimento	26
4.4.2	Porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento.....	27
4.4.3	Parâmetros de cor dos grãos.....	28
4.5	Segundo planejamento – Delineamento composto central rotacional (DCCR 2 ³)	28

4.5.1	Análises de qualidade realizadas após o planejamento DCCR 2 ³	29
4.6	Análise estatística.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	Caracterização inicial do produto.....	31
5.2	Resultados relativos ao planejamento Plackett & Burman	32
5.2.1	Análise dos efeitos das condições de processo sobre o tempo de cozimento ...	34
5.2.2	Análise dos efeitos das condições de processo sob a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o pré-processamento do feijão carioca.....	39
5.2.3	Análise dos efeitos para a diferença de cor dos grãos pré-processados (Δe^*)...	42
5.3	Resultados relativos ao planejamento DCCR 2 ³	45
5.3.1	Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração no tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca	46
5.3.2	Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração sobre a porcentagem de grãos danificados de feijão carioca	49
5.3.3	Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração na diferença de cor dos grãos dos grãos de feijão carioca (Δe^*).....	51
5.4	Otimização do pré-processamento de grãos de feijão carioca.....	52
6	CONCLUSÕES	56
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Níveis dos fatores do planejamento Plackett & Burman e seus respectivos valores reais	22
Tabela 2	Matriz codificada do planejamento experimental Plackett & Burman 16 com os valores das variáveis e seus respectivos níveis codificados	23
Tabela 3	Matriz decodificada do planejamento experimental Plackett & Burman 16 com os valores das variáveis e seus respectivos níveis reais	24
Tabela 4	Matriz do planejamento e níveis estabelecidos para os fatores selecionados na realização do pré-processamento, utilizando maceração dos grãos de feijão carioca.....	29
Tabela 5	Matriz do planejamento experimental DCCR 2 ³ com os valores codificados e reais entre parênteses dos fatores utilizados no pré-processamento, utilizando a maceração em feijão carioca	29
Tabela 6	Caracterização da qualidade dos grãos de feijão não processados (controle)...	31
Tabela 7	Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD) e diferença de cor (Δe) dos grãos processados em relação ao controle, para os ensaios realizados no planejamento Plackett & Burman 16.....	33
Tabela 8	Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca pré-processados.....	35
Tabela 9	Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento do feijão.....	39
Tabela 10	Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão carioca processados, em relação ao controle.....	42
Tabela 11	Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD) e da diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle - Δe^* - (adimensional), para os ensaios realizados após o planejamento DCCR 2 ³	45
Tabela 12	Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2 ³ para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados.....	47
Tabela 13	Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados	47

Tabela 14	Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2 ³ para a resposta porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento do feijão carioca.....	49
Tabela 15	Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados.....	50
Tabela 16	Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2 ³ para a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão carioca pré-processados ...	51
Tabela 17	Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados.....	52
Tabela 18	Valores codificados e reais para os fatores do pré-processamento de grãos de feijão carioca resultantes da otimização global do processo.....	55

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Defeitos estruturais no feijão processado devido à separação e ruptura do grão. 10
- Figura 2** Esquema para medição de cores CIELAB 1976, L* (claro-escuro), a* (verde-vermelho) e b* (azul-amarelo). 16
- Figura 3** Geometria do modelo de cor CIELAB 1976, L* (claro-escuro), h* (ângulo de coloração), C* (índice de croma), a* (verde-vermelha), b* (azul-amarelo). 17
- Figura 4** Aspecto visual dos grãos dos grãos de feijão carioca, controle e pré-processados, após a realização dos 20 ensaios do planejamento Plackett & Burman 16. 34
- Figura 5** Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre o tempo de cozimento do produto após o pré-processamento. 36
- Figura 6** Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o pré-processamento. 40
- Figura 7** Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a diferença de cor (Δe^*) dos grãos pré-processados em relação ao controle. 43
- Figura 8** Aspecto visual dos grãos de feijão carioca controle e pré-processados, após a realização dos 18 ensaios do planejamento delineamento composto central rotacional (DCCR 2³). 46
- Figura 9** Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro tempo de cozimento (minutos), em função dos fatores tempo de maceração (h) e concentração de NaHCO₃ (a) e (b), da temperatura de secagem e tempo de maceração (c) e (d) e da temperatura de secagem e concentração de NaHCO₃. 48
- Figura 10** Superfície de resposta para o parâmetro porcentagem de grãos danificados após o processamento, em função dos fatores tempo de maceração e temperatura de secagem, no nível central (2,5%) do fator concentração de NaHCO₃. 50
- Figura 11** Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro diferença de cor (Δe^*) dos grãos após o pré-processamento em função dos fatores tempo de maceração e concentração de NaHCO₃ (a) e (b), da temperatura de secagem e tempo de maceração (c) e (d) e da temperatura de secagem e concentração de NaHCO₃. 53
- Figura 12** Análise de desejabilidade para o pré-processamento de feijão carioca em função dos fatores tempo de maceração, concentração de NaHCO₃ e temperatura. 54

1 INTRODUÇÃO

O feijão tem grande importância na dieta da maioria da população brasileira. As diversas classes sociais apreciam esta leguminosa nutritiva que, na maioria das vezes, está acompanhada com outra fonte de nutrientes: o arroz branco. É um alimento de composição interessante nutricionalmente, com proteínas, fibras, vitaminas e minerais e apresenta baixo custo, o que o torna acessível a todos. Além disso, o consumo do grão deve ser incentivado por estar relacionado com a diminuição dos níveis de glicemia e pressão arterial, contribuindo diretamente para a redução no número de enfermidades crônico-degenerativas, cardiovasculares e da diabetes.

O consumidor tem os mais diversos hábitos de consumo e o grão de feijão exibe uma grande diversidade de formas, cores e tamanhos, que podem, então, agradar a todos os paladares, dos mais simples aos mais refinados. É produzido em todas as regiões do Brasil, sendo fonte de renda tanto para pequenos produtores quanto para aqueles que praticam agricultura intensiva.

Para o consumo do grão, é necessário o seu processamento por meio de cozimento que, por sua vez, requer certo tempo. Com as mudanças que ocorreram nos últimos anos, após a inserção e concretização do espaço da mulher no mercado de trabalho, tarefas domésticas, como cozinhar produtos que demandam maior tempo, deixaram de ser prioridade na rotina familiar. O feijão, por ser um desses produtos, apresentou acentuada queda no consumo nos últimos anos e, em muitos casos, foi substituído por outros alimentos de preparo rápido. Dados da última década evidenciam uma redução de 26,4% no consumo de feijão pela população brasileira, quando se comparam os anos de 2003 e 2009 (IBGE, 2011). Em contrapartida, o mercado de produtos alimentícios de conveniência apresenta um grande potencial comercial. A necessidade de rapidez, comodidade e qualidade no preparo dos alimentos é uma realidade atual e a indústria de pré-processamento atua no sentido de atender a estas aspirações do consumidor moderno.

As etapas que precedem o processamento final de produtos, como grãos oleaginosos e cereais são definidas como pré-processamento. Entre elas, pode-se citar a recepção, classificação, limpeza, descascamento, polimento e secagem, entre outros tratamentos com objetivos específicos. Vários estudos apresentaram propostas para a obtenção da redução do tempo de cozimento do grão de feijão e outras leguminosas (IYER *et al.*, 1980; UZOGARA; MORTON; DANIEL, 1990; PAREDES-LÓPEZ *et al.*, 1991; REHMAN; SALARYA; SAFAR, 2001; URGÁ *et al.*, 2006; BERTOLDO *et al.*, 2010; PAN *et al.*, 2010). O pré-processamento por maceração, processo em que o produto permanece em

embebição, antes do cozimento, já adotado habitualmente pelos consumidores, é uma etapa que permite a absorção de água, essencial para garantir maciez e reduzir o tempo de cocção. Os grãos que apresentam altas taxas de hidratação são desejáveis tecnologicamente (CORTE *et al.*, 2003).

A maceração com a utilização de soluções salinas também traz resultados de diminuição no tempo de preparo do grão de feijão. Pesquisas apontam que a adição de sal, durante a hidratação, possibilita a redução no tempo de cozimento. Entretanto, há limites para essa concentração, pois um excedente propicia aumento no tempo de cozimento, efeito indesejável (BERTOLDO *et al.*, 2010).

Outra possibilidade é o branqueamento que consiste no processamento térmico de curto tempo de aplicação, com características de pré-tratamento, pois precede o início de outros processos de elaboração industrial (FONSECA, 1984). A aplicação do branqueamento em grãos de feijão possibilita altas e mais rápidas taxas de absorção de água, que contribuem para diminuição do tempo de cozimento (ABU-GHANNAM; McKENNA, 1997).

Avanços ocorridos no campo tecnológico tornaram possível, nos últimos anos, o acesso a *software's* que permitem análises de dados com maior rapidez e agilidade. As técnicas de planejamento de experimentos se beneficiaram destes avanços, pois estas permitem realizar pesquisas com números reduzidos de ensaios, menor emprego de matéria-prima e reagentes, permitindo a otimização de vários resultados. O planejamento experimental já se faz presente na indústria de alimentos, medicamentos, microbiologia entre outras ciências e tende a ganhar cada vez mais espaço tanto na pesquisa acadêmica quanto no desenvolvimento de produtos e processos (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

A possibilidade de oferecer feijão, previamente processado, que preserve as suas características físicas, químicas, tecnológicas e sensoriais com a redução no tempo de preparo seria uma alternativa para muitos consumidores. Neste sentido, esta pesquisa pretende contribuir para avanços na implementação de processos tecnológicos em grãos de feijão, agregando valor ao produto, permitindo conveniência ao consumidor e, indiretamente, impactando a rentabilidade do produtor e da indústria de processamento, incrementando o consumo no país.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificar os efeitos do pré-processamento dos grãos com as operações de branqueamento e maceração em soluções salinas nos parâmetros de qualidade do feijão carioca, visando obter um produto seco com tempo de cozimento reduzido e manutenção das características de qualidade tecnológica do grão *in natura*, utilizando técnicas de planejamento experimental.

2.2 Específicos

a) Realizar um planejamento do tipo Plackett & Burman para a seleção de fatores que alteram a qualidade tecnológica de grãos de feijão carioca, submetidos ao processo de maceração e branqueamento em soluções salinas e secagem;

b) Avaliar as alterações nos parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e cor dos grãos secos, após o processo de maceração e branqueamento em soluções salinas e secagem;

c) Selecionar fatores associados aos processos de maceração e branqueamento que afetam a qualidade do grão e definir um novo planejamento experimental;

d) Realizar a otimização do processo por meio de técnicas estatísticas, visando à obtenção de grãos de feijão com reduzido tempo de cozimento, com mínima diferença de cor e menor índice de dano ao produto após o pré-processamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos relacionados à cultura e importância do feijão

O feijão é uma leguminosa de grande importância na dieta de muitas populações, é uma fonte de proteína de baixo custo, que faz parte das refeições dos brasileiros, em todas as regiões do país. O gênero *Phaseolus* compreende todas as espécies conhecidas como feijão, sendo a *Phaseolus vulgaris* L. a mais popular e a que possui inúmeros tipos de cor, tais como carioca, roxo, mulatinho, preto, entre outras (PIRES *et al.*, 2005). A diversidade permite que sejam atendidas as preferências regionais dos consumidores e também a adaptabilidade das culturas, com relação às suas necessidades no momento do cultivo dos grãos.

Explorada por pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras, a cultura do feijoeiro reveste-se de grande importância econômica e social. Além disso, seu papel relevante na alimentação do brasileiro e a grande mão de obra empregada durante o ciclo da cultura em algumas regiões fazem do feijão um dos produtos de grande expressão econômica nacional. Dependendo da cultivar e da temperatura ambiente, o feijão pode apresentar ciclos de produção variando de 65 a 100 dias, o que o torna uma cultura apropriada para compor desde sistemas agrícolas intensivos irrigados e altamente tecnificados até aqueles com baixo uso tecnológico, principalmente de agricultura de subsistência (EMBRAPA, 2010).

Uma característica interessante desta cadeia produtiva é que a participação da agricultura familiar corresponde a cerca de 70% da produção nacional. No caso do feijão caupi (típico das regiões norte e nordeste), a produção proveniente de unidades agrofamiliares corresponde a cerca de 84% da produção brasileira (IBGE, 2006).

As variações observadas na preferência dos consumidores orientam pesquisas tecnológicas e direcionam a produção e comercialização do produto, pois as regiões brasileiras são bem definidas quanto à preferência do grão de feijão consumido. A preferência do consumidor norteia a seleção e obtenção de novas cultivares, exigindo destas não apenas boas características agrônomicas, mas também valor comercial no varejo (EMBRAPA, 2010).

Os grãos de feijão representam uma importante fonte proteica na dieta humana nos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais, particularmente nas Américas e no leste e sul da África. O produto é cultivado em cerca de 107 países. A Índia, o

Brasil, a China, os Estados Unidos e o México destacam-se como responsáveis por 63% do total produzido mundialmente (SILVA, 2007).

Considerando-se somente o *Phaseolus vulgaris* L., o Brasil é o maior produtor mundial, seguido pelo México (SILVA, 2007). O cultivo no país é praticado em quase todo o território nacional, em diferentes períodos e épocas, sob diferentes condições edafoclimáticas (CORTE; MODA-CIRINO; DESTRO, 2002).

Com relação à produção brasileira, obteve-se na safra 2008/2009 uma produção de 3,49 milhões de toneladas de feijão. Isso garantiu ao país uma quantidade de 70 mil toneladas a mais do grão que em safras anteriores (CONAB, 2011a). Na safra 2009/2010, foram produzidas 3,55 milhões, ocorrendo redução na área plantada na maioria dos estados brasileiros, devido ao baixo preço do produto praticado na época do plantio (CONAB, 2011b). Porém, mesmo com redução de área ocorreu incremento na produção, devido ao desenvolvimento de tecnologias em diversas áreas da pesquisa em agricultura, como as áreas de melhoramento genético e mecanização, que contribuem para o desenvolvimento de cultivares de maior resistência e de equipamentos que reduzem perdas no campo.

A previsão para o período 2010/2011, considerando-se as três safras tradicionalmente praticadas no país, foi estabelecida para uma área de 3,91 milhões de hectares e uma produção de 3,77 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2011c).

3.2 Qualidade nutricional dos grãos

A qualidade nutricional dos grãos inclui seu conteúdo proteico, a composição de aminoácidos, vitaminas, minerais e a presença de fatores antinutricionais (CORTE *et al.*, 2003). O conteúdo de proteínas do feijão varia entre 19 e 27%, de acordo com a cultivar, em função de expressão genética, estado nutricional da planta, período de maturação, rendimento de colheita e tamanho de grão, bem como a síntese e o acúmulo de amido no grão (REYES-MORENO; PAREDES-LÓPEZ, 1993). Buratto *et al.* (2009) verificaram a ocorrência de efeitos, como do local de cultivo, da interação genótipos por ambiente e da variabilidade genética nos teores de proteína do feijão.

De acordo com Bressani (1983), a proteína presente no feijão apresenta deficiência em aminoácidos sulfurados, particularmente em metionina. De acordo com Del Pino e Lajolo (2003), o fracionamento da proteína do grão de *Phaseolus vulgaris* L., resulta em três frações: a proteína solúvel globulina G2, albumina e a faseolina ou globulina G1, esta apresentando maior reserva (36 a 46%).

O feijão proporciona nutrientes essenciais e pode ser utilizado como alternativa em substituição a carnes ou outros produtos proteicos. O grão pode contribuir com até 28% de proteínas e 12% de calorias ingeridas diariamente. Sob o ponto de vista quantitativo, o feijão

é considerado um alimento proteico, embora seu conteúdo calórico, mineral e vitamínico não possa ser desprezado (RIOS; ABREU; CORRÊA, 2003; BASSINELLO, 2008).

Silva *et al.* (2008) apontam a importância das pesquisas na área de melhoramento genético que resultem em cultivares com maior qualidade proteica, possibilitando o aumento no consumo de feijão com qualidade proteica superior, agregando valor ao produto e melhorando a renda do produtor.

O conteúdo dos aminoácidos é apresentado de forma decrescente nos grãos de feijão. Os essenciais são: leucina, lisina, fenilalanina, valina, isoleucina, treonina, histidina e metionina; e pelos aminoácidos não essenciais: ácido glutâmico, ácido aspártico, arginina, serina, alanina, glicina, tirosina, prolina e cisteína. A interação entre cultivares de feijão e locais de cultivo influencia no teor de alguns destes aminoácidos (RIBEIRO *et al.*, 2007).

O feijão apresenta alto conteúdo de carboidratos, variando entre 60-65% em base seca, representados principalmente pelo amido (VARGAS TORRES; OSORIO-DIAZ; AGAMA-ACEVEDO, 2006). Porém, podem ocorrer variações na composição de carboidratos em função da cultivar, por exemplo. Pires *et al.* (2005), trabalhando com 11 cultivares de feijão, verificaram variações no conteúdo destes componentes entre 68,92 e 76,75%. O grão apresenta também em sua composição fibras: total, solúvel e insolúvel, com alto valor de fibras solúveis, quando comparado a outras plantas fontes de fibras, como cereais integrais e tubérculos.

Investigando a variabilidade genética para o teor de fibras em diferentes cultivares de feijão do grupo preto, Londero, Ribeiro e Cargnelutti Filho (2008) verificaram que o teor de fibra solúvel variou de 8,04% a 11,11% e o de fibra insolúvel variou de 24,82% a 31,35%.

Em outro estudo, Mechi, Caniatti-Brazaca e Arthur (2005) observaram conteúdo de fibras alimentares igual a 38,6% no feijão cru e 25,9% no feijão cozido. Os benefícios destas fibras incluem redução de índice glicêmico e diminuição de colesterol sérico, além de serem indicadas na dieta para estratégia de prevenção do câncer de cólon e doenças cardíacas (REYES-MORENO; PAREDES-LÓPEZ, 1993; MARTIN-CABREJAS *et al.*, 2004).

Na pesquisa de Maldonado e Sammán (2000), o baixo conteúdo de lipídios de diferentes variedades de feijão variou entre 0,54 e 1,22 g.100g⁻¹. O feijão é ainda boa fonte de vitaminas, como a B9 (ácido fólico), tiamina, riboflavina e niacina e de minerais, incluindo Fe, Ca, Zn, P e Mg. Mechi, Caniatti-Brazaca e Arthur (2005) verificaram teores de ferro para o feijão preto igual a 126,3 mg.kg⁻¹ (matéria seca) no grão cru; nos grãos cozidos foi observado o valor de 98,0 mg.kg⁻¹. Com relação ao processamento doméstico do grão, Oliveira *et al.* (2008) observaram que não ocorrem diferenças estatísticas significativas entre os teores de ferro dos grãos de feijão crus, comparados aos cozidos com e sem a maceração prévia.

Nos grãos ocorre também a presença de componentes chamados antinutricionais, os quais são capazes de inibir a digestibilidade de proteínas e de alguns minerais presentes no feijão. Dentre estes compostos, destacam-se os taninos presentes em sua maioria na casca do grão. Del Pino e Lajolo (2003), avaliando a presença de taninos condensados no feijão carioca, verificaram que esta afeta a digestibilidade *in vitro* da proteína faseolina *in natura* ou desnaturada. Moura e Canniatti-Brazaca (2006) avaliaram o conteúdo antinutricional em feijão carioca e verificaram para o teor de taninos um valor de 0,065%. Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009), caracterizando três cultivares de feijão – BRS Supremo, Carioca Pontal e WAF 75 – antes e após tratamento térmico, verificaram que o processo de cocção dos grãos promoveu redução nos teores de taninos e de compostos fenólicos totais.

Outro componente é o ácido fítico que pode interferir na absorção de minerais. O ácido fítico, em condições naturais no alimento, tem a capacidade de associar-se a cátions ou proteínas devido à carga negativa da molécula (MECHI; CANIATTI-BRAZACA; ARTHUR, 2005).

O teor de fitato nos grãos está relacionado com o suprimento de fósforo à planta, porém não se sabe o quanto este teor responde à disponibilidade mais lenta do nutriente no solo (SILVA *et al.*, 2011). Moura e Canniatti-Brazaca (2006) verificaram para o teor de fitatos dos grãos de feijão um valor de 8,03 mg.kg⁻¹. Toledo e Canniatti-Brazaca (2008), estudando o efeito de diferentes métodos de cozimento do feijão, utilizando ou não a maceração, observaram que a maceração prévia não altera o conteúdo de fitatos, ocorrendo maior conteúdo deste elemento quando é utilizado o cozimento em panela aberta.

3.3 Qualidade tecnológica e o consumo do feijão

A qualidade dos grãos de feijão pode ser determinada, principalmente, pela aceitabilidade ao consumo, características nutricionais e tecnológicas. A aceitabilidade dos grãos está ligada a vários fatores, dentre eles: cor, tamanho, forma, aparência, textura e sabor (REYES-MORENO; PAREDES-LÓPEZ, 1993; CORTE *et al.*, 2003; UEBERSAX, 2011). Corte *et al.* (2003) destacam as seguintes características de qualidade tecnológica do feijão: tempo de cozimento, porcentagem de grãos inteiros após o cozimento, textura, sabor, cor e sólidos totais no caldo, sendo estas limitantes para o consumo do produto e devem também ser consideradas nas pesquisas de desenvolvimento genético das novas cultivares de feijão e de produtos pré-processados. Bassinello (2008) também ressalta estas características, pois com o seu estabelecimento é possível obter melhores condições de processamento e, assim, contribui-se para aumentar o consumo do produto.

A qualidade tecnológica dos grãos de feijoeiro apresenta grande importância, uma vez que o feijão é consumido por todas as classes sociais no país, sendo, para aquelas de

menor poder aquisitivo, uma das principais fontes de proteínas, minerais, vitaminas e fibras. Sua importância alimentar deve-se ao menor custo de sua proteína em relação à de origem animal (BASSINELLO, 2008).

O produto pode apresentar perda de valor comercial após a colheita, devido, principalmente, à redução da sua capacidade de absorção de água, aumento no tempo de cozimento e escurecimento do tegumento. A qualidade culinária do feijão é consideravelmente afetada à medida que se aumenta o período de armazenamento, preferindo o consumidor sempre um produto de colheita mais recente. A perda de qualidade manifesta-se pelo aumento no grau de dureza do grão, maior tempo de cozimento, mudança no sabor e escurecimento do tegumento (RIOS *et al.*, 2003).

Apesar da importância dessa leguminosa na alimentação da população brasileira, estudos demonstram que, no período de 1974 a 2003, houve redução de 37% na aquisição de feijão. Dados apontam que o brasileiro reduziu o consumo de 23 Kg.hab⁻¹.ano⁻¹ na década de 70 para 17 kg.hab⁻¹.ano⁻¹, no final da década de noventa, enquanto a população neste mesmo período apresentou crescimento médio de 2,2% ao ano (YOKOYAMA; BANNO; KLUTHCOUSKI, 1996; FERREIRA; DEL PELOSO; FARIA, 2002; SCHLINDWEIN; KASSOUF, 2006; WANDER, FERREIRA, 2010).

A Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) comparou os dados de consumo de feijão entre os anos de 2003 e 2009 e verificou que este passou de 12,4 kg para 9,1 kg, ocorrendo no período redução de 26,4%. Em contrapartida, observa-se durante o mesmo período o aumento significativo na aquisição de produtos industrializados, como refrigerantes, laticínios, biscoitos, embutidos, entre outros (IBGE, 2011).

Esta redução vem sendo atribuída, ao longo do tempo, a vários fatores, como a mudança de nível social, mudança das famílias do campo para a cidade e, também, o tempo requerido no processo de preparação do produto. Para Wander e Ferreira (2010), existem vários argumentos tradicionais que justificam a redução do consumo de feijão. Para a economia, o feijão apresenta uma elasticidade de renda negativa, isso significa que à medida que a renda do consumidor aumenta o consumo do produto diminui.

A demora no preparo caseiro é apontada como fator determinante e se contrapõe à necessidade de redução do tempo de trabalho doméstico e também ao maior número de pessoas fazendo suas refeições fora do lar, o que implica a substituição do feijão por outras fontes de proteína, principalmente as de origem animal.

Esta redução significativa no consumo também está relacionada ao processo de urbanização ocorrido no país, que pode explicar mais da metade da redução no consumo no período compreendido entre meados da década de 1970 e final dos anos 1980. A rápida urbanização, associada à acentuada inserção da mulher no mercado de trabalho, provocou mudanças do hábito alimentar da população e gerou novas demandas quanto à qualidade,

apresentação, facilidade e menor tempo de preparo dos alimentos (SCHLINDWEIN; KASSOUF, 2006).

O feijão ainda é um dos alimentos mais tradicionais apreciados na dieta do brasileiro. Portanto, práticas e pesquisas que viabilizem o aumento no consumo deste produto são de extrema importância para esta cadeia produtiva e para o consumidor que ganha em qualidade nutricional e saúde.

3.4 Técnicas utilizadas no processamento do feijão

O cenário socioeconômico atual da cadeia produtiva do feijão no Brasil indica um acentuado decréscimo no consumo. É necessário, então, que todos aqueles que atuam nesta cadeia busquem alternativas mais adequadas às exigências do consumidor, agregando valor via processamento na indústria, oferecendo produtos semiprontos e de reduzido tempo de cozimento (WANDER; FERREIRA, 2010). Além disso, as áreas de desenvolvimento podem atuar no sentido de oferecer produtos funcionais e incluir leguminosas secas, dentre elas o feijão, em novas formulações a fim de incentivar o aumento do consumo no país.

De acordo com Uebersax (2011), 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. O mesmo autor também aponta como exemplo o caso de países desenvolvidos da Europa e América do Norte, onde o feijão é preparado, geralmente, por meio de operações de processos tecnológicos e consumido na forma de produto industrializado. O processo inicia-se com o branqueamento dos grãos em água quente, envasamento, adição de salmoura e outros componentes, como o molho de tomate, a carne suína, os aditivos de sabor, e posterior envase hermético, seguido de processamento térmico sob pressão de vapor. O feijão enlatado é um produto de características simples com grande aceitação, com destaque para o mercado americano. No entanto, neste segmento de conveniência há espaço de mercado para o desenvolvimento de feijão que apresente todas as características de qualidade, seja na forma de produto desidratado, congelado ou extrudado.

Um dos exemplos interessantes é o da pesquisa canadense que, através do projeto Pulse Canadá, além de atuar fortemente nas áreas de genética e melhoramento, visando qualidade e produção para o feijão, trabalha no desenvolvimento de métodos de processamento e de novos produtos de cozimento rápido para atender mercados específicos, como as dietas livres de glúten (MASKUS, 2011).

Também há destaque para pesquisas que utilizam a farinha de feijão (além de outras leguminosas, como ervilhas, lentilhas e grão-de-bico) na composição de produtos industrializados, como tortas, pães, massas, salgadinhos (*snaks*) e produtos para crianças (BERRIOS *et al.*, 2004; ANTON *et al.*, 2008a; ANTON *et al.*, 2008b; ANTON *et al.*, 2009).

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 desidratados, pré-cozidos e enlatados estão em alta demanda na indústria de alimentos, restaurantes *fast-food*, alimentação escolar e consumidores domésticos. Porém, um dos problemas relacionados com o processamento que leva à não aceitação do produto são os defeitos estruturais – divisão dos grãos e ruptura da casca – como pode ser observado na Figura 1. A pesquisa em torno do feijão pré-cozido desidratado está focada, principalmente, em duas áreas: redução do tempo de preparo e dos defeitos estruturais.

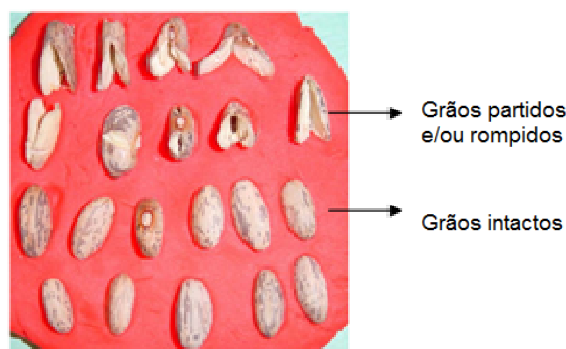


Figura 1 Defeitos estruturais no feijão processado devido à separação e ruptura do grão.

Fonte: PAN *et al.* (2010).

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), o tempo de preparação dos grãos de feijão pré-cozidos desidratados deve ser não mais do que 10 a 20 minutos em água fervente. Além do mais, há a necessidade de outra característica de qualidade tecnológica: a porcentagem de grãos inteiros após o processo, para todos os tipos de feijão pré-processado, enlatado, congelado ou seco, devendo esta ser reduzida após aplicação do pré-processamento (CORTE *et al.*, 2003).

No estudo desenvolvido por Pan *et al.* (2010), foi verificada a relação entre a estrutura dos grãos e a sua tendência ao dano após o pré-processamento. Estes pesquisadores utilizaram sistemas de detecção de impacto acústico (IAD) e separação por densidade (DS), aplicados aos grãos antes do processo. Grãos que apresentaram antes do pré-processamento frações de sinal acústico baixo tiveram maior porcentagem de grãos

com danos na casca e de grãos partidos. O feijão que apresentou baixa densidade – com maior tamanho e peso – resultou em mais danos no tegumento quando comparados ao de alta densidade e também uma maior porcentagem de grãos partidos. Essas informações são importantes para que as técnicas de pré-processamento do feijão possam ser otimizadas, verificando-se primeiramente a qualidade da matéria-prima que será empregada no processo.

Uebersax (2011) relata a respeito do sistema americano patenteadado *quick cooking beans* (feijão de cozimento rápido), que consiste em processamento por maceração pressurizada em solução contendo poliglicol, propilenoglicol e sorbato de potássio, visando ao amaciamento dos grãos. Ao final, a umidade dos grãos é reduzida em aparelho de secagem para um nível de umidade entre 30 e 40%, e o produto é então embalado. Porém, este processo não recebeu incentivo para o seu desenvolvimento em escala comercial nos Estados Unidos, devido aos altos investimentos necessários em estruturas e equipamentos.

No Brasil, o consumo de feijão pré-processado industrialmente é muito baixo, devido ao hábito do processamento doméstico, mas para a população o acesso a este tipo de produto é uma alternativa interessante. Porém, além da pesquisa de desenvolvimento que vise a um produto de qualidade, também são necessários investimentos em estrutura e *marketing* para este setor, para que se consolide no mercado nacional.

3.4.1 Maceração e branqueamento dos grãos

O feijão é um produto que necessita do cozimento para amaciamento dos cotilédones, permitindo assim o seu consumo. Em muitos casos, este processo demanda tempo do consumidor e grande consumo de energia. A maceração prévia ao processo de cozimento é uma etapa que permite absorção de água, sendo essencial na indústria de pré-processados para garantir a maciez do produto (CORTE *et al.*, 2003).

Segundo Rehman, Salarya e Safar (2001), a maceração do feijão é uma prática comum para suavizar a textura e acelerar o cozimento. Entretanto, é um processo que, juntamente com o cozimento, pode acarretar perda de micro e macronutrientes e do conteúdo proteico.

Para feijões recém-colhidos, a casca contribui com cerca de 55% do tempo de cozimento do feijão e para o produto armazenado contribui com mais de 75% desse tempo. Percebe-se, portanto, que a casca é a primeira barreira para o cozimento do feijão, é fator responsável pela dureza do grão e, conseqüentemente, pelo seu grande tempo de cozimento (BASSINELLO, 2008).

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.

O processamento do feijão requer uma fase inicial de hidratação para facilitar o cozimento e a aplicação do branqueamento dos grãos, antes dessa etapa de hidratação, contribui com o aumento da plasticidade do tegumento, levando a um produto de rápida hidratação, contribuindo para a redução do tempo de cozimento (ABU-GHANNAM, 1998). Abu-Ghannam e McKenna (1997), estudando diferentes temperaturas de imersão no processo de branqueamento do feijão kidney, verificaram que o branqueamento apresenta um efeito significativo no aumento das taxas de hidratação e que as condições de equilíbrio no processo são obtidas mais rapidamente quando este é utilizado.

A aplicação de processos químicos e físicos combinados pode levar à redução do tempo de cozimento dos grãos, o que viria facilitar o processo de cozimento, gerando um produto de maior aceitação pelo consumidor. Na literatura encontram-se exemplos do uso das técnicas de maceração e branqueamento, combinadas a sais de sódio, com o objetivo de reduzir o tempo de cocção de leguminosas.

Paredes-López *et al.* (1991) avaliaram a maceração de grãos de feijão envelhecidos, com a adição de cloreto e bicarbonato de sódio no processo. Verificaram que o tempo de cozimento em grãos com defeito *hard-to-cook* (HTC) (difícil de cozinhar) é consideravelmente reduzido por meio destas técnicas, devido às alterações na textura. Porém, os autores enfatizam a importância da pesquisa para desenvolvimento de tecnologias a serem empregadas em escala industrial, com o aproveitamento dos grãos de qualidade reduzida devido às más condições de armazenagem, no processamento do feijão.

Rehman, Salarya e Safar (2001) avaliaram a maceração em feijão branco e kidney em água e em solução com bicarbonato de sódio (1%), em diferentes temperaturas: 30 e 100 °C, por diferentes períodos: uma e duas horas. Após o processo de maceração, os grãos foram drenados, lavados em água destilada e secos a 55 °C. Os autores verificaram que a temperatura e o tempo de maceração afetaram o conteúdo de carboidratos disponíveis e que a utilização do bicarbonato de sódio leva ao decréscimo destes componentes. Esta redução pode ser explicada pela constituição do amido nos grãos de feijão, os quais são formados por porções solúveis e insolúveis e quando o produto é submetido à maceração a porção solúvel é extraída acarretando a redução desse carboidrato.

Rodrigues *et al.* (2005) observaram uma correlação significativa e negativa entre a absorção de água pelos grãos de feijão e o tempo de cozimento. A redução do tempo de hidratação pode, então, contribuir para um processo de cozimento mais rápido do grão. Isto

se deve, principalmente, à alteração do amido durante a maceração com a absorção de água, processo finalizado durante o cozimento dos grãos.

Aminigo e Metzger (2005) avaliaram a aplicação do branqueamento e da maceração em sais de sódio no coeficiente de hidratação, composição química, textura e cor de três cultivares de feijão africano (*Sphenostylis stenocarpa*). Verificaram que os teores de proteína foram ligeiramente aumentados, enquanto que as cinzas e gorduras foram reduzidas. A concentração de taninos diminuiu 19,2%, quando foi utilizado o branqueamento por 40 min.

Urga *et al.* (2006), com o objetivo de processar ervilhas (*Lathyrus Sativus*) de cozimento rápido, utilizaram a maceração e o branqueamento em soluções contendo bicarbonato de sódio, ácido cítrico e cinzas de madeira. Verificaram que ocorre redução significativa no tempo de cozimento quando são utilizadas estas soluções na maceração. Estas técnicas são, então, alternativas para tornar o produto mais aceitável pelos consumidores, além de diminuir custos com energia no preparo dos alimentos.

Khatun *et al.* (2007) verificaram em pesquisa com genótipos de vagens de feijão que diferentes tempos de branqueamento do grão – 5, 10 e 15 min. – na temperatura de 50 °C resultam em diferentes teores de proteínas, ácido ascórbico e açúcares. Sendo que maiores tempos de processo implicam menor qualidade do produto pré-processado.

Gowen *et al.* (2007), estudando o efeito do branqueamento e maceração na absorção de água e textura do feijão, observaram que o branqueamento aumenta a velocidade de hidratação do grão. De acordo com Mattson *et al.* (1950) citados por Bassinello *et al.* (2005), o sódio é um componente que pode ser empregado na maceração para reduzir o tempo de cocção, possibilitando a quebra das ligações de pectato de cálcio e magnésio presentes no tegumento, facilitando a absorção de água.

Bertoldo *et al.* (2010) investigaram a adição de diferentes concentrações de cloreto de sódio (0; 50 e 125 g L⁻¹) na maceração em diferentes períodos (0; 5; 9 e 18 h) em dois genótipos (Pérola e Uirapuru), verificando o efeito destas condições no tempo de cozimento de grãos envelhecidos. As variáveis do processo, tempo de hidratação e concentração de NaCl apresentaram efeitos significativos, ocorrendo com o aumento do tempo de hidratação redução no tempo de cozimento até o limite máximo de 12,5 h. O aumento na concentração de NaCl na solução de maceração possibilita o decréscimo no tempo de cozimento, até o limite máximo de 56,50 g.L⁻¹.

De acordo com Aminigo e Metzger (2005), os estudos sobre o efeito dos pré-tratamentos nos grãos de feijão são de extrema importância, pois contribuem para a viabilização do desenvolvimento dos novos produtos.

A secagem é uma das práticas mais antigas utilizadas para preservação dos alimentos durante estocagem e armazenamento. Atualmente, a secagem artificial é a mais

utilizada. Esta envolve a passagem do ar aquecido, com temperatura e umidade relativa controladas, sobre o alimento que pode estar parado ou em movimento (FONSECA; CANTARELLI, 1984). O processo assegura qualidade e estabilidade, pois a diminuição da atividade de água do material reduz a ação dos micro-organismos, alterações químicas e físicas que ocorrem durante a armazenagem dos grãos (CORREA *et al.*, 2007). Finalizado o pré-processamento, quando o objetivo é a obtenção de feijão seco, a secagem é utilizada, principalmente, para a redução da água absorvida pelo grão durante o processo, até, aproximadamente, ao teor inicial de umidade. As condições de secagem para estes produtos devem ser avaliadas, pois podem influenciar a qualidade final dos pré-processados.

Segundo Dias *et al.* (2000), a secagem de feijão preto em leito de jorro bidimensional com temperatura em torno de 50 °C, não afetou significativamente as propriedades físicas e tecnológicas do feijão. Porém, Faroni *et al.* (2006) concluíram que o aumento da temperatura do ar de secagem não apresentou efeito sobre a classificação por tipo nem sobre a coloração, mas reduziu a qualidade fisiológica dos grãos, ocorrendo após o armazenamento o seu escurecimento, o que pode reduzir a aceitação do produto. Portanto, esse é um fator importante a ser verificado, uma vez que os processos de maceração e branqueamento dos grãos, em presença de sais para redução de tempo de cozimento levam ao aumento do teor de água do grão, o que torna necessária a secagem para comercialização e conservação do produto.

3.5 Qualidade do feijão

3.5.1 Tempo de cozimento

O tempo de cozimento é um fator limitante no consumo do feijão, pois em muitos casos ocorre a preferência por marcas e tipos de grão que cozinham mais rápido, além, é claro, do consumidor sempre preferir o feijão recém-colhido.

Esta característica é fator fundamental para a aceitação de uma cultivar de feijão pelos consumidores, pois a disponibilidade para o preparo das refeições é muitas vezes restrita. Cultivares que apresentam grãos com cozimento rápido proporcionam economia de tempo e de energia (YOKOYAMA; STONE, 2000).

A identificação de linhagens com menor tempo de cozimento, rápida capacidade de hidratação, com tegumentos que não se partam durante o cozimento e com alta expansão volumétrica após o cozimento, é bastante desejável para obtenção de grãos com boa

qualidade e isso reflete em maior aceitação do mercado (CARBONELL; CARVALHO; PEREIRA, 2003).

A avaliação do tempo de cozimento é exigida para a inscrição de nova cultivar de feijão junto ao Serviço de Agricultura e Produção Agropecuária (BRASIL, 2009). A metodologia oficial requer a utilização do cozedor de Mattson proposta por Proctor e Watts (1987).

Muitos são os fatores que influenciam no tempo de cozimento dos grãos, dentre eles a cultivar, condições do ambiente da cultura, condições e tempo de armazenagem (CARBONELL; CARVALHO; PEREIRA, 2003; RAMOS JUNIOR; LEMOS; SILVA, 2005). O feijão armazenado tende a cozinhar mais lentamente, resultando em maior consumo de tempo e energia. O tegumento do feijão perde a sua permeabilidade durante o armazenamento o que contribui para o aumento no tempo de cocção. Quando o produto é armazenado em condições de alta umidade e temperatura, aumenta-se significativamente o tempo de cozimento (BRAGANTINI, 2007).

Os dados de Coelho *et al.* (2009) apontam que, tanto em grãos de feijão envelhecidos naturalmente quanto em grãos submetidos ao envelhecimento acelerado, o tempo de cozimento aumenta durante a armazenagem, ocorrendo o defeito *hard-to-cook* que implica uma redução da qualidade culinária do produto.

Para grãos pré-processados, a determinação do tempo de cozimento é muito importante, pois permite avaliar as condições em que é possível obter um produto de boa qualidade e reduzido tempo de preparo.

3.5.2 Cor dos grãos

A cor dos grãos de feijão é um importante parâmetro de qualidade, pois define a preferência do consumidor. Características como a cor, o tamanho e o brilho do grão de feijão, podem determinar o seu consumo. Em alguns casos, há preferência por grãos menores e opacos e, em outros casos, são desejáveis os grãos maiores que apresentam brilho. A preferência do consumidor norteia a seleção e obtenção das novas cultivares, exigindo destas não apenas boas características agronômicas, mas também aspectos de cor que agreguem valor comercial no varejo (EMBRAPA, 2010).

A medida de cor é um parâmetro utilizado como um índice de qualidade para os alimentos *in natura* ou processados e, também, na avaliação de mudanças na qualidade em consequência do processamento e armazenamento dos produtos (GIESE, 2000).

As cores variam em três dimensões: luminosidade, que indica a relação entre a luz refletida e a luz absorvida; a coloração ou tonalidade cromática, que é o aspecto da cor que pode ser descrito; o croma, que expressa a intensidade de cor. As dimensões são

arranjadas no espaço físico de acordo com os sistemas de cor, dentre estes: Cie, Hunter, Munsell e Cielab. Há destaque para o sistema $L^*a^*b^*$ ou CIELAB 1976 – Comissão Internacional de Iluminantes - (Figura 2), pois é o que apresenta maior aceitação entre os pesquisadores, em todos os campos de aplicação (ALONSO-SALCES *et al.*, 2005; GRANATTO; MASSON, 2010).

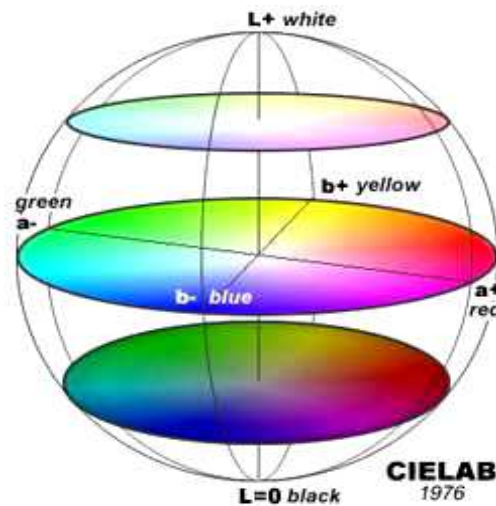


Figura 2 Esquema para medição de cores CIELAB 1976, L^* (claro-escuro), a^* (verde-vermelho) e b^* (azul-amarelo).

Fonte: Handprint (2010).

O espaço de cor CIELAB mede as coordenadas de cor a^* e b^* e também o índice de luminosidade – L^* . O parâmetro de cor a^* assume valores positivos para cores avermelhadas e valores negativos para as tonalidades esverdeadas (-60 a 60), enquanto que b^* assume valores positivos para cores em tom amarelo e negativos para tons em azul (-60 a 60) (GRANATO; MASSON, 2010). A luminosidade é o componente que descreve a cor em termos de tonalidade mais clara e mais escura e é expressa em uma escala de zero a 100, em que o zero representa o preto absoluto e 100 o branco absoluto.

Para outra forma de visualização, utiliza-se o espaço de cor com coordenadas cilíndricas. A maneira de converter as coordenadas retangulares para este outro meio é apresentada nas Equações 1 e 2. Primeiramente, tem-se o atributo de cor H^* (ângulo hue ou de coloração) que é indicador de tonalidade ou de qualidade de cor usado para definir a diferença entre determinada cor, em relação à cor cinza (Figura 3). Está relacionado com as diferenças de absorvância, em diferentes comprimentos de onda:

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

Em que:

H^* = ângulo de coloração ou tonalidade cromática;

a^* = componente de cor vermelho-verde;

b^* = componente de cor amarelo-azul.

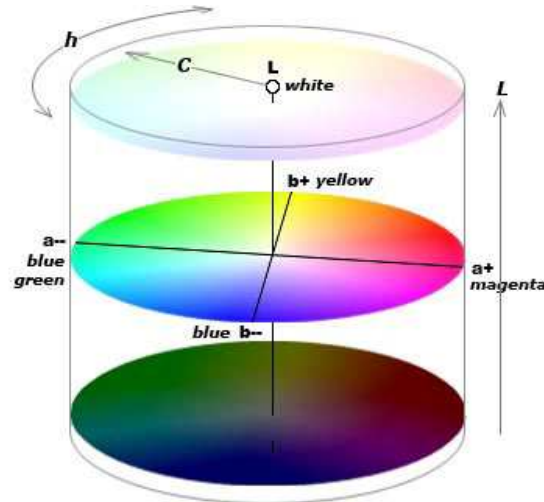


Figura 3 Geometria do modelo de cor CIELAB 1976, L^* (claro-escuro), h^* (ângulo de coloração), C^* (índice de croma), a^* (verde-vermelho), b^* (azul-amarelo).

Fonte: Handprint (2010).

O parâmetro Croma (C^*), que indica a cromaticidade ou intensidade de cor da amostra, também é determinado a partir dos resultados dos atributos a^* e b^* (Figura 3). Quanto maiores os valores de croma, maior a intensidade da cor das amostras percebida pelos seres humanos (GRANATO; MASSON, 2010):

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

Em que:

C^* = cromaticidade;

b^* = componente de cor vermelho-verde;

a^* = componente de cor amarelo-azul.

As medidas de diferença de cor são importantes em processos da indústria de alimentos para verificar quais as alterações ocorridas, após os tratamentos aos quais o produto foi submetido. A diferença de cor pode ser determinada pela seguinte expressão (SILVA *et al.*, 2007):

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

Em que:

Δe^* = diferença de cor em relação a um padrão ou controle;

ΔL^* = diferença entre a luminosidade da amostra em relação ao padrão ou controle;

Δa^* = diferença entre o componente a^* da amostra em relação ao padrão ou controle;

Δb^* = diferença entre o componente b^* da amostra em relação ao padrão ou controle.

Brackmann *et al.* (2002) verificaram os parâmetros de cor dos grãos de feijão de diferentes cultivares, analisando o efeito do ambiente, da refrigeração e da atmosfera modificada na qualidade dos grãos armazenados. Observaram que as duas condições, refrigeração e atmosfera modificada, contribuem para a manutenção da qualidade da cor durante o armazenamento do produto.

Armelin *et al.* (2007) avaliaram as características de grãos de feijão, variedade carioca Tybatã, submetidos a diferentes dosagens de radiação gama, quanto às mudanças de cor, destacando que para o consumidor esta característica de qualidade é importante e deve ser mantida após os processos industriais. Verificaram que não ocorreram diferenças significativas quanto à cor dos feijões submetidos aos tratamentos de irradiação.

Granato e Masson (2010) destacaram a importância das análises de correlações entre dados colorimétricos e sensoriais, envolvendo novos alimentos à base de soja, pois estes estudos geram resultados que podem ser implementados nas indústrias alimentícias e nas instituições acadêmicas. No caso de feijão pré-processado, estas avaliações também têm grande importância, pois este é um parâmetro de qualidade de grande influência sobre o consumidor no momento da aquisição do produto.

3.6 Planejamento experimental

A crescente necessidade da otimização de produtos e processos, visando sempre ao máximo rendimento, produtividade e qualidade, com a minimização de custos, tem levado profissionais de diferentes áreas a buscarem técnicas sistemáticas de planejamento para os seus experimentos, tanto na pesquisa acadêmica quanto na indústria.

A metodologia do planejamento fatorial associada à análise de superfícies de resposta, aliada à estatística, é a ferramenta que fornece informações seguras sobre o processo. A utilização desta metodologia aumentou consideravelmente a partir dos anos 1980, coincidindo com avanços nas tecnologias de sistemas de informação e implementação de *softwares* estatísticos. Este tipo de planejamento apresenta como

principal vantagem o reduzido número de experimentos, o que diminui o trabalho, o tempo e os custos com a pesquisa (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

O planejamento fatorial é uma técnica bastante utilizada, quando se tem duas ou mais variáveis independentes (fatores) em um determinado processo. Ela permite uma combinação de todos os fatores em todos os níveis, obtendo-se, assim, uma variável resposta sujeita a todas as combinações das demais.

Planejamentos fatoriais são extremamente úteis para medir os efeitos ou a influência de uma ou mais variáveis na resposta de um processo. A metodologia de superfície de resposta pode ser utilizada para a avaliação da influência simultânea de diferentes condições de processo sobre a qualidade de um produto. É uma ferramenta estatística amplamente utilizada na otimização de processos (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Rodrigues e Iemma (2009) definem os tipos de delineamentos fatoriais mais utilizados: o fatorial fracionado e o delineamento composto central rotacional (DCCR). O primeiro é utilizado para a investigação inicial, em relação aos efeitos das variáveis estudadas sobre as respostas desejadas; O segundo - DCCR - é utilizado quando se estudam duas ou três variáveis independentes. Quando são avaliadas mais de 8 variáveis independentes, os planejamentos de Plackett & Burman são mais interessantes para a seleção e análise dos efeitos. Este tipo permite mais flexibilidade no número de ensaios e deverá ser utilizado na etapa de seleção dos fatores. Para o alcance das condições otimizadas de um processo é sempre interessante seguir as seguintes etapas: 1) seleção de variáveis, com a utilização de planejamento fatorial fracionado ou de Plackett & Burman, em que são identificadas as variáveis com efeito mais relevante no processo (PLACKETT; BURMAN, 1946); 2) otimização, com a utilização de um planejamento fatorial completo e construção de modelos preditivos; 3) validação das condições otimizadas, confirmando experimentalmente os resultados obtidos na análise da superfície de resposta.

Quando são analisados muitos fatores em um determinado processo científico ou tecnológico, uma técnica que pode ser utilizada é a seleção de variáveis, por meio de ferramentas estatísticas conhecidas como matrizes de delineamento Plackett & Burman - matrizes de Hadamard que podem ser utilizadas na prática dos experimentos científicos - (RODRIGUES; IEMMA, 2009). Estas ferramentas proporcionam informações que orientam a elaboração de um novo planejamento experimental, permitindo a obtenção de resultados de qualidade com reduzido número de ensaios, custo e tempo.

A seguir são apresentados alguns exemplos da utilização da técnica estatística de planejamento experimental na pesquisa com alimentos.

Balandrán-Quintana *et al.* (1998) utilizaram a técnica para verificar a qualidade do produto proveniente do processo de extrusão da farinha de feijão, tecnologia na qual a farinha é forçada através de matriz, em condições variáveis de umidade e aquecimento,

pressão e fricção que levam a gelatinização do amido e desnaturação das proteínas. Observaram neste trabalho que a temperatura e a umidade da matéria-prima a ser extrusada são variáveis significativas para a digestibilidade das proteínas, índice de expansão, solubilidade e absorção de água da farinha obtida.

Medeiros (2004) estudou o processo de secagem de feijão verde (*Vigna unguiculata L. Walp*) utilizando um planejamento fatorial 2^2 , considerando como fatores a velocidade e a temperatura do ar de secagem. Observou que ambos os fatores estudados apresentaram efeitos significativos na razão de umidade, definida pela razão entre a umidade inicial e final do feijão, após a secagem e também das respostas fração de água evaporada após 20 e 50 minutos e no índice de quebra do grão.

Costa *et al.* (2006) utilizaram um planejamento fatorial 2^3 para a otimização do programa de digestão de amostras de feijão em forno de micro-ondas com radiação focalizada. Foram considerados no estudo os fatores: volume inicial de H_2SO_4 , volume de HNO_3 e temperatura, utilizados no processo de digestão. Os autores evidenciam como uma das principais vantagens da utilização do planejamento fatorial a possibilidade de avaliar o sistema de maneira multivariada, buscando otimizar todas as variáveis que compõem o sistema experimental.

Zhang e Chen (2006) analisaram o efeito da maceração em baixa temperatura na coloração e textura de berinjelas verdes. Os fatores em estudo foram: temperatura da água de maceração, tempo de maceração e concentração de cloreto de sódio na solução. Os dois primeiros apresentaram efeito significativo na textura de berinjelas verdes. A metodologia de superfície de resposta foi um método adequado nesta situação para otimizar as condições de processamento do produto.

Menegassi *et al.* (2007) utilizaram um planejamento fatorial 2^3 e avaliaram as seguintes variáveis independentes: rotação da rosca, temperatura e umidade, no processo de extrusão para obtenção da farinha de mandioquinha-salsa. Por meio da técnica estatística, os autores identificaram no processo as condições ideais de operação e obtiveram um produto com características de viscosidade e cor adequadas para o consumo.

Germer *et al.* (2011), utilizaram um delineamento central composto rotacional para verificar a influência da temperatura e da concentração de xarope de sacarose na desidratação osmótica de pêssegos. Os resultados obtidos apontaram uma região ótima para o processo, com maiores perdas de água e melhores características sensoriais para o produto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado no *campus* de Cascavel.

Foram utilizados grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. grupo carioca) da cultivar IAPAR 81, provenientes da primeira safra (verão 2010/2011), obtidos com um produtor convencional do município de Catanduvas, coordenadas geográficas de 25° 12' 10" S de latitude e 53° 9' 25" W de longitude e altitude de 762 m, na região Oeste do Paraná.

Após a colheita os grãos foram secos por meio de um processo de secagem natural em condições ambientais. O produto foi limpo manualmente (retirada de impurezas e materiais estranhos) e armazenado durante 30 dias, sob condição de refrigeração em câmara fria (5 °C ±1), em embalagens plásticas com capacidade para 5 kg, para posteriormente receber os tratamentos de pré-processamento. A condição de armazenamento refrigerado foi utilizada por contribuir para a manutenção das características de qualidade dos grãos, reduzindo reações metabólicas durante o período (COELHO *et al.*, 2009).

Antes da condução do pré-processamento, os grãos foram retirados da estocagem e mantidos em temperatura ambiente durante 24 horas e, em seguida, foram homogeneizados e subdivididos em subamostras contendo 200 gramas do produto.

4.1 Caracterização do feijão não processado (controle)

Os grãos de feijão não processados foram avaliados em relação aos parâmetros teor de água e capacidade de absorção de água antes do cozimento, descritos a seguir.

4.1.1 Teor de água dos grãos

O teor de água foi determinado utilizando-se o método padrão da estufa, de acordo com Brasil (2009). Foram pesadas três repetições de 5,00 g de grãos não processados, colocadas em estufa a 105 °C por um período de 24 horas, dentro de recipientes de alumínio. Após 24 horas, foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador por um período de 20 minutos. As amostras foram pesadas novamente, obtendo-se o peso após a secagem e determinando-se o teor de água dos grãos de feijão, expresso em porcentagem.

4.1.2 Capacidade de absorção de água antes do cozimento

Para a análise da capacidade de absorção de água antes do cozimento, utilizou-se a metodologia proposta por Carbonell, Carvalho e Pereira (2003). Foram pesadas três amostras do feijão controle de, aproximadamente, 30 gramas. Os grãos foram colocados em béquers de 250 mL e adicionou-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 a capacidade de absorção de água com base no peso obtido antes e após o processo, expressa em porcentagem.

4.2 Primeiro planejamento experimental

Para a realização do experimento foi utilizado, primeiramente, um *Screening Design*, que teve como objetivo a seleção de fatores, para posterior otimização do processo. O planejamento fatorial Plackett & Burman (PB) foi a ferramenta usada para o estudo da influência dos tratamentos de pré-processamento na qualidade dos grãos (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Na Tabela 1 são apresentados os fatores do planejamento Plackett & Burman, com os respectivos níveis codificados em -1 e +1.

Tabela 1 Níveis dos fatores do planejamento Plackett & Burman e seus respectivos valores reais

Fator	Código	-1	0	+1
Tempo de maceração (h)	X ₁	4	10	16
Concentração de NaCl maceração (%)	X ₂	0	2,25	4,5
Concentração de NaHCO ₃ maceração (%)	X ₃	0	2,25	4,5
Temperatura da solução de maceração (°C)	X ₄	25	35	45
Temperatura de branqueamento (°C)	X ₅	70	80	90
Tempo de branqueamento (s)	X ₆	30	105	180
Concentração de NaCl branqueamento (%)	X ₇	0	2,25	4,5
Concentração de NaHCO ₃ branqueamento (%)	X ₈	0	2,25	4,5
Temperatura de secagem (°C)	X ₉	40	50	60

Os níveis adotados para o planejamento foram definidos por testes preliminares e resultados de outras pesquisas (IYER *et al.*, 1980; ABU-GHANNAM; McKENNA, 1997; ZIMMERMANN *et al.*, 2009).

O planejamento proposto foi Plackett & Burman de 16 ensaios, ou seja, com 7 ensaios a mais que os 9 fatores avaliados nesta pesquisa. Contou com mais quatro pontos centrais, totalizando 20 ensaios e está apresentado na Tabela 2. A realização dos ensaios no laboratório foi feita por sorteio. Após a realização de 4 ensaios principais foi realizado um dos ensaios no ponto central, permitindo assim o princípio de aleatorização ao experimento.

Tabela 2 Matriz codificada do planejamento experimental Plackett & Burman 16 com os valores das variáveis e seus respectivos níveis codificados

Ensaio	Variáveis independentes*								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
01	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
02	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
03	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
04	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
05	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1
06	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1
07	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
08	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1
09	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
10	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1
11	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1
12	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1
13	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
14	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1
15	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Notas: * X₁ - tempo de maceração (h); X₂ - concentração de NaCl maceração (%); X₃ - concentração de NaHCO₃ maceração (%); X₄ - temperatura da solução de maceração (°C); X₅ - temperatura de branqueamento (°C); X₆ - tempo de branqueamento (s); X₇ - concentração de NaCl branqueamento (%); X₈ - concentração de NaHCO₃ branqueamento (%) e X₉ - temperatura de secagem (°C).

Os níveis reais para os nove fatores que foram analisados no pré-processamento do feijão são apresentados na Tabela 3.

Após esta primeira etapa de *Screening Design* do tipo Plackett-Burman, foram avaliados os efeitos do processo nas seguintes respostas: tempo de cozimento dos grãos, índice de grãos danificados e parâmetros de cor.

As análises foram realizadas com os grãos pré-processados e também com grãos considerados controle, a fim de realizar comparações de cor e verificação da alteração no tempo de cozimento do feijão carioca.

Tabela 3 Matriz decodificada do planejamento experimental Plackett & Burman 16 com os valores das variáveis e seus respectivos níveis reais

Ensaio	Variáveis independentes*								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
01	16	0	0	25	90	30	0	4,5	60
02	16	4,5	0	25	70	180	0	0	60
03	16	4,5	4,5	25	70	30	4,5	0	40
04	16	4,5	4,5	45	70	30	0	4,5	40
05	4	4,5	4,5	45	90	30	0	0	60
06	16	0	4,5	45	90	180	0	0	40
07	4	4,5	0	45	90	180	4,5	0	40
08	16	0	4,5	25	90	180	4,5	4,5	40
09	16	4,5	0	45	70	180	4,5	4,5	60
10	4	4,5	4,5	25	90	30	4,5	4,5	60
11	4	0	4,5	45	70	180	0	4,5	60
12	16	0	0	45	90	30	4,5	0	60
13	4	4,5	0	25	90	180	0	4,5	40
14	4	0	4,5	25	70	180	4,5	0	60
15	4	0	0	45	70	30	4,5	4,5	40
16	4	0	0	25	70	30	0	0	40
17	10	2,25	2,25	35	80	105	2,25	2,25	50
18	10	2,25	2,25	35	80	105	2,25	2,25	50
19	10	2,25	2,25	35	80	105	2,25	2,25	50
20	10	2,25	2,25	35	80	105	2,25	2,25	50

Notas: * X₁ - tempo de maceração (h); X₂ - concentração de NaCl maceração (%); X₃ - concentração de NaHCO₃ maceração (%); X₄ - temperatura da solução de maceração (°C); X₅ - temperatura de branqueamento (°C); X₆ - tempo de branqueamento (s); X₇ - concentração de NaCl branqueamento (%); X₈ - concentração de NaHCO₃ branqueamento (%) e X₉ - temperatura de secagem (°C).

4.3 Descrições dos tratamentos de pré-processamento

Segue-se a descrição dos tratamentos de pré-processamento utilizados para os grãos de feijão carioca, sendo estes a maceração em diferentes condições e branqueamento em diferentes soluções salinas, ambos seguidos da secagem do produto.

4.3.1 Pré-processamento com maceração dos grãos em soluções salinas

Conforme se verifica na Tabela 2, ocorreram ensaios que utilizaram a maceração dos grãos, ou seja, processo que consiste em deixar o produto de molho na água, em dois tipos de solução salina (bicarbonato de sódio e cloreto de sódio), em diferentes concentrações, temperaturas e tempos de maceração. A metodologia adotada para cada um dos sais utilizados é descrita a seguir.

a) Bicarbonato de sódio (NaHCO_3)

Para análise do efeito do bicarbonato de sódio na qualidade dos grãos de feijão, foi realizado o processo de maceração em soluções com concentrações entre 0% e 4,5%. Para tanto, 100 gramas de feijão foram acondicionados em um béquer com 400 mL de cada uma das soluções de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), PA marca Synth®, e deixados de molho por diferentes períodos e temperaturas de maceração, de acordo com o planejamento (Tabela 3). Após a maceração, os grãos foram ou não submetidos aos processos posteriores e, então, foram secos em estufa de circulação e renovação de ar (marca Tecnal®, modelo TE-394/1)¹ à temperatura determinada pelo ensaio (Tabela 3) e submetidos a análises de qualidade tecnológica.

b) Cloreto de sódio (NaCl)

Para análise do efeito do cloreto de sódio (NaCl PA marca Synth®), na qualidade do produto, foi realizado o processo de maceração dos grãos em soluções com concentrações entre 0% e 4,5%. Para tanto, 100 gramas de feijão foram acondicionados em béquer com 400 mL de cada uma das soluções de cloreto de sódio, deixando-os de molho por diferentes períodos e temperaturas (Tabela 3). Após a maceração, os grãos foram ou não submetidos a processos posteriores, e então secos em estufa de circulação de ar à temperatura determinada pelo ensaio e submetido a análises posteriores.

4.3.2 Pré-processamento utilizando o Branqueamento com soluções salinas

O pré-processamento consistiu no branqueamento com imersão dos grãos de feijão em soluções salinas a diferentes temperaturas. As soluções continham os sais bicarbonato de sódio e/ou cloreto de sódio, ambos em diferentes concentrações, utilizando-se diferentes tempos de imersão. A seguir é descrita a metodologia para cada um dos sais que foram utilizados.

¹ A citação de marcas, nesta dissertação, não constitui recomendação comercial dos equipamentos, somente a exata referência dos elementos da pesquisa.

a) Bicarbonato de sódio (NaHCO₃)

Para análise do efeito do bicarbonato de sódio na qualidade dos grãos de feijão, foi realizado o branqueamento dos grãos em condições de concentração, temperatura e tempo de imersão definidos na Tabela 3. Para tanto, 100 gramas do grão foram acondicionados em uma embalagem de PVC trançada e submersos em recipiente de alumínio, que se encontrava dentro de um aparelho banho-maria (marca Tecnal® modelo TE-056), contendo 400 mL da solução de NaHCO₃, em concentração e temperatura, nas condições pré-estabelecidas pelo planejamento (Tabela 3).

Após o branqueamento, os grãos foram secos em estufa de circulação de ar na temperatura estabelecida para cada ensaio, de acordo com a Tabela 3, e depois submetidos a análises de qualidade.

b) Cloreto de sódio (NaCl)

Para análise do efeito do cloreto de sódio na qualidade dos grãos de feijão, foi realizado o processo de branqueamento de acordo com o planejamento estatístico. Após o branqueamento, os grãos foram secos em estufa de circulação nas condições pré-estabelecidas e também submetidos a análises de qualidade tecnológica.

4.4 Análises de qualidade tecnológica realizadas após os ensaios do planejamento Plackett & Burman

Após os 20 ensaios de pré-processamento, propostos pela matriz Plackett & Burman, os grãos secos foram submetidos às análises de qualidade descritas a seguir.

4.4.1 Tempo de cozimento

A determinação do tempo de cozimento foi realizada com o auxílio do aparelho cozedor de Mattson modificado, seguindo o método proposto por Proctor e Watts (1987).

O aparelho de Mattson modificado possui 25 hastes com 20 cm de comprimento e massa de 82,0 gramas cada, sendo que esta massa representa a força média que o consumidor utiliza entre os dedos para verificar a maciez e, conseqüentemente, o cozimento do grão (RESENDE, 2006).

Para a realização da análise, primeiramente foram colocados 30 gramas de feijão em um béquer de capacidade 250 mL, contendo 100 mL de água destilada por um período de 16 horas. Em seguida, foram escolhidos vinte e cinco grãos inteiros que foram colocados em

cada uma das vinte e cinco cavidades do aparelho cozedor, com as hastes metálicas suspensas em cima de cada um dos grãos.

O cozedor foi então colocado em banho-maria, contendo 1,5 L de água em ebulição, sendo este volume completado durante o cozimento, com água também em ebulição. O tempo foi cronometrado a partir do momento em que a água atingia, aproximadamente, a temperatura de 95 °C (± 2 °C). O tempo de cozimento dos grãos foi verificado visualmente e definido quando 13 dos 25 grãos foram perfurados pelas hastes metálicas.

Esta análise também foi realizada em grãos controle (não processados)

Com os valores do tempo de cozimento (minutos.) das amostras de feijão pré-processado e do controle, foi realizado o cálculo da alteração do tempo de cozimento (ATC) dos grãos utilizando-se a seguinte expressão:

$$ATC = \left(\frac{TC_{controle} - TC_{amostra}}{TC_{controle}} \right) \times 100 \quad (4)$$

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 pré-processado, em minutos.

4.4.2 Porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento

Após a última etapa de pré-processamento, foi avaliada a porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento utilizando-se metodologia adaptada de Carbonell, Carvalho e Pereira (2003).

Após a secagem, todos os grãos foram pesados e separados manualmente em duas porções, danificados e não danificados. Para a classificação de produto danificado foram consideradas a presença de rachaduras no tegumento, o desprendimento da casca do tegumento e a presença de bandinhas (feijão partido).

Os grãos danificados foram pesados e este parâmetro foi determinado pela seguinte expressão:

$$PGD = \frac{M_{Danificados}}{M_{Total}} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

PGD = porcentagem de grãos danificados após o processo (%);

$M_{\text{Danificados}}$ = massa dos grãos danificados após o processo (g);

M_{Total} = massa total dos grãos (g).

4.4.3 Parâmetros de cor dos grãos

A cor do produto foi determinada pela leitura direta dos grãos de feijão em um colorímetro Konica Minolta®, modelo 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. O produto foi colocado sob o acessório de acomodação de amostras do tipo granulares (modelo CR-A50) e as leituras realizadas em triplicata.

As medidas das amostras foram realizadas com três repetições, obtendo-se valores médios de L^* , a^* e b^* (GRANATO; MASSON, 2010). Os valores para a diferença dos grãos pré-processados, em relação ao controle (Δe^*), foram calculados pela Equação 3.

Para os grãos controle, com as medidas dos parâmetros de cor a^* e b^* , foi possível calcular o valor do ângulo de coloração com auxílio da Equação 1 e o valor da cromaticidade através da Equação 2.

4.5 Segundo planejamento – Delineamento composto central rotacional (DCCR 2³)

Após a seleção dos fatores que apresentaram efeitos significativos no primeiro experimento, foi definido um novo planejamento que consistiu em um delineamento composto central rotacional 2³, incluindo seis pontos axiais e quatro repetições no ponto central. Os fatores selecionados e seus respectivos níveis estão apresentados na Tabela 4.

Os níveis para o fator tempo de maceração foram os mesmos utilizados no planejamento Plackett & Burman. O nível inferior do fator concentração de NaHCO₃ foi mantido (0%), porém o nível superior foi alterado para 5%, não se optando por valores superiores a este. Com relação ao fator temperatura de secagem, o nível inferior também foi mantido e o nível superior alterado, visando observar o comportamento do processo em temperaturas superiores a 60 °C.

Tabela 4 Matriz do planejamento e níveis estabelecidos para os fatores selecionados na realização do pré-processamento, utilizando maceração dos grãos de feijão carioca

Fatores	Níveis				
	- α	-1	0	+1	+ α
Tempo de maceração (h)	4	6,4	10	13,6	16
Concentração de NaHCO ₃ (%)	0	1	2,5	4	5
Temperatura de secagem (°C)	40	46	55	64	70

Nota: * $\alpha = 1,681$.

Na Tabela 5 apresenta-se a matriz do planejamento composto central rotacional, definido para a segunda etapa da pesquisa, com os seus valores codificados e reais.

Foram realizados no laboratório, também de forma aleatória, oito ensaios principais, seis ensaios nos pontos axiais e quatro repetições no ponto central.

Tabela 5 Matriz do planejamento experimental DCCR 2³ com os valores codificados e reais entre parênteses dos fatores utilizados no pré-processamento, utilizando a maceração em feijão carioca

Ensaio	Fatores		
	Tempo de maceração (h)	Concentração de NaHCO ₃ (%)	Temperatura de secagem (°C)
01	-1 (6,4)	-1 (1)	-1 (46)
02	1 (13,6)	-1 (1)	-1 (46)
03	-1 (6,4)	1 (4)	-1 (46)
04	1 (13,6)	1 (4)	-1 (46)
05	-1 (6,4)	-1 (1)	+1 (64)
06	1 (13,6)	-1 (1)	+1 (64)
07	-1 (6,4)	+1 (4)	+1 (64)
08	1 (13,6)	+1 (4)	+1 (64)
09	-1,68 (4)	0 (2,5)	0 (55)
10	1,68 (16)	0 (2,5)	0 (55)
11	0 (10)	-1,68 (0)	0 (55)
12	0 (10)	1,68 (5)	0 (55)
13	0 (10)	0 (2,5)	-1,68 (40)
14	0 (10)	0 (2,5)	1,68 (70)
15	0 (10)	0 (2,5)	0 (55)
16	0 (10)	0 (2,5)	0 (55)
17	0 (10)	0 (2,5)	0 (55)
18	0 (10)	0 (2,5)	0 (55)

4.5.1 Análises de qualidade realizadas após o planejamento DCCR 2³

Após a realização da segunda etapa do experimento, que consistiu em um planejamento utilizando-se apenas os fatores selecionados, os grãos foram submetidos às

análises de: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e diferença de cor em relação ao controle.

4.6 Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizado o *software* computacional *Statistica*, versão 7.1 (STATSOFT INC, 2005). Os dados obtidos, após a realização do planejamento Plackett & Burman, foram submetidos à análise de efeitos lineares. Foi possível a avaliação do erro puro e da reprodutibilidade do processo pelos resultados obtidos nos ensaios na condição de ponto central. Estabeleceu-se o nível de 10% de significância, pois em delineamentos de seleção de fatores ou quando se trabalha com processos complexos é mais prudente se trabalhar com este nível. Com tal estratégia minimiza-se o risco de excluir da etapa seguinte algum fator importante para o processo (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Os dados obtidos, após a realização do planejamento DCCR 2³, foram analisados de maneira a calcular os efeitos principais e de interações das variáveis sobre as respostas, determinando-se quais os fatores significativos ($p < 0,1$) e ajustando-se um modelo de segunda ordem para correlacionar as variáveis e suas respostas. Os coeficientes significativos do modelo foram avaliados por meio do teste “t” (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), na qual foi possível verificar a validade estatística e a capacidade de predição dos modelos matemáticos obtidos para as respostas, pelo valor da relação entre F calculado /F tabelado. Quanto maior é o F calculado, em relação ao F tabelado, melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais. O valor F da falta de ajuste (média quadrática da falta de ajuste /média quadrática do erro puro) também foi comparado ao F tabelado (F_{FA} / F_{tab}) e, neste caso, quanto menor o valor, menor é a falta de ajuste do modelo matemático aos dados experimentais (CHRIST, 2006).

Por fim, utilizou-se a metodologia de otimização simultânea pelo método de Derringer e Suich. Este por sua vez está baseado na definição de uma função de desejabilidade para cada resposta, com valores restritos ao intervalo [0,1], sendo zero um valor inaceitável e um o valor mais desejável (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Pelo *software Statistica*, foi possível estabelecer valores para otimizar, simultaneamente, as três respostas principais avaliadas no processo: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e diferença de cor em relação ao controle.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização inicial do produto

Na Tabela 6 são apresentadas as características iniciais dos grãos não processados, considerados controle. O produto apresentou teor de água médio inicial de 12,28% e tempo de cozimento dos grãos igual a 19 minutos.

Tabela 6 Caracterização da qualidade dos grãos de feijão não processados (controle)

Análise	Valor médio*
Teor de água (%)	12,28 ± 0,350
Tempo de cozimento (minutos)	19 ± 0,577
Capacidade de absorção de água antes do cozimento (%)	95,72 ± 0,258
Luminosidade	49,15 ± 0,258
a*	8,20 ± 0,123
b*	14,36 ± 0,129
Cromaticidade	16,53 ± 0,055
Ângulo de coloração (°)	60,27 ± 0,581

Nota: * Média de triplicata para cada análise ± desvio padrão.

O tempo de cozimento de grãos é um importante parâmetro de qualidade que pode apresentar variações de acordo com a cultivar, ambiente e práticas no cultivo, condições e tempo de armazenamento (LEÃO; GUERRA; FREITAS, 1992; CARBONELL; CARVALHO; PEREIRA, 2003; ZAMINDAR *et al.*, 2011).

Cultivares que apresentam menores tempos de cozimento resultam para o consumidor em economia de energia e de tempo, gerando, assim, maior aceitabilidade do produto (BASSINELLO, 2008).

Carbonell, Carvalho e Pereira (2003) avaliaram a qualidade tecnológica de 19 cultivares de feijão em diferentes épocas de plantio, verificando valores médios para o tempo de cozimento logo após a secagem, variando entre 18,1 e 24,7 minutos. O valor encontrado neste trabalho, para a cultivar IAPAR 81, fica dentro deste intervalo.

Os grãos apresentaram capacidade de absorção de água antes do cozimento igual a 95,72%. Este parâmetro pode variar de acordo com o tempo e as condições de armazenamento e, também, com a cultivar avaliada, sendo uma importante característica de qualidade para os grãos de feijão. Grãos recém-colhidos apresentam maiores taxas de hidratação, ou seja, maior potencial de absorção de água quando comparados aos grãos

envelhecidos ou submetidos a condições inadequadas de armazenagem (PAREDES-LÓPEZ *et al.*, 1991). Zamindar *et al.* (2011) analisaram este parâmetro em oito variedades de feijão vermelho e observaram variações de 55,90 a 88,60%. Tecnicamente, os grãos que apresentam maiores taxas de absorção de água são melhores e mais recomendados para a utilização industrial.

Em relação aos parâmetros de cor, avaliados no feijão controle, observou-se para a luminosidade, parâmetro que pode variar entre 0 e 100, o valor de 49,15. Valores maiores de luminosidade indicam grãos com tonalidades mais claras e valores menores representam tegumento mais escurecido. A luminosidade é adotada também como uma informação importante no momento da classificação de lotes de feijão (RIBEIRO; STORCK; POERSCH, 2008). O armazenamento inadequado de grãos de feijão é um fator crítico que altera significativamente a luminosidade, ocorrendo diminuição ao longo do período e implicando em menor aceitação do produto (PAREDES-LÓPEZ *et al.*, 1991).

Os valores de a e b indicam a coloração em tons vermelho-verde e amarelo-azul. Como os grãos controle apresentaram valores positivos para ambos, a cor está localizada no primeiro quadrante e, visualmente, é percebida como um tom resultante da mistura das cores vermelho e amarelo.

O ângulo de coloração apresentou valores baixos e, portanto, representa para a amostra a cor marrom claro. O parâmetro cromaticidade indica a intensidade da cor da amostra que, neste caso, apresentou também valor baixo, ou seja, um tom de cor menos perceptível ao olho humano.

5.2 Resultados relativos ao planejamento Plackett & Burman

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados para os parâmetros: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle, analisados após a realização dos ensaios do planejamento Plackett & Burman 16.

Conforme as condições utilizadas no pré-processamento do feijão, para o tempo de cozimento dos grãos, verificou-se média geral de 11 minutos, com variação entre dois (ensaio 08) e 26 minutos (ensaio 12), ou seja, ocorreram resultados superiores e inferiores à média do grão controle.

Em relação ao percentual de alteração do tempo de cozimento (ATC), observou-se média geral de 44%, sendo que a condição do ensaio 08 implicou a redução de 89% e a condição do ensaio 12 implicou o acréscimo de 37%.

A porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento apresentou média de 9,87%, com variação de 6,31 a 18,18%, para os ensaios 02 e 05, respectivamente. Esses valores são considerados altos, haja vista que os grãos que apresentaram, após a

secagem, rachaduras no tegumento, desprendimento da casca e/ou bandinhas podem interferir no aspecto visual do produto, ocorrendo menor aceitabilidade pelo consumidor.

Tabela 7 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD) e diferença de cor (Δe) dos grãos processados em relação ao controle, para os ensaios realizados no planejamento Plackett & Burman 16

Ensaio	Tempo de cozimento*/ (ATC %)	PGD	Diferença de cor* (Δe)
01	20 (+5)	7,44	3,46
02	14 (-26)	6,31	3,35
03	5 (-74)	7,73	8,59
04	3 (-84)	11,46	12,10
05	6 (-68)	18,18	8,57
06	3 (-84)	8,98	14,49
07	16 (-16)	8,88	3,52
08	2 (-89)	10,85	12,52
09	11 (-42)	7,58	6,75
10	10 (-47)	11,10	7,80
11	7 (-63)	15,54	9,13
12	26 (+37)	7,77	3,43
13	8 (-58)	12,00	9,05
14	9 (-53)	12,72	6,74
15	17 (-11)	10,14	1,68
16	20 (+5)	6,82	3,04
17	8 (-58)	7,74	7,48
18	9 (-53)	9,00	7,76
19	9 (-53)	9,43	7,37
20	9 (-53)	7,65	7,73

Nota: * Médias de três repetições.

Para a diferença de cor (Δe) dos grãos processados, verificou-se média geral de 7,23, com variação mínima de 1,68 para o ensaio 15 e máxima de 14,49 para o ensaio 06. Esses resultados são perceptíveis na Figura 4 que apresenta o aspecto visual dos grãos de feijão carioca controle e pré-processados.

Nas condições de pré-processamento que resultaram em maiores diferenças de cor (ensaios 06, 08 e 04), verificou-se o escurecimento dos grãos. As condições dos ensaios 07, 12 e 16, resultaram em grãos com tonalidades mais claras, quando comparados ao controle (Figura 4).

Observou-se que, para as respostas avaliadas, os valores apresentados pelos ensaios no ponto central apresentaram pequenas variações (Tabela 7), indicando uma boa repetibilidade para o processo. Os coeficientes de variação para o tempo de cozimento,

PGD e Δe foram de 7,35, 10,55 e 2,51%, respectivamente, valores estes considerados baixos, de acordo com Gomes (1990).



Figura 4 Aspecto visual dos grãos dos grãos de feijão carioca, controle e pré-processados, após a realização dos 20 ensaios do planejamento Plackett & Burman 16.

5.2.1 Análise dos efeitos das condições de processo sobre o tempo de cozimento

A análise dos efeitos lineares das condições de pré-processamento sobre o tempo de cozimento foi realizada ao nível de 10% de significância. Na Tabela 8 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores, desvio padrão, teste t, p-value e intervalos de confiança. Observou-se que, para a variável resposta tempo de cozimento, ocorreram efeitos significativos de todos os fatores avaliados no processo, com exceção do fator temperatura da solução de maceração ($p > 0,10$).

Para melhor visualização dos resultados é apresentada, na Figura 5, a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão. Observa-se que os fatores tempo de maceração, concentração de NaCl e concentração de NaHCO_3 na maceração, tempo de branqueamento e concentração de NaHCO_3 no branqueamento contribuem para a redução do tempo de cozimento do feijão.

Os demais fatores do planejamento Plackett & Burman contribuíram para o aumento da resposta avaliada após o pré-processamento, ou seja, um efeito contrário ao objetivo do processo que é a redução no tempo de cozimento do produto final.

Tabela 8 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca pré-processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	10,60	0,112	94,81	0,000	10,33	10,86
Tempo de maceração	-1,13*	0,250	-4,50	0,020	-1,71	-0,54
Concentração de NaCl na maceração	-3,88*	0,250	-15,50	0,000	-4,46	-3,29
Concentração de NaHCO ₃ na maceração	-10,87*	0,250	-43,50	0,000	-11,46	-10,29
Temperatura da solução de maceração	0,13	0,250	0,50	0,651	-0,46	0,71
Temperatura de branqueamento	0,63*	0,250	2,50	0,088	-0,04	0,71
Tempo de branqueamento	-4,63*	0,250	-18,50	0,000	-5,21	-4,03
Concentração de NaCl no branqueamento	1,88*	0,250	7,50	0,005	1,29	2,46
Concentração de NaHCO ₃ no branqueamento	-2,63*	0,250	-10,50	0,002	-3,21	-2,04
Temperatura de secagem	3,63*	0,250	14,50	0,001	3,04	4,21

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

O fator tempo de maceração apresentou efeito negativo e significativo, porém não tão expressivo, pois a alteração de 4 para 16 horas implicou a diminuição de somente 1,1 min. no tempo de cozimento do feijão. No trabalho de Uрга *et al.* (2006), foi avaliado o tempo de cozimento de ervilhas, em diferentes períodos de maceração, utilizando soluções contendo um mix de sais (1,5% bicarbonato de sódio, 0,5% carbonato de sódio e 0,75% ácido cítrico, em condição de pH 7.0+0,05). Estes autores verificaram que, nas seis primeiras horas de maceração, não ocorreram alterações significativas no tempo de cozimento, porém, a partir de 12 horas ocorreu uma redução de 46% no tempo de cozimento do produto. O mesmo não ocorreu no presente trabalho, pois, quando o tempo de maceração foi alterado de quatro para 16 horas, observou-se redução de apenas 6% no tempo de cozimento do grão pré-processado, quando comparado ao controle.

Em relação à adição de cloreto de sódio na maceração dos grãos, esta apresentou efeito negativo no tempo de cozimento (Figura 5). Os resultados obtidos neste trabalho, em relação ao efeito dos sais, estão em concordância com os relatados em outras pesquisas. Vale *et al.* (2010) avaliaram a adição do NaCl na água de hidratação e observaram redução no tempo de cozimento do feijão de 28 para 21 minutos na concentração de 12% e de 37 para 26 minutos na concentração de 25%.

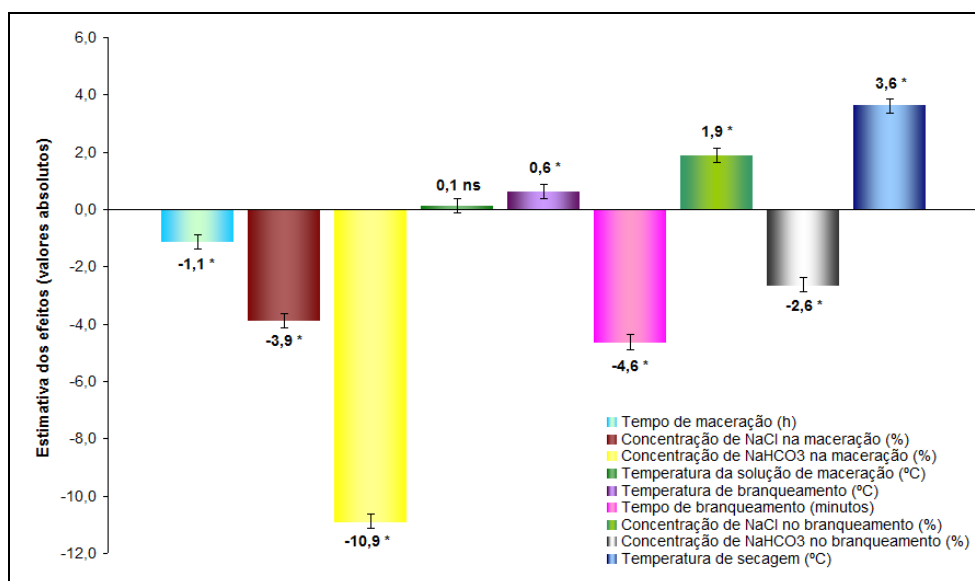


Figura 5 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre o tempo de cozimento do produto após o pré-processamento.

Notas: *: significativo ao nível de 10% de significância; ns: não significativo.

Bertoldo *et al.* (2010) também observaram este efeito para o mesmo sal na redução do tempo de cozimento de feijão envelhecido. Os autores verificaram que, para a cultivar Pérola, ocorreu diminuição no parâmetro com a adição do NaCl na solução de maceração (47,50 minutos na solução de 0 g.L⁻¹ para 31,50 para a solução de 50 g.L⁻¹). Porém, os autores sugerem que o limite para a concentração de cloreto de sódio deverá ser de 56,50 g.L⁻¹ ou 5,65% (índice próximo ao da concentração máxima investigada neste trabalho), pois, em valores superiores a este, o processo pode apresentar efeito de incremento no tempo de cozimento do feijão. Isso poderá ocorrer devido à redução do potencial osmótico da solução e a consequente diminuição na absorção de água pelo produto (VALE *et al.*, 2010).

A concentração de NaHCO₃ na solução de maceração foi o fator que apresentou o efeito mais expressivo, indicando que, com o aumento do nível deste fator, é possível obter menores tempos de cozimento para produto pré-processado.

Iyer *et al.* (1980) verificaram que a maceração do feijão em solução contendo um mistura de diferentes sais (2,5% de cloreto de sódio, 1,5% de bicarbonato de sódio, 1,5% de tripolifostato de sódio e 1% de carbonato de sódio) reduziu em 80 a 85% o tempo de cocção de três variedades de feijão avaliadas. No presente trabalho, a adição de 4,5% de bicarbonato de sódio na maceração dos grãos levou à redução de 43% do tempo de cozimento.

Paredes-López *et al.* (1991) relataram que a adição dos sais, cloreto de sódio e bicarbonato de sódio na maceração resultou em tempos de cozimento mais baixos em grãos

de feijão comum envelhecidos. Para a variedade Canário, observaram a redução de 149 para 73 minutos, após a maceração durante 12 horas na solução contendo ambos os sais (1% NaCl + 0,75% NaHCO₃), e de 149 para 57 minutos para o grão que foi pré-processado na solução contendo apenas o NaHCO₃ (0,75%).

A ação dos sais pode ser explicada remetendo-se aos constituintes do tegumento e do cotilédone do grão de feijão. Estes têm em sua formação, além de outras (hemicelulose, lignina, celulose, compostos polissacarídeo-proteína-polifenol), as substâncias pécticas, formadas por cálcio e magnésio (BASSINELLO, 2008). Quando se adicionam substâncias à solução de maceração ou de cozimento do feijão, como os sais utilizados neste trabalho, estas favorecem a dissolução dos pectatos de Ca e Mg, ocorrendo separação celular e amolecimento do produto (UZOGARA; MORTON; DANIEL, 1990; LEÃO; GUERRA; FREITAS, 1992). Uzogara, Morton e Daniel (1990) verificaram que o bicarbonato de sódio, quando utilizado no processamento do feijão, contribui para o aumento da solubilização da pectina e de minerais, como Ca e Mg, gerando um efeito direto na textura do grão. Porém, o cozimento pode ser dificultado quando os pectatos presentes na parede celular não se dissolvem facilmente, restringindo desta forma a separação das células e endurecendo o produto. Em grãos novos, a ação do alto conteúdo de ácido fítico impede as ligações com a pectina e facilita a dissolução da parede durante o cozimento (MATTSON *et al.*, 1950 *apud* PAREDES-LÓPEZ *et al.*, 1991).

De acordo com Rehman e Shah (2001), o cloreto de sódio e o bicarbonato de sódio são os sais usualmente utilizados nos processos de maceração (ou molho), antes do cozimento, com destaque para a solução alcalina, por sua capacidade de solubilizar algumas substâncias, como os compostos antinutricionais, melhorando indiretamente a digestibilidade das proteínas do feijão. Yasmin *et al.* (2008) avaliaram o processamento do feijão kidney por maceração em bicarbonato de sódio (0,07%) e verificaram a redução no conteúdo de taninos (25%) e de polifenóis totais (78,7%). Evidenciando-se a necessidade de avaliações destes componentes após o pré-processamento do feijão. Além disso, também são interessantes análises sensoriais após o pré-processamento com a adição destes sais, haja vista as alterações que podem ocorrer no sabor do produto após o cozimento.

Observou-se que os fatores que envolveram a etapa de maceração dos grãos de feijão apresentaram efeito negativo mais expressivo, em relação aos fatores que envolveram a etapa de branqueamento (Figura 5). Nesta, por sua vez, ocorreu efeito positivo da temperatura e da concentração de cloreto de sódio no branqueamento, ou seja, houve incremento no tempo de cozimento.

O fator temperatura de branqueamento apresentou efeito positivo no tempo de cozimento, isso significa que, quando se alterou a temperatura da solução de 70 para 90 °C, ocorreu incremento de 0,6 minutos (Figura 5).

No estudo de Aminigo e Metzger (2005), foram avaliadas diferentes condições de branqueamento e maceração no processamento do feijão africano (*Sphenostylis stenocarpa*). Os pesquisadores verificaram que com o aumento na temperatura de branqueamento ocorre diminuição da resistência à compressão apresentada pelos grãos, devido à alteração textural que pode ser diretamente relacionada com a redução no tempo de cozimento.

O fator tempo de branqueamento possibilitou redução no tempo de cozimento dos grãos. De acordo com Urga *et al.* (2006), o branqueamento em grãos de leguminosas apresenta um efeito significativo na taxa de absorção de água, devido às alterações que este processo causa na integridade do tegumento, como o rompimento do hilo (cicatriz no exterior da semente) que permite o acesso da água mais rapidamente. Pode-se inferir que, na faixa utilizada neste trabalho (30 a 180 segundos), o maior tempo de processo permitiu maior contato com a solução e alta taxa de hidratação, resultando em um produto com tempo de cozimento reduzido.

A concentração dos sais utilizados no processo de branqueamento apresentou efeitos contrários para a resposta tempo de cozimento, sendo para o cloreto de sódio negativo e para o bicarbonato de sódio positivo (Figura 5).

A temperatura de secagem apresentou efeito positivo na resposta avaliada, indicando que quando se altera a temperatura de 40 para 60 °C o tempo de cozimento do feijão aumenta em 3,6 minutos. Segundo Zhao e Chang (2008), a temperatura de 60 °C é aconselhável para a secagem de cereais desidratados (ervilhas, grão-de-bico e lentilhas), devido às melhores características de textura apresentadas pelo produto após o pré-processamento.

A etapa de secagem tem um papel importante no objetivo deste trabalho, sendo sua realização necessária para que o feijão pré-processado seja apresentado na forma seca. Além disso, a desidratação também permite prolongar a vida de prateleira do produto, devido à redução do conteúdo de umidade (CAI, CHANG; 1997).

Com relação ao único fator não significativo, a temperatura da solução de maceração, pode-se afirmar que na faixa entre 25 e 45 °C não ocorrem efeitos sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados. De acordo com Zimmermann *et al.* (2009), o aumento da temperatura da água, durante a maceração dos grãos de feijão, pode ser realizado visando acelerar a absorção e facilitando o cozimento do produto, devido ao amaciamento do grão. Nesse trabalho não se observou efeito significativo da temperatura dentro do intervalo avaliado.

Abu-Ghannam (1998), avaliando o processo de hidratação de grãos de feijão Kidney em diferentes temperaturas (20, 30, 40 e 60 °C), verificou que com o aumento da temperatura da solução de maceração ocorreram mudanças na cinética de hidratação e na

textura do grão, mensurada logo após o processo, ocorrendo amaciamento do produto e sendo este inversamente proporcional ao fator temperatura.

Zhao e Chang (2008) avaliando as condições de temperatura na maceração de ervilhas, grão-de-bico e lentilhas evidenciaram que os produtos perdem sua estrutura rígida mais rapidamente em condições de alta temperatura, quando comparadas a baixas. Porém, no caso do pré-processamento proposto, onde se tem o produto seco resultante de diversos processos combinados, não foram significativas as alterações da temperatura da solução de hidratação. Desta forma, é possível inferir que o pré-processamento dos grãos de feijão pode ser realizado em condição de maceração à temperatura ambiente, diminuindo-se custos, como o de aquecimento da solução, por exemplo.

5.2.2 Análise dos efeitos das condições de processo sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o pré-processamento do feijão carioca

A análise dos efeitos lineares das condições de pré-processamento sobre a porcentagem de grãos danificados em feijão carioca é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento do feijão

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	9,84	0,200	49,13	0,000	9,37	10,31
Tempo de maceração	- 3,47*	0,448	-7,75	0,004	-4,52	-2,42
Concentração de NaCl na maceração	0,44	0,448	0,97	0,403	-0,61	1,48
Concentração de NaHCO ₃ na maceração	3,64*	0,448	8,13	0,004	2,59	4,69
Temperatura da solução de maceração	1,76*	0,448	3,92	0,029	0,71	2,81
Temperatura de branqueamento	0,80	0,448	1,79	0,172	-0,25	1,85
Tempo de branqueamento	0,22	0,448	0,48	0,664	-0,83	1,26
Concentração de NaCl no branqueamento	- 1,31*	0,448	-2,92	0,061	-2,36	-0,26
Concentração de NaHCO ₃ no branqueamento	1,03*	0,448	2,29	0,106	-0,02	2,07
Temperatura de secagem	1,29*	0,448	2,87	0,064	0,24	2,33

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Observou-se para esta resposta que os fatores: tempo de maceração, concentração de NaHCO₃ na maceração, temperatura da solução de maceração, concentração de NaCl e de NaHCO₃ no branqueamento e a temperatura de secagem foram estatisticamente significativos ao nível adotado ($p < 0,10$) (Tabela 9).

Na Figura 6 apresenta-se a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão sobre a porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento. Observa-se que, a exceção do tempo de maceração e concentração de NaCl no branqueamento, os demais fatores avaliados no planejamento Plackett Burman contribuem para o aumento no nível de dano do produto pré-processado, com destaque para o fator concentração de NaHCO_3 que apresentou o maior efeito positivo, ou seja contribuiu para o aumento no dano após o processo, quando comparado aos demais.

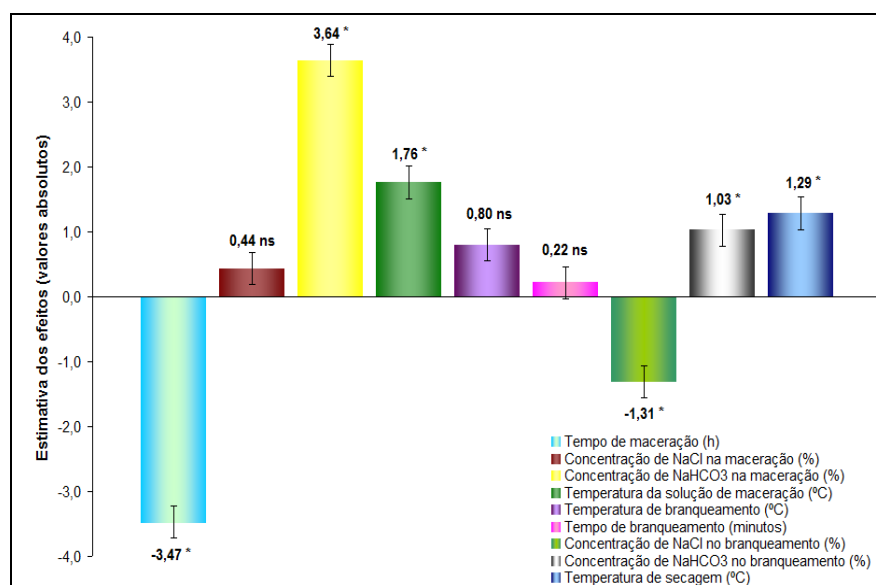


Figura 6 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o pré-processamento.

Nota: *: significativo ao nível de 10% de significância; ns: não significativo.

Verificou-se que alguns fatores que apresentaram o efeito de redução para o tempo de cozimento dos grãos e, portanto, interessante para o processo, como é o caso da concentração de bicarbonato de sódio na maceração. Para o índice de dano no produto os efeitos foram de acréscimo e, portanto, indesejáveis.

O tempo de maceração foi o fator que apresentou resultado mais expressivo, em relação à redução no índice de dano no produto. Quanto maiores os períodos de molho, menor é a porcentagem de grãos danificados, dentro da faixa estudada (4 a 16 horas). Estes resultados são opostos aos obtidos por Zhao e Chang (2008) que verificaram que o aumento do tempo de maceração de leguminosas secas (ervilhas verdes, grão-de-bico e lentilhas) implica acréscimo no número de grãos partidos e danificados. Para lentilhas, por exemplo, encontraram uma porcentagem de dano após 9 horas de maceração igual a 20,01% e de 26,06% após 18 horas.

Apesar de apresentar efeito positivo, a adição do cloreto de sódio na maceração não apresentou alteração significativa no nível de dano dos grãos de feijão pré-processados,

dentro do intervalo analisado (0 a 4,5%). A adição do sal NaHCO_3 na maceração foi o fator que apresentou o mais expressivo efeito para o aumento no índice de grãos danificados, ou seja, quando se altera a concentração de 0 para 4,5%, o nível de dano no produto aumenta em 3,64%.

A temperatura da solução de maceração também apresentou efeito significativo sob a resposta e evidenciou que, com o aumento do nível de 25 para 45 °C, ocorreu aumento no nível de dano no feijão. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Cai e Chang (1997) que verificaram maiores porcentagens de grãos de feijão danificados com o aumento da temperatura na maceração (8,0% em 22° C para 16,6% a 82 °C). Zhao e Chang (2008) observaram o mesmo efeito deste fator durante o processamento de leguminosas secas, utilizando a maceração.

A temperatura e o tempo de branqueamento aplicado aos grãos de feijão não apresentaram efeitos significativos, dentro das faixas avaliadas, no percentual de grãos danificados.

O fator concentração de NaCl, utilizado no processo de branqueamento dos grãos, possibilitou a diminuição da porcentagem de grãos danificados. Este resultado pode apresentar correlação com o efeito sob a resposta tempo de cozimento, em que este fator apresentou efeito positivo. O NaCl, quando empregado no branqueamento de feijão carioca, pode retardar o amolecimento do grão. O efeito contrário, porém, foi verificado na condição alcalina, quando se utilizou o NaHCO_3 . Alterando-se a concentração deste na solução de branqueamento (0 para 4,5%) ocorre aumento no número de defeitos apresentado pelo feijão processado.

A temperatura de secagem também afetou significativamente o índice de dano no produto pré-processado. A alteração de 40 para 60 °C implicou um aumento de 1,29% no número de grãos partidos e quebrados. Victoria *et al.* (2010), analisando o efeito da temperatura de secagem em grãos de arroz após o processo de parboilização, verificaram que em menores temperaturas ocorre redução na porcentagem de grãos danificados.

De acordo com Cai e Chang (1997), o processo de secagem, além de apresentar efeito direto na umidade final do feijão desidratado, influencia a quantidade de defeitos no produto. 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).

Pan *et al.* (2010) sugerem que o índice de dano, após as etapas que envolvem o pré-processamento de feijão desidratado (branqueamento, maceração, cozimento e secagem), pode estar relacionado também com a qualidade da matéria-prima utilizada. Os 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 sentido, além de reduzir o tempo de preparo do feijão, deve-se visar à redução do nível de dano causado pelo pré-processamento, para que se obtenha um produto de qualidade e maior aceitação pelos consumidores e diminuir as perdas econômicas para os fabricantes.

5.2.3 Análise dos efeitos para a diferença de cor dos grãos pré-processados (ΔE^*)

A análise dos efeitos principais dos fatores analisados sobre a diferença de cor dos grãos de feijão pré-processados, em relação ao controle, é apresentada na Tabela 10. Verificou-se que todos os fatores considerados no pré-processamento foram significativos, ao nível de significância adotado.

Tabela 10 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 16 para a resposta diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão carioca processados, em relação ao controle

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	7,23*	0,043	169,66	0,000	7,13	7,33
Tempo de maceração	1,90*	0,095	19,89	0,000	1,67	2,12
Concentração de NaCl na maceração	0,66*	0,095	6,88	0,006	0,43	0,88
Concentração de NaHCO ₃ na maceração	5,71*	0,095	59,91	0,000	5,48	5,93
Temperatura da solução de maceração	0,64*	0,095	6,72	0,007	0,41	0,86
Temperatura de branqueamento	1,43*	0,095	15,03	0,001	1,20	1,66
Tempo de branqueamento	2,11*	0,095	22,15	0,000	1,88	2,33
Concentração de NaCl no branqueamento	-1,52*	0,095	-15,96	0,001	-1,74	-1,29
Concentração de NaHCO ₃ no branqueamento	1,35*	0,095	14,12	0,001	1,12	1,60
Temperatura de secagem	-1,97*	0,095	-20,68	0,000	-2,19	-1,74

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Na Figura 7 apresentam-se as estimativas dos efeitos para a diferença de cor dos grãos de feijão pré-processados. Observa-se que, com exceção do fator concentração de NaCl no branqueamento e temperatura de secagem, os demais apresentaram efeito de acréscimo na resposta avaliada, ou seja, contribuem para o aumento da diferença de cor em relação aos grãos não processados.

O tempo de maceração contribui para o aumento da diferença de cor dos grãos pré-processados, assim como a concentração de NaCl e a temperatura da solução de maceração (Figura 7). Porém, os efeitos destes dois fatores não foram tão expressivos como o da concentração de NaHCO_3 , que apresentou efeito de acréscimo para esta resposta.

No estudo de Berrius *et al.* (2004), foi verificado que o aumento da concentração de NaHCO_3 utilizada também no processo de maceração de grãos de feijão preto, gerou diminuição da luminosidade e aumento no ângulo de coloração, ou seja, o produto apresentou tonalidades mais intensas. Isso também foi verificado neste trabalho, visto que, com o aumento da concentração deste sal, ocorreu escurecimento do tegumento. Aminigo e Metzger (2005), porém, verificaram que a adição de baixas concentrações de NaCl e NaHCO_3 na solução de maceração não altera a cor da farinha de feijão africano.

Iyer *et al.* (1980) avaliaram o processamento de diferentes variedades de feijão, utilizando a maceração dos grãos em soluções contendo NaCl (2,5%) e NaHCO_3 (1,5%), seguida de secagem. Os sais contribuíram para a diminuição da luminosidade e aumentaram a diferença de cor em relação ao controle, assim como neste trabalho.

Em relação aos fatores relativos à etapa de branqueamento dos grãos de feijão carioca, observou-se que, com o aumento da temperatura da solução e do tempo de imersão ocorreu efeito de acréscimo da diferença de cor, assim como a utilização do sal NaHCO_3 . O sal NaCl utilizado no branqueamento apresentou efeito contrário, ou seja, contribuiu para diminuir a diferença de coloração para o produto pré-processado.

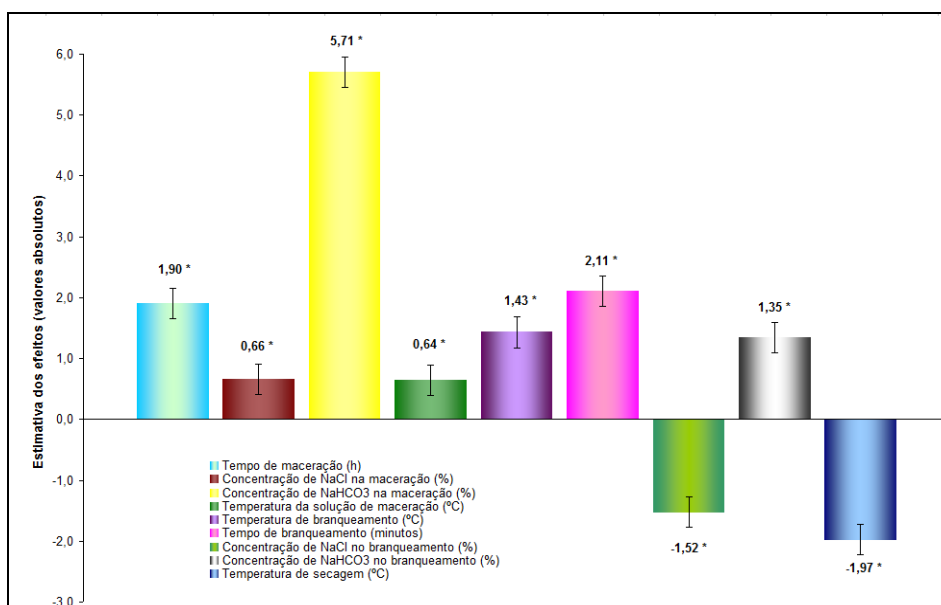


Figura 7 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a diferença de cor (Δe^*) dos grãos pré-processados em relação ao controle.

Nota: *: significativo ao nível de 10% de significância.

O fator temperatura de secagem apresentou efeito negativo, ou seja, com o aumento da temperatura de secagem de 40 para 60 °C, ocorreu diminuição da diferença de cor dos grãos. Isso pode ser explicado pelo fato de que, com o aumento na temperatura de secagem, ocorreu diminuição do tempo de contato dos grãos com o ar de secagem, desta forma ocorrem menos alterações nos parâmetros de cor do produto, após o processo. Faroni *et al.* (2006) avaliaram diferentes temperaturas (30, 40, 50 e 60 °C) no processo de secagem do feijão carioca, colhido com diferentes teores de água, porém não verificaram alterações na coloração dos grãos em função das condições de secagem.

As alterações de coloração no tegumento do grão podem ser explicadas, pela reação de escurecimento não enzimático, conhecida como reação de Maillard, que ocorre entre açúcares redutores e grupos proteicos, sendo necessário o calor como agente catalisador. Esta reação pode ser influenciada pelo binômio tempo/temperatura, ou seja, com o aumento na temperatura e/ou no tempo de aquecimento ocorre intensificação das alterações devido à maior velocidade da reação (UZOGARA; MORTON: DANIEL, 1990; BASSINELLO, 2008; VICTORIA *et al.*, 2010). A etapa de branqueamento propiciou condições para que esta reação ocorresse. Na etapa de secagem, o escurecimento também pode ser explicado pelo maior tempo de contato dos grãos com o ar de secagem e pelo fato de que em menores temperaturas de secagem ocorreram maiores diferenças em relação ao controle.

A cor dos alimentos é um parâmetro muito importante, juntamente com o sabor e a textura ela é muitas vezes percebida como um fator de qualidade valioso na aceitabilidade dos produtos pelo consumidor (BERRIOS *et al.*, 2004).

Com base nestes resultados foi definida a segunda etapa da pesquisa. Nesta, para o pré-processamento dos grãos de feijão carioca, utilizou-se apenas as condições que envolveram a etapa de maceração, devido à maior expressividade dos fatores desta na contribuição para a redução no tempo de cozimento, em relação à etapa de branqueamento.

Selecionou-se o fator tempo de maceração que, apesar de ter apresentado o efeito de acréscimo na diferença de cor dos grãos, contribuiu para a redução do tempo de cozimento e da porcentagem de grãos danificados. Também foi selecionado o fator concentração de bicarbonato de sódio na maceração, devido ao expressivo potencial de redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados, havendo a necessidade de se verificar em quais níveis de concentração podem ser obtidos menores efeitos nas demais respostas avaliadas.

Por fim, como o objetivo deste trabalho foi a obtenção de grãos pré-processados apresentados na forma seca, o fator temperatura de secagem também foi incluído no segundo planejamento, verificando melhores condições para esta etapa no processo.

5.3 Resultados relativos ao planejamento DCCR 2³

Na Tabela 11 são apresentados os resultados para os parâmetros tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados e diferença de cor dos grãos pré-processados em diferentes condições de maceração, definidas pelo planejamento delineamento composto central rotacional que avaliou os fatores: tempo (h), concentração de NaHCO₃ (%) e temperatura de secagem (°C).

O tempo de cozimento apresentou média geral igual a 11 minutos e foram observadas variações no tempo de cozimento de 5 a 21 minutos, para os ensaios 08 e 11, respectivamente. Na condição do ensaio 08, em que se utilizou a concentração de 4,0% de bicarbonato de sódio na maceração, quando comparada ao ensaio 11, em que a concentração foi igual a 0,0%, observa-se o efeito do sal na redução do tempo de cozimento dos grãos pré-processados (Tabela 11).

Tabela 11 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD) e da diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle - Δe^* (adimensional), para os ensaios realizados após o planejamento DCCR 2³

Ensaio	Tempo de cozimento* (ATC %)	Grãos Danificados %	Diferença de cor* (Δe)
01	13 (-32)	12,40	3,37
02	14 (-26)	9,55	3,38
03	9 (-53)	9,72	10,66
04	6 (-68)	9,32	10,15
05	13 (-32)	10,20	8,25
06	13 (-32)	8,91	5,44
07	9 (-53)	9,74	10,58
08	5 (-74)	13,18	10,01
09	12 (-37)	8,78	10,81
10	8 (-58)	9,62	9,51
11	21 (+11)	4,47	2,24
12	6 (-68)	4,91	14,02
13	6 (-68)	7,83	11,44
14	10 (-47)	10,98	8,42
15	10 (-47)	8,40	10,74
16	13 (-32)	7,01	14,54
17	13 (-32)	8,46	12,40
18	12 (-37)	7,02	12,05

Nota: * Médias de três repetições.

Os valores para a porcentagem de grãos danificados apresentaram média de 8,92%, com variação de 4,47 a 13,18; nas condições dos ensaios 11 e 08, respectivamente.

Para a diferença de cor, observou-se média de 9,33, com variação de 2,24 (ensaio 11) a 14,54 (ensaio 16). É possível verificar o efeito antagônico dos fatores avaliados no processo, pois nos ensaios que apresentaram reduções no tempo de cozimento superiores a 50% também ocorreu aumento no nível de dano e na diferença de cor em relação ao controle.

Na Figura 8 apresenta-se o aspecto visual dos grãos após o pré-processamento, possibilitando a visualização das diferenças entre as amostras submetidas aos tratamentos e o controle.



Figura 8 Aspecto visual dos grãos de feijão carioca controle e pré-processados, após a realização dos 18 ensaios do planejamento delineamento composto central rotacional (DCCR 2³).

Os coeficientes de variação para o tempo de cozimento, PGD e Δe foram de 11,79, 10,58 e 12,68%, respectivamente. Nesta etapa, o experimento também apresentou uma boa repetibilidade nas condições do ponto central.

5.3.1 Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca

Os resultados das análises dos efeitos das condições de pré-processamento, utilizando a maceração sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão, são apresentados na Tabela 12. Observam-se como significativos os termos lineares dos fatores tempo de maceração e concentração de NaHCO_3 , e o termo quadrático do fator temperatura de secagem ($p < 0,10$).

Tabela 12 Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2³ para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	12,00*	0,706	17,01	0,000	10,34	13,67
1) Tempo de maceração (L)	-1,86*	0,766	-2,43	0,009	-3,66	-0,06
Tempo de maceração (Q)	-1,48	0,796	-1,86	0,159	-3,36	0,389
2) Concentração de NaHCO ₃ (L)	-7,21*	0,766	-9,42	0,002	-9,01	-5,41
Concentração de NaHCO ₃ (Q)	0,99	0,796	1,24	0,300	-0,88	2,87
3) Temperatura de secagem (L)	0,69	0,765	0,90	0,433	-1,11	2,49
Temperatura de secagem (Q)	-2,90*	0,796	-3,64	0,035	-4,77	-1,03
Interação 1 x 2	-2,00	1,00	-2,00	0,139	-4,35	0,35
Interação 1 x 3	-0,50	1,00	-0,50	0,654	-2,85	1,85
Interação 2 x 3	0,00	1,00	0,00	1,000	-2,35	2,35

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

A Equação 6 descreve o tempo de cozimento (TC) em minutos dos grãos pré-processados, previsto pelo modelo em função do tempo de maceração (t), da concentração de NaHCO₃ (C) e da temperatura de secagem (T). Os parâmetros não significativos foram adicionados à falta de ajuste para análise de variância:

$$TC = 11,79 - 0,93t - 3,60C - 1,40T^2 \quad (6)$$

O modelo foi avaliado por meio da análise de variância apresentada na Tabela 13. Observa-se que o valor da medida de adequação do ajuste, o coeficiente de determinação (R²), este apresentou valor igual a 0,8329, portanto, havendo uma boa explicação da variação total dos resultados (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Tabela 13 Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F _c	F _{tab}	F _c /F _{tab}
Regressão	216,23	3	72,08	11,63	3,07	3,79
Resíduo	43,38	7	6,20	-	-	-
Falta de ajuste	37,38	5	7,48	2,49	9,29	0,27
Erro Puro	6,00	2	3,00	-	-	-
Total	259,61	10	-	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R² = 83,29%; F_c: valor calculado; F_{tab}: 10% de significância.

Para a regressão, o valor da relação entre F_c / F_{tab} foi igual a 3,79, portanto, sendo maior que 1, desta forma, o modelo para o tempo de cozimento dos grãos foi significativo. Para a falta de ajuste, o valor de F_c / F_{tab} foi igual a 0,27, portanto, sendo menor que 1, o que resulta em um modelo ajustado para este parâmetro (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Considerando que o modelo quadrático foi validado e ajustado aos dados experimentais, foi possível gerar a representação gráfica, superfície de resposta e curvas de contorno, que são apresentadas na Figura 9.

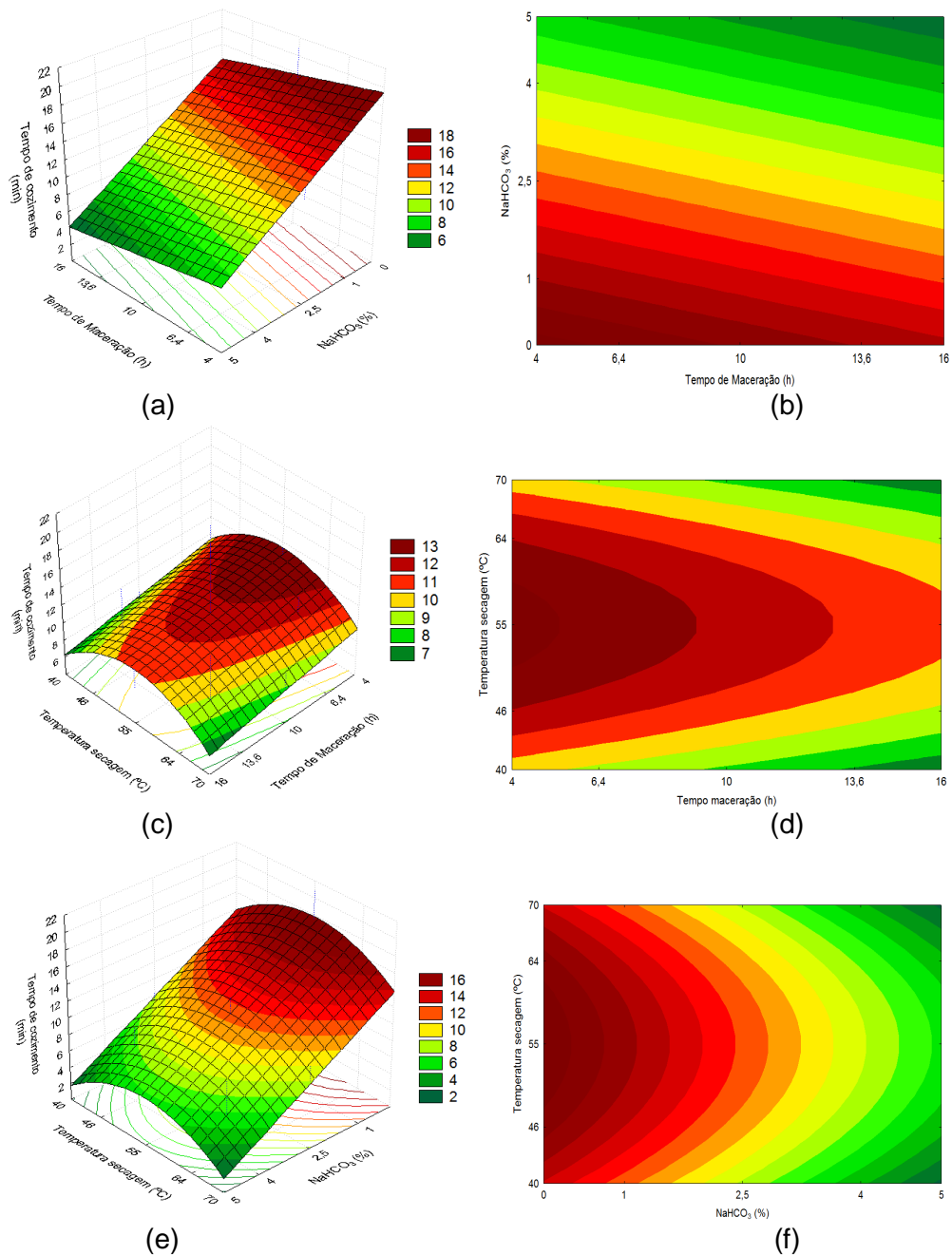


Figura 9 Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro tempo de cozimento (minutos), em função dos fatores tempo de maceração (h) e concentração de NaHCO_3 (a) e (b), da temperatura de secagem e tempo de maceração (c) e (d) e da temperatura de secagem e concentração de NaHCO_3 .

Na Figura 9 (a) e (b) observam-se os efeitos lineares do tempo de maceração e da concentração do NaHCO_3 utilizado no pré-processamento. Com o aumento no tempo de maceração e na concentração do sal é possível obter menores tempos de cozimento para o feijão. Em 9 (c) e (e) verifica-se o efeito quadrático da temperatura de secagem no processo. O fator contribui para menores tempos de cozimento do grão apenas nos níveis superiores ou inferiores avaliados (40 ou 70 °C).

A análise permite inferir que a maceração de feijão, visando reduzir o tempo de cozimento, deve ser realizada em condições de tempo superiores a 10 horas, com a concentração NaHCO_3 superior a 2,5% e a secagem realizada abaixo de 40 °C ou acima de 70 °C.

5.3.2 Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração sobre a porcentagem de grãos danificados de feijão carioca

Os resultados das análises dos efeitos das condições de pré-processamento, utilizando a maceração sobre a porcentagem de grãos danificados, são apresentados na Tabela 14. Para esta resposta foram significativos ($p < 0,10$) os termos quadrático dos fatores tempo de maceração e temperatura de secagem, e das interações tempo x concentração NaHCO_3 e concentração NaHCO_3 x temperatura de secagem.

Tabela 14 Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2³ para a resposta porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento do feijão carioca

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	7,59	0,408	18,61	0,000	6,63	8,55
1) Tempo de maceração (L)	0,05	0,443	0,10	0,924	-0,996	1,09
Tempo de maceração (Q)	2,18*	0,460	4,74	0,017	1,10	3,27
2) Concentração de NaHCO_3 (L)	0,24	0,443	0,54	0,625	-0,80	1,28
Concentração de NaHCO_3 (Q)	-1,01	0,460	-2,20	0,115	-2,10	0,07
3) Temperatura de secagem (L)	0,93	0,443	2,10	0,127	-0,11	1,97
Temperatura de secagem (Q)	2,33*	0,460	5,06	0,015	1,24	3,41
Interação 1 x 2	1,80*	0,578	3,11	0,053	0,43	3,15
Interação 1 x 3	1,35	0,578	2,34	0,102	-0,01	2,71
Interação 2 x 3	1,68*	0,578	2,91	0,062	0,32	3,04

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

A Equação (7) descreve a porcentagem de grãos danificados (PGD), após o pré-processamento do feijão em função do tempo de maceração (t), da concentração de NaHCO_3 (C) e da temperatura de secagem (T):

$$PGD = 7,05 + 1,20t^2 + 1,27T^2 + 0,90t_x C + 0,84C_x T \quad (7)$$

O modelo para a porcentagem de grãos danificados foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 15). Observou-se que para a medida de adequação do ajuste do modelo, o coeficiente de determinação (R^2), é igual a 0,556, considerado de baixa qualidade por não explicar 44,4% do processo. Porém, a regressão foi considerada significativa (relação entre F_c e F_{tab} igual a 1,67), sendo o modelo considerado ajustado.

Tabela 15 Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F_c	F_{tab}	F_c/F_{tab}
Regressão	46,33	4	11,58	4,07	2,43	1,67
Resíduo	37,00	13	2,85	-	-	-
Falta de ajuste	35,00	10	3,50	5,25	5,23	1,00
Erro Puro	2,00	3	0,67	-	-	-
Total	83,33	17	-	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação $R^2 = 55,59\%$; F_c : valor calculado; F_{tab} : 10% de significância.

Apresenta-se na Figura 10 a superfície de resposta para a porcentagem de grãos danificados, após o pré-processamento, no nível central do fator concentração de NaHCO_3 (fator que não apresentou efeito significativo).

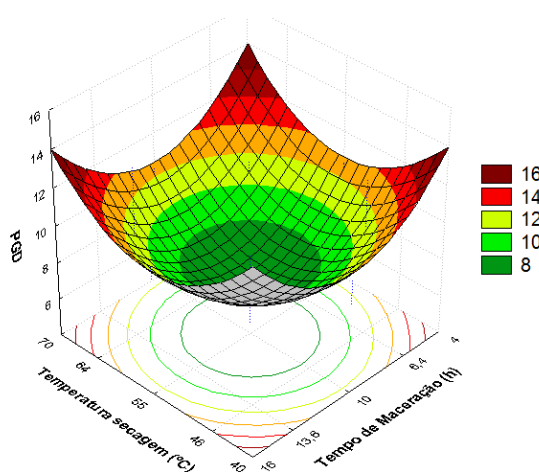


Figura 10 Superfície de resposta para o parâmetro porcentagem de grãos danificados após o processamento, em função dos fatores tempo de maceração e temperatura de secagem, no nível central (2,5%) do fator concentração de NaHCO_3 .

A superfície de resposta da porcentagem de grãos danificados (PGD) permite acompanhar o comportamento das variáveis significativas para a resposta (Figura 10). Verifica-se que a condição de processo que minimiza o dano no grão de feijão é dada por temperaturas de secagem e tempos de maceração próximos ao ponto central: 55 °C e 10 horas, respectivamente.

5.3.3 Efeito da condição de pré-processamento utilizando a maceração sobre a diferença de cor dos grãos dos grãos de feijão carioca (Δe^*)

Na Tabela 16 estão apresentados os resultados das análises dos efeitos das condições de pré-processamento dos grãos de feijão na resposta diferença de cor (Δe^*). Foram significativos, ao nível de 10%, os seguintes termos: quadrático do fator tempo de maceração, linear e quadrático do fator concentração NaHCO_3 e quadrático do fator temperatura de secagem.

Tabela 16 Efeitos lineares, quadráticos e das interações do planejamento DCCR 2³ para a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão carioca pré-processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro puro)	t (3)	p	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	12,50	0,787	15,89	0,000	10,66	14,36
1) Tempo de maceração (L)	-0,88	0,853	-1,04	0,374	-2,90	1,12
Tempo de maceração (Q)	-2,26*	0,888	-2,54	0,085	-4,35	-0,17
2) Concentração de NaHCO_3 (L)	5,97*	0,853	6,70	0,006	3,96	7,98
Concentração de NaHCO_3 (Q)	-3,70*	0,888	-4,16	0,025	-5,78	-1,61
3) Temperatura de secagem (L)	0,24	0,853	0,28	0,795	-1,77	2,25
Temperatura de secagem (Q)	-2,42*	0,888	-2,73	0,072	-4,51	-0,33
Interação 1 x 2	0,43	1,114	0,39	0,725	-2,20	3,05
Interação 1 x 3	-0,72	1,114	-0,64	0,564	-3,34	1,90
Interação 2 x 3	-1,79	1,114	-1,60	0,207	-4,41	0,83

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Na Equação (8) descreve-se a resposta diferença de cor dos grãos pré-processados, em relação ao controle (Δe^*), em função do tempo de maceração (t), da concentração de NaHCO_3 (C) e da temperatura de secagem (T):

$$\Delta e^* = 12,50 - 1,13t^2 + 2,99C - 1,85C^2 - 1,20T^2 \quad (8)$$

O modelo para a diferença de cor dos grãos (Δe^*) foi avaliado na análise de variância apresentada na Tabela 17. Observa-se que o valor da medida de adequação do ajuste foi igual a 0,8216. O modelo explica bem a variação total dos resultados (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

A regressão foi considerada significativa, devido ao fato da relação entre o valor de F_c e F_{tab} ter sido maior que um. Na análise da falta de ajuste, como a relação entre F_c e F_{tab} foi menor que um, o modelo foi considerado ajustado.

Tabela 17 Resumo da análise de variância para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos de feijão pré-processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F_c	F_{tab}	F_c/F_{tab}
Regressão	178,64	4	44,66	14,97	2,43	6,16
Resíduo	38,77	13	2,98	-		-
Falta de ajuste	31,32	10	3,13	1,26	5,23	0,24
Erro Puro	7,45	3	2,48	-	-	-
Total	217,41	17	-	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação $R^2 = 82,16\%$; F_c : valor calculado; F_{tab} : 10% de significância.

Com base na validação do modelo apresentado na Equação 8, apresenta-se na Figura 11 a superfície de resposta para a resposta diferença de cor em relação ao controle (Δe^*). A figura permite acompanhar o comportamento das variáveis significativas para a resposta. Com o aumento da concentração do sal bicarbonato de sódio na maceração ocorrem acréscimos no valor de Δe^* , em relação aos grãos não processados.

Verifica-se que a condição de processo que minimiza a diferença de cor dos grãos de feijão é dada por concentrações de NaHCO_3 inferiores a 1%, temperaturas de secagem inferiores a 46 °C ou superiores a 64 °C e tempo de maceração inferior a 6,4 ou superior a 13,6 horas.

5.4 Otimização do pré-processamento de grãos de feijão carioca

Com base nos resultados obtidos, após a realização do delineamento composto central rotacional (DCCR 2³), o pré-processamento dos grãos de feijão teve suas condições otimizadas pela metodologia estatística denominada desejabilidade.

As três respostas foram otimizadas simultaneamente, pelos valores desejáveis para cada uma delas. Como a redução do tempo de cozimento do grão pré-processado foi a resposta considerada de maior importância neste trabalho, o valor desejável foi igual a 1.

Para as respostas porcentagem de grãos danificados e diferença de cor, o valor desejável foi igual a 0,5.

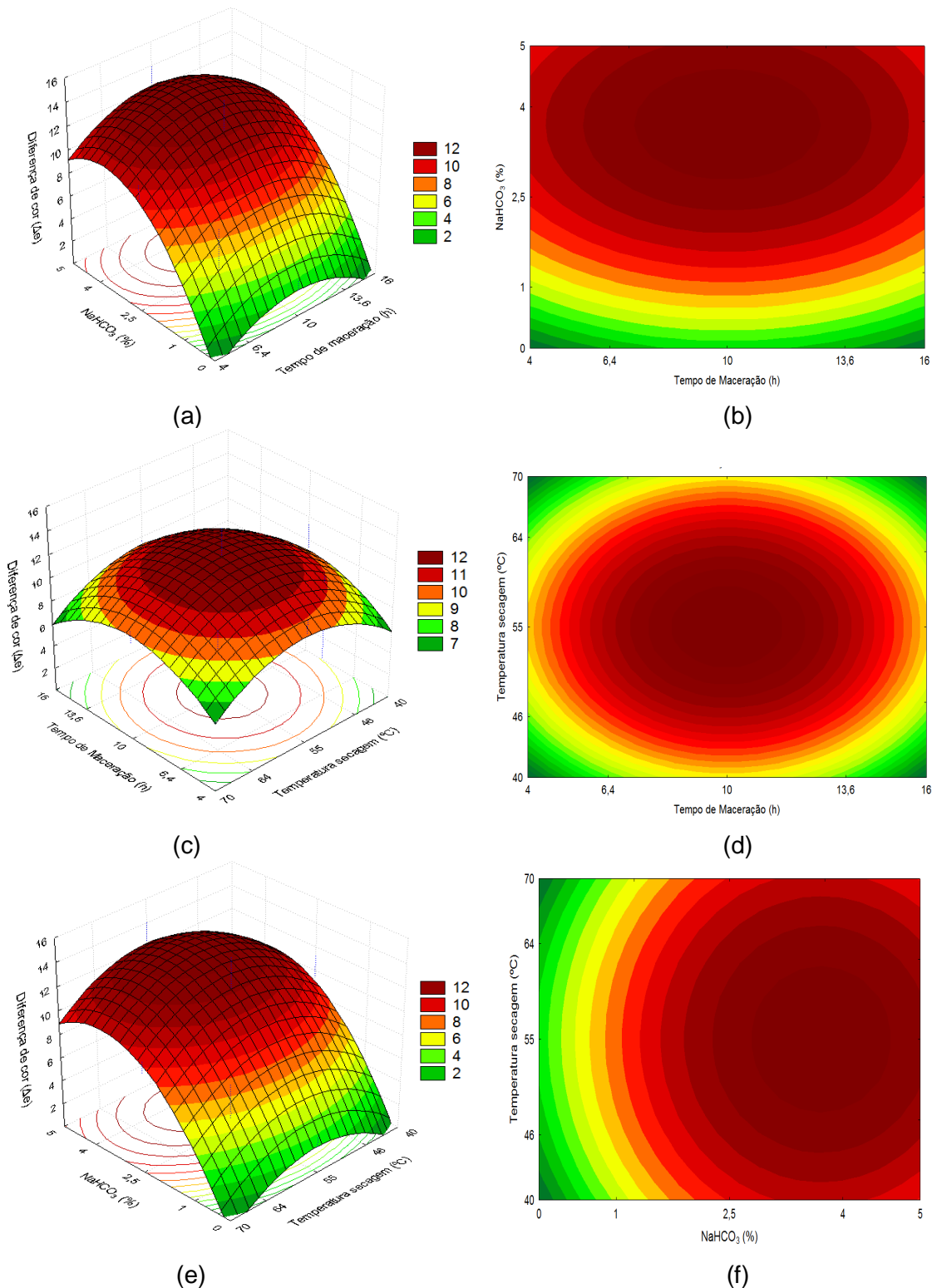


Figura 11 Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro diferença de cor (ΔE^*) dos grãos após o pré-processamento em função dos fatores tempo de maceração e concentração de NaHCO_3 (a) e (b), da temperatura de secagem e tempo de maceração (c) e (d) e da temperatura de secagem e concentração de NaHCO_3 .

Para estas duas respostas não foi escolhido o valor desejável superior a 0,5, devido ao fato de que valores superiores a este alterariam as condições do processo e aumentariam o tempo de cozimento de forma significativa.

Na Figura 12 são apresentadas as condições otimizadas para cada um dos fatores do processo e os valores previstos para as respostas. A desejabilidade global foi igual a 56,23%, o que significa dizer que, nas condições estabelecidas, foi alcançado 56,23% das respostas desejadas (CHRIST, 2006).

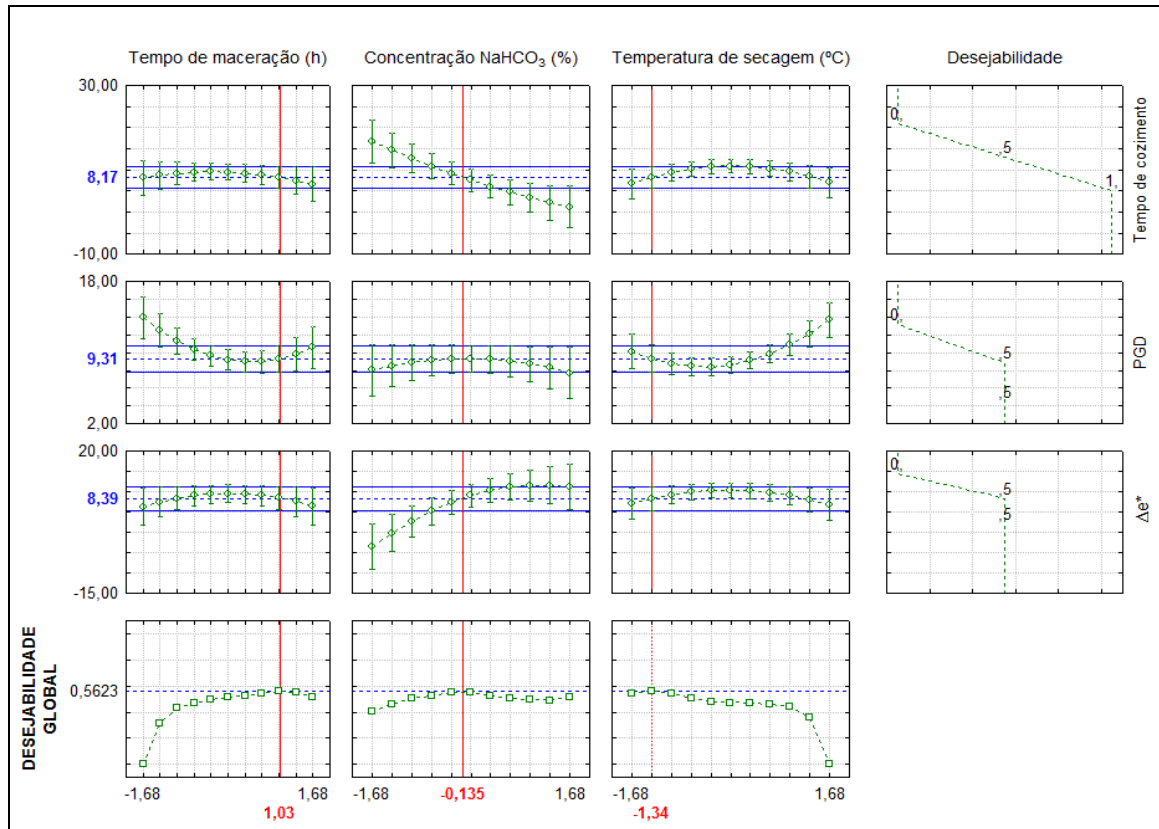


Figura 12 Análise de desejabilidade para o pré-processamento de feijão carioca em função dos fatores tempo de maceração, concentração de NaHCO₃ e temperatura.

Na Tabela 18 são apresentados os valores otimizados para as condições de processo. Têm-se as condições para os fatores que envolvem o pré-processamento dos grãos de feijão carioca: o tempo de maceração deverá ser de 13,7 horas, a solução de maceração deverá conter 2,3% de concentração de NaHCO₃ e a temperatura de secagem deve ser igual a 50 °C.

Tabela 18 Valores codificados e reais para os fatores do pré-processamento de grãos de feijão carioca resultantes da otimização global do processo

Fator	Valor codificado	Valor real
Tempo de maceração	1,03	13,1 horas
Concentração de NaHCO ₃	-0,14	2,3%
Temperatura de Secagem	-1,34	50 °C

As respostas para estas condições também estão apresentadas na Figura 12. Tem-se para o tempo de cozimento: 8,17 minutos; grãos danificados: 9,31%; diferença de cor em relação ao controle: 8,39. Porém, estes valores podem apresentar, nas condições de processo estabelecidas pela Tabela 18, uma variação de 47,77%, devido à desabilidade global não ter sido igual a 1 (100%).

6 CONCLUSÕES

O planejamento experimental Plackett & Burman 16 possibilitou avaliar, por meio de um número reduzido de ensaios, o efeito de nove fatores que constituíram o pré-processamento do feijão carioca com as técnicas de maceração e branqueamento dos grãos, seguido de secagem, sob as respostas consideradas importantes no desenvolvimento da tecnologia de feijão pré-processado.

Dentre os fatores avaliados, verificou-se que o aumento da concentração de bicarbonato de sódio, utilizado na maceração do feijão carioca, reduziu consideravelmente o tempo de cozimento, em contrapartida aumentou o nível de dano no produto e escureceu o tegumento do feijão, aumentando as diferenças de cor dos grãos pré-processados, em relação ao controle.

Os fatores que mais influenciaram o tempo de cozimento, o nível de dano no produto e a diferença de cor e definiram o pré-processamento final do feijão foram: o tempo de maceração, a concentração de bicarbonato de sódio na maceração e a temperatura de secagem dos grãos.

A técnica de desejabilidade permitiu a avaliação simultânea das respostas e as condições ótimas para o processo foram definidas como: tempo de maceração igual a 13,1 horas, concentração de bicarbonato de sódio igual a 2,3% e temperatura de secagem igual a 55 °C.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não foi possível, durante a condução deste trabalho, realizar a etapa de validação das condições otimizadas, confirmando experimentalmente os resultados obtidos na análise da superfície de resposta. Sugere-se então que sejam efetuadas as condições experimentais ótimas e os dados comparados com os preditos pelo modelo.

Para o produto ótimo devem ser avaliadas também outras características importantes tanto para o consumidor quanto para o processo. São interessantes as avaliações da qualidade sensorial do feijão reidratado e cozido, verificando-se os atributos de sabor, cor e odor e avaliando-se o índice de aceitabilidade do produto.

Também são necessárias as avaliações nutricionais, verificando a ocorrência de alteração no conteúdo nutricional, digestibilidade, amido, qualidade protéica e vitaminas nos grãos após o pré-processamento.

A qualidade microbiológica do produto deverá também ser verificada, além de se estabelecerem as melhores condições de embalagem e armazenagem para o feijão pré-processado.

Os resultados apresentados nesta pesquisa podem oferecer informações para pesquisas futuras onde o processo utilizado considere a variação de cultivares de feijão, juntamente com locais e ambientes de cultivo diferentes, assim como grãos armazenados por diferentes períodos.

REFERÊNCIAS

- ABU-GHANNAM, N. Interpretation of the force deformation curves of soaked red Kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, Manchester, v. 33, p. 509-515, 1998.
- ABU-GHANNAM, N.; MCKENNA, B. The application of Peleg's equation to model water absorption during the soaking of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 32, n. 4, p. 391-401, 1997.
- ALONSO-SALCES, R. M.; GUYOT, S.; HERRERO, C.; BERRUETA, L. A.; DRILLEAU, J. F.; GALLO, B.; VICENTE, F. Chemometric classification of Basque and French ciders based on their total polyphenol contents and CIELab parameters. **Food Chemistry**, Daves, v. 91, n. 1, p. 91-98, 2005.
- AMINIGO, E. R.; METZGER, L. E. Pretreatment of African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa*): effect of soaking and blanching on the quality of african yam bean seed. **Plant Foods for Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 60, n. 1, p. 165-171, 2005.
- ANTON, A. A.; LUKOW, O. M.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Shelf stability and sensory properties of flour tortillas fortified with Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: effects of hydrocolloid addition. **LWT- Food Science and Technology**, Zurique, v. 42, n. 1, p. 23-29, 2009.
- ANTON, A. A.; ROSS, K. A.; LUKOW, O. F.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. **Food Chemistry**, Daves, v. 109, n. 1, p. 33-41, 2008a.
- ANTON, A. A.; ROSS, K. A.; TRUST, B.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Effect of pre-dehulling treatments on some nutritional and physical properties of navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **LWT- Food Science and Technology**, Zurique, v. 41, n. 1, p. 771-778, 2008b.
- ARMELIN, J. M.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PIEDADE, S. M. S.; MACHADO, F. M. V. F.; SPOTO, M. H. F. Avaliação física do feijão irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 498-502, jul./set., 2007.
- BALANDRÁN-QUINTANA, R. R.; CANÓVAS, G. V. B.; MORALES, J. J. Z.; MORALES, A. A.; RAMOS, A. Q. Functional and Nutricional Properties od extruded whole Pinto bean meal (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, Malden, v. 63, n. 1, p. 113-116, 1998.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: BOOKMAN COMPANHIA, 2010.
- 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.
- BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, M. G.; OLIVEIRA, L. L. R.; SOARES, D. M.; PELOSO, M. J.; SILVA C. C.; THUNG, M. Decoada e outros químicos para reduzir o tempo de cocção e seus efeitos na qualidade culinária de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. V. 2, p. 691-694.

BERRIOS, J. J.; WOOD, D. F.; WHITELAND, L.; PAN, J. Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans. **Journal of Food Processing and Preservation**, Maryland, v. 28, n. 1, p. 321–335, 2004.

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.

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; FREITAS, S. T. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 911-915, 2002.

BRAGANTINI, A. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Documentos/ Embrapa Arroz e Feijão. ISSN 1678-9644. (Documentos 187). 2005. 28 p. Disponível em: http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos/doc_187. Acesso em: 20 jun. 2007.

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. 2009.

BRESSANI, R. Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Foods for Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 32, n. 1, p. 101-110, 1983.

BURATTO, J. S.; CIRINO, V. M.; SCHOLZ, M. B. S.; LANGAME, D. E. M.; FONSECA JUNIOR, N. S.; PRÉTE, C. E. C. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 593-597, out./dez. 2009.

CAI, T. D.; CHANG, K. C. Processing to improve quality of dehydrated precooked pinto beans. **Journal of Food Science**, Malden, v. 62, n. 1, p. 141-144, 1997.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando o *Statística***. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003, 260 p.

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.

CHRIST, D. **Secagem de clara de ovo em leite de jorro fluidizado bidimensional**. 2006. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2006.

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 novembro 2008/2009. Brasília 2008. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2graos_08.09.pdf. Acesso em: 03 mar. 2011a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira janeiro 2009/2010. Brasília 2010. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3graos_09.12.pdf. Acesso em: 03 mar. 2011b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira janeiro 2010/2011. Brasília 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_02_09_17_04_07_boletim_fevereiro-11..pdf. Acesso em: 03 mar. 2011c.

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

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**, Londrina, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; DESTRO, D. Adaptability and phenotypic stability in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 4, p. 525-534, 2002.

COSTA, L. M; KORN, M. G. A.; CASTRO, J. T.; SANTOS, W. P. C.; CARVALHO, E. V.; NOGUEIRA, A. R. A. Planejamento fatorial aplicado à digestão de amostras de feijão assistida por radiação microondas. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 149-152, 2006.

DEL PINO, V. M. H.; LAJOLO, M. F. Efecto inhibitorio de los taninos del frijol carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la digestibilidad de la faseolina por dos sistemas multienzimáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 49-53, 2003.

DIAS, M. C. MARQUES, W. M.; BORGES, S. V.; MANCINI, M. C. Efeito da secagem em leito de jorro bidimensional sobre as propriedades físicas e tecnológicas do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Origem e história do feijão**. 2003. Disponível em: <http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/importancia.htm>. Acesso em: 14 mai. 2010.

FARONI, L. R. A.; CORDEIRO, I. C.; ALENCAR E. R.; ROZADO A. F.; ALVES, W. M. Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 148-154, 2006.

FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAF, 2002. 47 p. (Documentos, 135).

FONSECA, H. CANTARELLI, P. R. Princípios e métodos gerais de conservação de alimentos. Conservação pelo controle de umidade, por preservativos e por radiações: embalagens. In: CAMARGO, R.; FONSECA, H. **Tecnologia dos Produtos Agropecuários: alimentos** São Paulo: Nobel, 1984. p. 97-112.

FONSECA, H. Princípios e métodos gerais de conservação de alimentos. Conservação pelo calor e pelo frio. In: CAMARGO, R.; FONSECA, H. **Tecnologia dos Produtos Agropecuários: alimentos**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 73-95.

GERMER, S. O.; QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BERBARI, S. A.; ANJOS, V. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 161-169, 2011.

GIESE, J. Color measurements in foods as a quality parameter. **Food Technology**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 62-65; 2000.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1990.

GOWEN. A; ABU-GHANNAM, N; FRIAS, J; OLIVEIRA, J. The effect of blanching pre-treatment on water intake and texture kinetics. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 78, p. 810-819, 2007.

GRANATTO, D.; MASSON, M. L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, out./dez., 2010.

HANDPRINT. **Modern color models**. Disponível em: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html#CIELAB>>. Acesso em: 06 jun. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo agropecuário**. 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. p. 1-267.

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. 2010. Disponível em: http://www.ibge.com.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1788&id_pagina=1, Acesso em: 14 out. 2011.

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

KHATUN, M. M.; SULTANA, N. ; RAHMAN, M. H.; ASHADUSJMAN, M. Effect of blanching time on nutritional quality of bush bean at different pod age stages. **Journal Soil Nature**, Bangladesh, v. 1, n. 1, p. 15-21, 2007.

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.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 167-173, 2008.

MALDONADO, S.; SAMMÁN, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. **Archivos Latinoamericanos Nutrición**, Caracas, v. 50, n. 2, p. 195-199, 2000.

MARTIN-CABREJAS, M. A.; ADRIA, B. S.; MOLLÁ, S.; ESTEBAN, R.; LÓPEZ-ANDRÉU, F. J. Effect of fermentation and autoclaving on dietary fiber fractions and antinutritional factors of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Colombus, v. 52, n. 20, p. 261-266, 2004.

MASKUS, H. **Pulse Processing, Functionality and Application**. 2010. Disponível em: www.pulsecanada.com/media/2010-pulse-processing-functionality.pdf. Acesso em: 14 out. 2011.

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, jan./mar., 2005.

MEDEIROS, U. K. L. **Estudo da secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp) – Análise experimental do processo combinado leito fixo/leito de jorro**. 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2004.

MENEGEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Effect of extrusion parameters on color and pasting properties of peruvian carrot flour (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 270-276, abr./jun., 2006.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; LONDERO, P. M. G. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1912-1918, 2008.

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.

PAREDES-LÓPEZ, O. CÁRABEZ-TREJO, A. PALMA-TIRADO, L. REYES-MORENO, C. Influence of harding procedure and soaking on cooking of common beans. **Plants Foods for Human Nutrition**. Dordrecht, v. 41, n. 1, p. 155-164, 1991.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, C. V.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 2, p. 157-162, abr./jun. 2005.

PLACKETT, R. L.; BURMAN, J. P. The design of optimum multifactorial experiments. **Biometrika**, Ann Arbor, v. 33, n. 4, p. 305-325, 1946.

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.

RAMOS JR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

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**, Norwich, v. 73, n. 3, p. 351-355, 2001.

REHMAN, Z.; SHAH, W. H. Tannin contents and protein digestibility of black grams (*Vigna mungo*) after soaking and cooking **Plants Foods for Human Nutrition**. Dordrecht, v. 54, n. 1, p. 265-273, 2001.

RESENDE, O. **Variações das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e armazenamento.** 2006. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

REYES-MORENO, C.; PAREDES-LÓPEZ, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans - a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Abingdon, v. 33, n. 3, p. 227-286, 1993.

RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E; POERSCH, N. L.; MALLMANN, C. A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 10, p. 1393-1399. 2007.

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.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P. ; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*. L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, suple., p. 39-45, 2003.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI-FILHO, A; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2. ed. Campinas: Casa do Pão, 2009. 325 p.

SCHLINDWEIN, M. M.; KASSOUF, A. L. Análise da influência de alguns fatores socioeconômicos e demográficos no consumo domiciliar de carnes no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 549-572, 2006.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. L. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 591-598, out./dez. 2009.

SILVA, A.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 147-152, 2011.

SILVA, G. F. O.; MELO, P. G. S.; MELO, L. C.; BASSINELLO, P. Z.; PELOSO, M. J. D.; FARIA, L. C. Efficiency of methods for conducting segregating populations in the breeding of common beans for protein quality. **Brazilian Society and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 149-154, 2008.

SILVA, R. G.; CALDAS, I. J. G.; ARAÚJO, A. L. S.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUZA, C. H. C.; SILVA, D. E. Adubação com micronutrientes na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão comum. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 1, n. 1, p. 41-49, 2007.

SILVA, W. A.; PEREIRA, J.; CARVALHO, W. P.; FERRUA, F. Q. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 154-163, jan. /fev., 2007.

STATSOFT, Inc. **Statistica for Windows** (Data analysis software system), versão 7.1. Tulsa: Statsoft, 2005.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 355-360, abr.-jun., 2008.

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. 2011.

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 unguiculata*) processed with kanwa alkaline salt. **Plant Foods for Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 40, n. 1, p. 249-258, 1990.

VALE, N. M.; BARILI, D. L.; ROCHA, F.; PREZZI, H. A.; ALMEIDA, C. B.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Adição de sal na água de hidratação reduz o tempo de cozimento em feijão comum ao longo do tempo de armazenamento. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 4, p. 617-623, out./dez, 2010.

VARGAS-TORRES, A.; OSORIO-DIAZ, P.; AGAMA-ACEVEDO, E. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Interciencia**, Caracas, v. 31, n. 12, p. 881-884, 2006.

VICTORIA, F. N.; LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GULARTE, M. A. Análise sensorial de arroz parboilizado obtido por dois métodos de secagem: a quente e a frio. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 13, p. 214-218, 2010.

WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. **Consumo de feijão**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_62_1311200215103.html. Acesso em: 12 jun. 2010.

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

YOKOYAMA, L. P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, T. Aspectos socioeconômicos da cultura. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 2-4.

YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da produção. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 75 p.

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.

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. 48, n. 1, p. 1-7, 2011.

ZHANG, M. CHEN, D. Effects of low temperature soaking on color and texture of green eggplants. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 74, n. 1, p. 54-59, 2006.

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.

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, jul./set. 2009.