



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

Flávia Abonizio Vaini

**Efeito das condições de hidratação e esterilização nas
propriedades de textura do feijão Carioca e da soja submetidos
ao processamento térmico em embalagens flexíveis esterilizáveis**

São José do Rio Preto – SP
2016

Flávia Abonizio Vaini

Efeito das condições de hidratação e esterilização nas propriedades de textura do feijão Carioca e da soja submetidos ao processamento térmico em embalagens flexíveis esterilizáveis

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos- Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Roger Darros Barbosa

**São José do Rio Preto
2016**

Vaini, Flávia Abonizio

Efeito das condições de hidratação e esterilização nas propriedades de textura do feijão Carioca e da soja submetidos ao processamento térmico em embalagens flexíveis esterilizáveis/
Flávia Abonizio Vaini. -- São José do Rio Preto, 2016.
113 f. : il., tabs.

Orientador: Roger Darros Barbosa

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Análise térmica. 3. Feijão. 4. Soja.
5. Cloreto de cálcio. 6. Alimentos – Textura. I. Darros-Barbosa, Roger.
II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto
de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 664:536.6

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
Campus de São José do Rio Preto – UNESP

Flávia Abonizio Vaini

**Efeito das condições de hidratação e esterilização nas
propriedades de textura do feijão Carioca e da soja submetidos
ao processamento térmico em embalagens flexíveis esterilizáveis**

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Roger Darros Barbosa
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti Telis
UNESP – São José do Rio Preto

Prof^a. Dr^a. Maria Isabel Berto
ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos

São José do Rio Preto
2015

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças e persistência para concluir o curso de mestrado, que me acompanhou nos momentos difíceis, protegendo-me nas rodovias enquanto estive a maior parte do tempo sozinha.

Agradeço imensamente ao professor Roger pela orientação, pela atenção, pelo carinho e por me ajudar a desenvolver e finalizar este projeto com muita disponibilidade, otimismo, sempre soube entender as minhas dificuldades e juntos encontramos a melhor maneira de conduzir o projeto.

Às professoras Ana Carolina Conti e Silva e Natália Soares Janzantti por disponibilizar usar vossos laboratórios.

Aos meus pais José Artur e Sônia, por todo amor, apoio e dedicação, mesmo diante das dificuldades, para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Ao meu namorado Rodrigo Gava que soube entender os momentos de estudo, dando seu carinho e amizade, sempre me ajudando e me lembrando de que tudo daria certo.

À coordenadora da área de Pesquisa e Desenvolvimento da JBS S/A Karina Carneiro, por autorizar a realização dos experimentos no período de trabalho, por me apoiar na realização do mestrado, por sua amizade e compreensão, também ao gerente da área Marcos Roque e a todos da equipe que torceram por mim: Denise, Tatiane, Daniel, Mônica, Kleber e Herrera.

À JBS S/A – Matadouro Frigorífico e Fábrica de Conservas de Lins - SP, por permitir utilizar as instalações de planta industrial de flexíveis e laboratórios de análises.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Vânia Regina Nicoletti Telis, Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Berto e Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho pela disponibilidade e atenção com o trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do IBILCE/UNESP, por esta experiência enriquecedora tanto acadêmica como humana.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação do Laboratório de Análise Sensorial e Análise de Alimentos do IBILCE/UNESP pela atenção e amizade, também a técnica Alana por boa vontade em ajudar.

RESUMO

As refeições prontas para o consumo tendem a ocupar uma grande fatia do mercado com alimentos termicamente processados e relativamente estáveis a temperatura ambiente, desde que o processo preserve as características naturais de sabor, nutrientes, e que os produtos ofereçam qualidade, variação, custo competitivo e segurança alimentar. Dentre os produtos destacam-se os vegetais acondicionados em embalagem hermética e submetidos ao tratamento térmico em esterilização comercial. O presente estudo propôs investigar as propriedades de textura das leguminosas feijão Carioca e soja submetidas a diferentes condições de hidratação com diferentes dosagens (0 a 0,8%) de cloreto de cálcio, acondicionadas em embalagens herméticas flexíveis autoclaváveis e submetidas a diferentes tratamentos térmicos. A intensidade do tratamento térmico foi determinada em função do histórico tempo e temperatura medido diretamente durante o processamento térmico aplicado aos produtos, empregando-se valores de $F_{121,1^{\circ}\text{C}}$ de esterilização na faixa de 4 a 18 minutos, para garantir um alimento seguro do ponto de vista microbiológico. Foi utilizado o delineamento composto central rotacional, com o valor de esterilização F_0 e a dosagem de cloreto de cálcio como variáveis independentes, em cinco níveis, e como resposta a medida de textura instrumental, expressos por ensaios de punção, cisalhamento e de compressão. Para obter as condições ótimas para o processamento desses vegetais, foi utilizada a técnica de superfície de resposta. Os resultados obtidos para os parâmetros de textura foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA), correlacionando com a concentração de cloreto de cálcio e intensidade do tratamento térmico. De acordo com os resultados, as variações na concentração de cloreto de cálcio impactam mais na textura do que as variações do tratamento térmico (F_0). Conclui-se que o cloreto de cálcio contribui para a uniformidade da textura dos grãos. A textura expressa com base no trabalho de compressão e extrusão representou melhor os efeitos dos tratamentos considerando ajuste ao modelo estatístico proposto e maior uniformidade dos resultados. Foram obtidas as superfícies de resposta e equações dos efeitos dos tratamentos sobre as respostas de textura em termos de módulo de Young, força máxima e trabalho de compressão e extrusão para o feijão Carioca e soja.

Palavras-chave: feijão, soja, tratamento térmico, cloreto de cálcio, textura.

ABSTRACT

Ready to eat meals include a large market share with thermally processed foods and relatively stable at room temperature, once the applied process is intended to preserve the sensory characteristics and nutrients, and meant to offer quality, menu variation, competitive cost and food safety. Among these products are the vegetables packed in retortable pouches subjected to heat treatment for commercial sterilization. The present study aimed to investigate the texture properties of Carioca bean and soybean submitted under hydration conditions with different dosages (0 to 0.8%) of calcium chloride, packaged in hermetic flexible retortable pouches subjected to different heat treatments. The intensity of the heat treatment was determined by the history of time and temperature measured directly during thermal processing applied to the products, using $F_{121.1^{\circ}\text{C}}$ sterilization values in the range of 4 to 18 minutes, also ensuring microbiologically safe products (*Cl. Botulinum*). A central composite rotational design (CCRD) was used with the sterilization value F_0 and the dosage of calcium chloride as independent variables in five levels, and as response the measurement of instrumental texture parameters, expressed by puncture, shearing and compression tests. The response surface methodology was used to test for the optimal conditions for processing of the vegetables in terms of hydration and thermal process. The results obtained for the texture parameters were analyzed by analysis of variance (ANOVA), correlating to the concentration of calcium chloride and the intensity of heat treatment. According to the results, the concentration of calcium chloride had greater impact on texture than the heat treatment expressed as F_0 . It has also been concluded that calcium chloride contributes to the uniformity of the grain texture after processing. The texture expressed on the basis of the work of compression and extrusion revealed to better represent the effects of the treatments, considering the adjusted statistical model and uniformity of the results. It was obtained the response surface and equations of the effects of treatments on the texture in terms of Young's modulus, maximum force and work of compression and extrusion for Carioca beans and soybeans.

Key-words: beans, soybeans, heat treatment, calcium chloride, texture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática do grão de feijão Carioca	24
Figura 2: Representação esquemática do grão de soja	25
Figura 3: Representações gráficas dos valores D (a) e z (b)	29
Figura 4: Estrutura das camadas da embalagem flexível autoclavável do tipo “stand-up”	32
Figura 5: Procedimento para hidratação dos grãos: grãos secos (a); pesagem (b); grãos hidratados (c).....	39
Figura 6: Pesagem do produto na embalagem flexível aluminizada	40
Figura 7: Posição do sensor termopar no centro da embalagem	41
Figura 8: Autoclave horizontal tipo ducha	42
Figura 9: Autoclave e instrumentos para a coleta de dados da penetração e calor	42
Figura 10: Posicionamento das embalagens com produto e termopares na bandeja da autoclave	43
Figura 11: Ponta de Prova Cilíndrica P/5	45
Figura 12: Curva força versus deformação para o ensaio de punção	47
Figura 13: Ponta de prova de corte Warner-Bratzler (HDP/WBV).....	48
Figura 14: Curva força versus deformação para o ensaio de cisalhamento.....	49
Figura 15: Célula de Ottawa com a placa de extrusão (A/OTC/TBC).	50
Figura 16: Curva força versus deformação para o ensaio de compressão e extrusão.....	51
Figura 17: Penetração de calor para o feijão Carioca para os tratamentos: (a) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=4; (b) [CaCl ₂]=0,12 e Fo=6; (c) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=11; (d) [CaCl ₂]=0,80 e Fo=11; (e) [CaCl ₂]=0,12 e Fo=16; (f) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=18.....	57
Figura 18: Penetração de calor para a soja para os tratamentos: (a) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=4; (b) [CaCl ₂]=0,12 e Fo=6; (c) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=11; (d) [CaCl ₂]=0,80 e Fo=11; (e) [CaCl ₂]=0,12 e Fo=16; (f) [CaCl ₂]=0,40 e Fo=18	58
Figura 19: Curvas de força versus deformação para o feijão para os ensaios de punção dos diferentes tratamentos de [CaCl ₂] e valor F _o	61

Figura 20: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de punção dos diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e valor F_0	61
Figura 21: Superfície de Resposta para prever o módulo de elasticidade para feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e F_0 ...	67
Figura 22: Superfície de Resposta para prever o módulo de Young para a soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0	70
Figura 23: Curvas força versus deformação para o feijão para os ensaios de cisalhamento para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0	71
Figura 24: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de cisalhamento para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0	72
Figura 25: Superfície de Resposta para prever a força máxima de cisalhamento para o feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0	77
Figura 26: Superfície de Resposta para prever a força máxima de cisalhamento da soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0	80
Figura 27: Curvas força versus deformação para o feijão para os ensaios de compressão e extrusão para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0	82
Figura 28: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de compressão e extrusão para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0	83
Figura 29: Superfície de Resposta para prever o trabalho de extrusão e compressão para o feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0	88
Figura 30: Superfície de Resposta para prever o trabalho de extrusão e compressão da soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proporção de água e grãos hidratados.	40
Tabela 2: Faixa de valores das variáveis independentes.....	52
Tabela 3: Valores utilizados no DCCR para as variáveis independentes.....	52
Tabela 4: Matriz do delineamento experimental proposto DCCR.....	53
Tabela 5: Parâmetros físico-químicos dos produtos processados e dos grãos <i>in natura</i> de feijão e soja	54
Tabela 6: Valores de letalidade acumulada (F_0) obtida para cada tratamento	59
Tabela 7: Resultados do Módulo de Young (E) calculado para os ensaios de punção para o feijão, 20 repetições.....	62
Tabela 8: Resultados do Módulo de Young (E) calculado para os ensaios de punção para soja, 20 repetições.....	63
Tabela 9: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção)	66
Tabela 10: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) considerando somente os efeitos significativos	66
Tabela 11: Resultado da análise de variância para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) da soja	68
Tabela 12: Resultado da análise de variância para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) da soja, considerando somente os efeitos significativos.....	69
Tabela 13: Resultados de textura dos ensaios de punção (módulo de Young E) para os grãos em conserva comerciais	70
Tabela 14: Resultados de força máxima de cisalhamento para o feijão, expressa em termos de menor valor, maior valor, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.....	73
Tabela 15: Resultados de força máxima de cisalhamento para a soja, expressa em termos de menor valor, maior valor, média \pm desvio padrão e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.....	74
Tabela 16: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento	76

Tabela 17: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento considerando somente os efeitos significativos	76
Tabela 18: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento da soja.....	78
Tabela 19: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento da soja considerando somente os efeitos significativos.....	79
Tabela 20: Resultados de textura dos ensaios de cisalhamento (força máxima) para os grãos em conserva comerciais	81
Tabela 21: Resultados calculados do trabalho de compressão e extrusão para o feijão, expressos em termos de menor valor, maior valor, média e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.....	84
Tabela 22: Resultados calculados do trabalho de compressão e extrusão para a soja, expressos em termos de menor valor, maior valor, média e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.....	85
Tabela 23: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão.....	86
Tabela 24: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão considerando somente os efeitos significativos	87
Tabela 25: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão.....	89
Tabela 26: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão da soja considerando somente efeitos significativos	89
Tabela 27: Resultados de textura dos ensaios de compressão e extrusão (trabalho) para os grãos em conserva comerciais.....	91

SIMBOLOGIA

ΔL	Varição do comprimento causado pela aplicação da força
F	Força (N)
F_o	Valor de esterilização (minutos)
l	Comprimento original
L	Taxa Letal
P	Pressão (Pa)
t	Tempo (s) ou (minutos)
T	Temperatura (°C)
D_T	Tempo de redução decimal à temperatura T (min)
z	Valor z (°C)
A_o	Área original da ponta de prova
β	Parâmetro de ajuste do modelo estatístico
C	Concentração de cloreto de cálcio
E	Módulo de elasticidade ou módulo de Young
$F_{m\acute{a}x}$	Força máxima
W	Trabalho de extrusão e compressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Importância Econômica, Produção e Comercialização do Feijão e Soja	19
3.1.1 Feijão	19
3.1.2 Soja.....	21
3.2. Identidade e Qualidade das Leguminosas	22
3.2.1 Feijão	22
3.2.2 Soja.....	24
3.3 Efeitos da Hidratação e Sais de Cálcio no Pré-processamento.....	26
3.4 Processamento Térmico de Alimentos Embalados Hermeticamente.....	27
3.5 Aspectos Relacionados à Embalagem Hermética	30
3.6 Textura de Alimentos	33
3.6.1 Conceitos Básicos de Textura Instrumental.....	34
3.6.2 Efeitos do Processamento sobre a Textura de Alimentos	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 Matéria-Prima.....	38
4.2 Caracterização Físico-química da Matéria Prima e dos Produtos.....	38
4.3 Processamento dos Grãos.....	39
4.3.1 Hidratação	39
4.3.2 Envase.....	40
4.4 Processamento Térmico	41
4.4.1 Análise dos dados de penetração de calor	43
4.5 Análise Instrumental de Textura.....	44
4.5.1 Ensaio de punção	45

4.5.2 Ensaio de cisalhamento.....	47
4.5.3 Ensaio de compressão e extrusão.....	49
4.6 Delineamento Experimental.....	52
4.7 Análise Estatística dos Dados.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 Características Físico-Químicas da Matéria-prima e dos Produtos.....	54
5.2 Resultados de Penetração de Calor no Processamento Térmico das Leguminosas.....	55
5.3 Resultados da Avaliação de Textura.....	60
5.3.1 Resultados dos ensaios de punção.....	60
5.3.2 Resultados para os ensaios de cisalhamento.....	71
5.3.3 Resultados dos ensaios de compressão e extrusão.....	81
6. CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS.....	94
Apêndice 1- Curvas de Penetração de Calor.....	101
Apêndice 2- Curvas Força versus Deformação.....	109

1. INTRODUÇÃO

Alterações econômicas e sociais têm diferenciado o perfil da família tradicional e têm impulsionado e aprimorado o segmento de serviços de alimentação como restaurantes *self service*, *fast foods* e cozinhas industriais. Dentro da cozinha brasileira destacam-se os grãos, como o feijão Carioca e a soja, principalmente em razão das quantidades apreciáveis de proteína que estes contêm. Podem ser consumidos como grãos cozidos com caldo, grãos cozidos em salada ou como ingredientes em pratos diversos. No setor de serviços de alimentação, a fim de facilitar o manuseio e reduzir custos, há preferência em se utilizar a categoria de grãos prontos para o consumo, acondicionados em embalagens herméticas submetidas a tratamento térmico, tornando-as comercialmente estéreis.

A esterilização de alimentos é realizada em temperaturas acima de 120°C visando à redução significativa de micro-organismos deterioradores além da eliminação dos patogênicos. Durante o tratamento térmico, componentes benéficos como as vitaminas, nutrientes e compostos flavorizantes também podem ser destruídos. Entretanto, a destruição de micro-organismos é mais dependente da temperatura do que a destruição de componentes benéficos (OPHIR et al., 2004). O desenvolvimento de produtos e a necessidade de controle da qualidade requerem produtos com propriedades específicas e que sejam capazes de resistir às condições adversas do processamento (ANVISA, 2014).

O Feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é fonte rica em nutrientes e provê quantidades significativas de proteínas, calorias, ácidos graxos e fibra alimentar, sendo considerado dentro a família das leguminosas, a principal fonte proteica consumida pela população brasileira (RODRIGUEZ et al., 2005). Segundo Oliveira da Silva et al (2006), o feijão é a leguminosa mais consumida na dieta humana, tanto no Brasil como em outros países da América do Sul. Como é rico em fibras solúveis, o feijão tem sido comprovadamente responsável por reduzir os níveis de colesterol e de açúcar no sangue em seres humanos, auxiliando também na prevenção do câncer de cólon (ANVISA, 2014).

A soja (*Glycine Max L.*), em nível mundial, representa a leguminosa mais produzida e consumida entre os grãos, sendo considerada de grande importância para o consumo animal, principalmente pelo farelo derivado da soja, quanto para

o consumo humano, principalmente pelo óleo, extrato proteico solúvel, e outros derivados, como proteína texturizada, concentrada ou isolada, ou ainda para consumo como grão integral (ABIOVE, 2014). A soja representa mais da metade do total de grãos de leguminosas produzidos no mundo e, nos últimos 30 anos, tornou-se a principal fonte de proteína vegetal em virtude do seu valor nutritivo (OLIVEIRA et al., 2005). A soja pode ser considerada um alimento completo, pois tem em sua composição proteínas (42%), carboidratos (33%), lipídios (20%), e minerais (5%), além de vitaminas A, B₁, B₂, C e K (MAGNONI, 2002).

As embalagens flexíveis são aquelas obtidas pelo uso de materiais flexíveis tais como papéis, celofane, plásticos e folhas metálicas. Dentre outros requisitos utilizados no processamento de alimentos considerados “comercialmente estéreis”, as embalagens devem manter-se herméticas. Os laminados normalmente utilizados para embalagens esterilizáveis têm se mostrado resistentes à penetração de micro-organismos, a menos que algum tipo de fratura ocorra na estrutura laminada. A embalagem flexível esterilizável apresenta várias vantagens além da redução do consumo de energia, a redução de espaços devido à reduzida espessura de corte transversal quando comparado com a lata, constituindo-se em parâmetro importante no processo de tomada de decisões no campo logístico. Devido ao menor tempo requerido para o tratamento térmico, tem-se comprovado a melhor qualidade de alimentos acondicionados em embalagens flexíveis esterilizáveis (ROJA JUNIOR, 2008). Essa vantagem importante das embalagens flexíveis consiste na maior relação entre área (de troca térmica) e volume do produto em relação às latas cilíndricas e aos potes de vidro, proporcionando vantagens do ponto de vista do consumo energético e da qualidade do produto obtido.

A textura é considerada uma característica importante na qualidade de conservas de feijão, de soja e também de muitos produtos alimentícios, sendo um fator essencial na percepção de qualidade dos consumidores (TROUNG et al., 1997). A percepção sensorial da textura depende da deformação pela aplicação de força ou das propriedades superficiais percebidas pelo tato. A textura é basicamente uma propriedade física, embora sua percepção possa ser afetada por fatores químicos, por exemplo, a adição de cloreto de cálcio na salmoura de conservas vegetais, a qual reduz a capacidade de absorção de água por parte de coloides, da mesma forma quando este coadjuvante de processo é adicionado na

hidratação, proporcionando mais firmeza e textura ao vegetal (LIMA; SIQUEIRA, 2008).

A textura do feijão e da soja em conserva é fortemente influenciada pelo tratamento térmico e também está relacionada com a estrutura e composição do grão (REVILLA; VIVAR-QUINTANA, 2008). Os métodos instrumentais de análise de textura permitem a avaliação das propriedades mecânicas a partir de forças aplicadas ao alimento tais como compressão, cisalhamento, corte e tensão. A análise de textura instrumental pela aplicação de forças deformantes simula a ação de compressão e corte que ocorrem durante a mastigação. Os resultados obtidos nas avaliações de textura instrumentais são objetivos e podem ser correlacionados à percepção humana, permitindo a compreensão do significado dessas características na avaliação da qualidade sensorial do alimento. Por outro lado, a análise sensorial por provadores ou consumidores é considerada mais subjetiva (LI et al., 1998).

O presente trabalho propõe avaliar diferentes condições do processamento térmico e da hidratação aplicados na produção de conservas vegetais de feijão e soja, acondicionados em embalagens flexíveis herméticas e esterilizáveis.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consistiu em determinar o efeito nas propriedades de textura para diferentes aplicações de diferentes concentrações de cloreto de cálcio, na etapa de hidratação e salmoura das leguminosas feijão Carioca e soja, acondicionadas em embalagens flexíveis esterilizáveis e submetidas a diferentes intensidades de tratamentos térmico.

A intensidade do tratamento térmico foi determinada em função do histórico de temperatura do processamento térmico, aplicado nos produtos e nos valores de esterilização calculados para garantir um alimento seguro do ponto de vista microbiológico.

Os objetivos específicos incluíram avaliar as duas leguminosas, submetidas a diferentes condições de hidratação com cloreto de cálcio, e após o envase em embalagem flexível, submetida a diferentes tratamentos térmicos em autoclave, por análise instrumental de textura, visando obter as condições ótimas para o processamento térmico desses vegetais com o uso da técnica de superfície de resposta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância Econômica, Produção e Comercialização do Feijão e Soja

Os cereais e as leguminosas estão na base da alimentação de diversos povos por terem sido os primeiros vegetais domesticados quando do advento da grande revolução econômica com o início da agricultura (KOBELITZ, 2014).

3.1.1 Feijão

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), a população brasileira combina a tradicional dieta à base de arroz e feijão com alimentos com poucos nutrientes e muitas calorias. O feijão é considerado um excelente alimento, muito rico nutricionalmente, pois fornece nutrientes essenciais ao ser humano, como proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras. Esta leguminosa apresenta ampla adaptação edafoclimática, o que permite seu cultivo durante todo o ano, em quase todas as unidades da federação brasileira, nas diferentes épocas e safras, facilitando ampla comercialização nacional (SALVADOR, 2010).

O feijão é uma leguminosa tipicamente americana. Acredita-se que apresenta dois centros de dispersão original na região entre México e Guatemala e Peru. Dados recentes mostram que sua domesticação aconteceu entre 10.000 e 7.000 anos atrás e que se difundiu pelos outros continentes com grande adaptabilidade, especialmente após o século XVI. Atualmente são conhecidas mais de 14.000 diferentes cultivares do feijão-comum e cada região apresenta preferência por alguns tipos, em virtude da cor do tegumento. Assim, no Brasil são consumidos, sobretudo o feijão-preto e o feijão Carioca (KOBELITZ, 2014).

O consumo per capita de feijão no Brasil é de aproximadamente 15 kg/ano, sexto maior consumidor mundial. Em 2007, esse consumo demandou 3,4 milhões de toneladas, quantidade ligeiramente superior à produzida no mesmo ano no país (3,2 milhões de toneladas). Esse descompasso acontece regularmente e é contornado pela importação de feijão, sobretudo da Argentina (cerca de 100.000 toneladas/ano). Nos últimos anos houve uma redução de mais de 300.000 ha da

área plantada com feijão no país, embora a produção total tenha sido mantida em virtude de ganhos importantes na produtividade, pela introdução de variedades mais produtivas como o feijão-carioca e pelo aumento da produção irrigada na terceira safra (safra de inverno). Os principais estados produtores são o Paraná, com cerca de 770.000 toneladas/ano, aproximadamente 25% da produção nacional, e, Minas Gerais, com 481.000 toneladas ano, 15% da produção nacional, seguidos por Bahia, São Paulo, Goiás e Santa Catarina (EMBRAPA, 2012).

O Brasil é o principal produtor mundial de feijão, seguido por Índia, China, Mianmar e México. Tradicionalmente a produção de feijão é consumida em seu local de origem, havendo pouco comércio internacional do produto. No entanto nos últimos anos vem aumentando a quantidade comercializada pelos principais países exportadores: China, EUA, Mianmar, Canadá e Argentina. Os maiores importadores de feijão são Índia, EUA, Cuba, Japão e Reino Unido. O Brasil foi um importante importador de feijão na década de 1990, mas atualmente ocupa apenas o sexto lugar entre os importadores (KOBLOITZ, 2014).

Há três épocas indicadas para o plantio de feijão: nas águas, na seca e no inverno. O feijão das águas é plantado em setembro, outubro ou novembro. O feijão da seca é semeado em janeiro, fevereiro ou início de março, enquanto o feijão de inverno, plantado em maio, junho ou início de julho, apresenta a desvantagem de a lavoura ter que ser irrigada (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006).

A qualidade do grão de feijão é um parâmetro de grande importância durante a colheita e armazenamento, estando relacionada com o valor nutricional e a aceitabilidade pelo consumidor. A qualidade nutricional está relacionada com o perfil de aminoácidos e o grau de digestibilidade, além de ser influenciada pela quantidade e qualidade de outras proteínas consumidas (NIELSEN, 1991). Condições controladas de armazenamento são essenciais para a preservação da qualidade do grão, entre as quais a umidade do grão, umidade relativa do ar e temperatura de armazenamento são os parâmetros mais críticos (ANTUNES; SGARBIERI, 1979). Assim, feijão armazenado em condições não apropriadas torna-se endurecido e resistente ao cozimento devido principalmente a dois fatores, o endurecimento da casca ("*hardshell*"), a qual se torna impermeável à água, e o defeito denominado "difícil de cozinhar" ("*hard-to-cook*", HTC), no qual

os grãos são capazes de absorver água, mas os cotilédones não amaciam durante o cozimento, mesmo quando estão completamente hidratados (GARCIA; LAJOLO, 1994; BRESSANI, 1983).

Azevedo (1994) avaliou a influência da umidade (7, 10 e 13%) e tempo de armazenagem (0, 2, 4 e 6 meses), com e sem aeração, de feijão Carioca, avaliando a textura por meio de penetrômetro de Mattson, aparelho que consiste em hastes pontiagudas que penetram nos grãos. Após 6 meses a deformação nos grãos variou entre 6 e 9 mm. A qualidade de textura dos grãos de feijão cozidos foi melhor preservada quando armazenados com níveis de umidade de 7 ou 10%, independentemente da aeração.

3.1.2 Soja

A soja (*Glicine max L.*) tem a sua origem na Ásia, especificamente na China. É uma planta autógama, isto é, apresenta dois órgãos reprodutores (autofecundação). Por causa dessa definição, a probabilidade de o meio ambiente interferir nos cruzamentos entre as plantas é mínima (2%). O total da área plantada com soja no mundo é 74 milhões de hectares (CARVALHO, 2014). Em nível mundial, representa o papel de principal leguminosa produzida e consumida. Tal fato se justifica pela importância do produto tanto para o consumo animal, pelo farelo da soja, quanto para o consumo humano, pelo óleo e grão cozido (SILVA; LIMA; BATISTA, 2013).

Acredita-se que a domesticação da soja tenha ocorrido na porção leste do norte da China, por volta do século XI a.C, e que seu melhoramento genético (seleção) tenha se iniciado muito cedo na China antiga. Segundo dados do Centro Nacional de Pesquisa em Soja (citado por KOBELITZ, 2014), o plantio da soja ficou confinado ao território chinês até o fim da Guerra entre China e Japão em 1895, embora amostras da planta tenham sido levadas como curiosidade para a Europa em anos anteriores, sendo preservadas em jardins botânicos. No entanto, outros autores (CÂMARA et al., 1982) afirmam que o cultivo da soja se difundiu para Coréia e Japão entre o ano 200 a.C e o século II d.C. A ascensão da soja no Brasil ocorreu na década de 1920, mas apenas após, a segunda Grande Guerra é que o país se tornou o principal produtor mundial. Foi primeiro produzida em

escala comercial, na década de 1960, nos estados da Região Sul, vinte anos depois com variedades adaptadas ao cerrado, possibilitou a expansão da área plantada com grande produção e produtividade. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, sendo responsável por aproximadamente 31% da produção de soja do mundo. O estado brasileiro com a maior produção é o Mato Grosso, tendo sido responsável, na safra 2013/14, por 27,2% da produção total nacional (KOBBLITZ, 2014).

Nos últimos anos o crescimento das exportações de grãos de soja foi expressivo, sendo que a taxa anual média de crescimento das exportações foi de 14,82%. A taxa de crescimento para o óleo e o farelo derivados da soja foi de 8,6% e 3,16%, respectivamente. O grande aumento do volume de exportações de grãos se deu a partir do 1996, quando a China entrou no mercado como principal comprador da soja brasileira (EMBRAPA, 2012).

3.2. Identidade e Qualidade das Leguminosas

A parede celular de diferentes leguminosas revela uma estrutura rica em pectina, e outros carboidratos. Nos cotilédones da parede celular de leguminosas existe grande quantidade de substâncias pécticas e hemicelulose, já o tegumento é composto principalmente de celulose, em proporção que depende do tipo de leguminosa. A parede celular é composta por dinâmicas estruturas complexas de polissacarídeos que influenciam a qualidade da textura. A despolimerização desses polissacarídeos durante a cocção causa o amolecimento dos tecidos (SHIGA et al, 2003)

3.2.1 Feijão

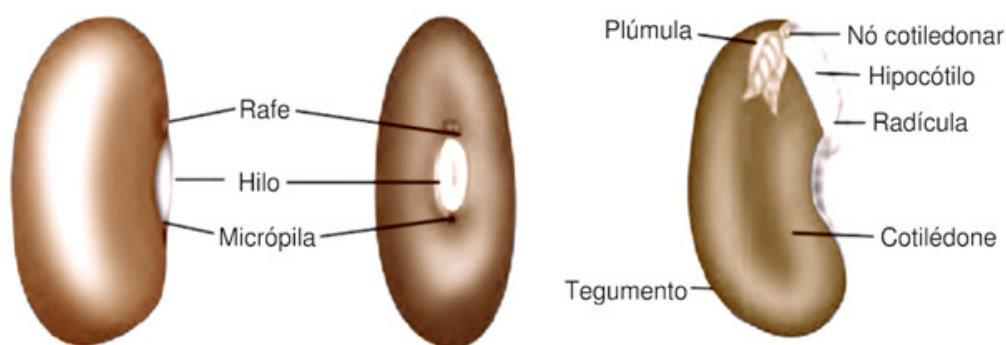
O gênero *Phaseolus* compreende todas as espécies conhecidas como feijão, sendo a espécie *Phaseolus vulgaris* L. a mais conhecida e a que possui inúmeras variedades tais como Carioca, Roxo, Mulatinho, Preto, entre outras (PIRES et al., 2005). O feijão do tipo Carioca é aceito em praticamente todo o território brasileiro (EMBRAPA, 2012).

O teor proteico do feijão pode chegar a 28% com valor energético de 341 kcal/100 g (PONPEU, 1987). No entanto, é um produto que com o decorrer do tempo, perde o valor comercial após a colheita, por causa, principalmente, da diminuição da capacidade de reidratação, do aumento do tempo necessário de cozimento e do escurecimento do tegumento (IADEROZA et al., 1989; BRESSANI, 1989; SAWAZAKI et al., 1985). A qualidade da proteína do feijão é considerada inferior à dos produtos de origem animal por causa do baixo teor de aminoácidos sulfurados, da resistência à proteólise em virtude da natureza das sementes e da presença de outros compostos com potencial para reduzir a biodisponibilidade de proteínas (DURANTE, 2006). No entanto, os feijões são consumidos, de forma geral, juntamente com cereais, os quais são ricos em aminoácidos sulfurados e deficientes em lisina. São ricos em lisina e, portanto, quando combinados com cereais, resultam em pratos com boa qualidade proteica (DILIS; TRICHOPOULOU, 2009). A maioria das proteínas presentes nos grãos de feijão é classificada como globulinas (solúveis em soluções salinas), são desprovidas de atividade catalítica e não apresentam papel estrutural no tecido do cotilédone (OMAH et al., 2011).

Os carboidratos são os principais constituintes dos feijões e o amido é o carboidrato mais abundante (22-45%); muitos benefícios nutricionais são atribuídos aos carboidratos do feijão. O amido do feijão apresenta baixo índice glicêmico, enquanto a fibra alimentar está associada à saúde gastrointestinal. Apresenta bom teor de fibra alimentar, a qual possui efeito hipoglicêmico e hipocolesterolêmico. O feijão contém polifenóis, principalmente taninos que apresentam capacidade antioxidante, vitaminas do complexo B. e, apresenta altos níveis de minerais, como ferro, zinco, fósforo e cálcio, o feijão tem potencial para suprir a anemia causada por deficiência de ferro e doenças associadas (DÍAZ; CALDAS; BLAIR, 2010).

O conhecimento da estrutura do grão (Figura 1) é importante para o manuseio, para evitar as injúrias mecânicas e perdas (PESCKE, 2003).

Figura 1: Representação esquemática do grão de feijão Carioca (KOBLOITZ, 2014)



O feijão padronizado e com umidade ideal de conservação (13%) deve ser embalado em sacos de algodão, linho ou polipropileno trançado, com capacidade média de 60 kg, quando for destinado à comercialização (EMBRAPA, 2012). Depois de beneficiado e embalado, deve-se armazená-lo em ambientes ventilados, frios e secos para os grãos proporcionarem melhores condições de conservação (EMBRAPA, 2012).

O defeito HTC no feijão e outras leguminosas é considerado um defeito de qualidade na textura, e ocorre quando elas absorvem água suficiente durante o cozimento, mas não conseguem amolecer, é o resultado de alterações físicas e químicas em nível intercelular durante o armazenamento, que provoca uma maior estabilidade da lamela média durante o cozimento e a insolubilização de substâncias pécticas pela enzima fitase (SEGURA-CAMPOS et al, 2014).

Os cotilédones do feijão formam a maior parte da semente e contêm células parenquimatosas delimitadas por uma parede celular. A região intercelular é rica em pectina e têm alta capacidade de retenção de água (NKUNDA, 2003). Alguns componentes e suas alterações tais como a pectina solúvel, o cálcio, e a gelatinização do amido, podem afetar a estrutura do feijão pronto em conserva mais que danos no pré-processamento (LU et al, 1996).

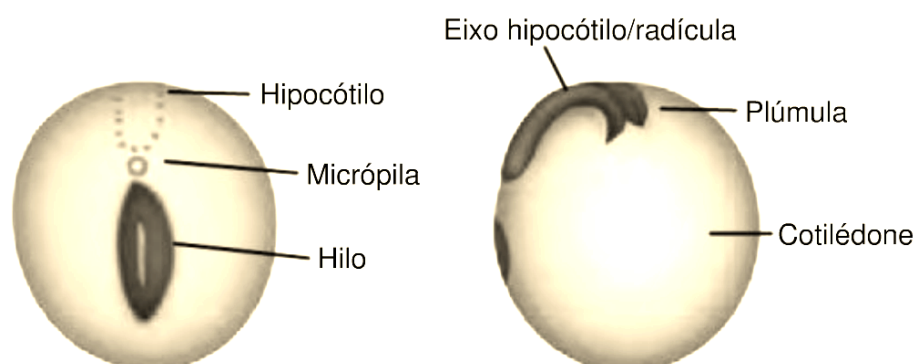
3.2.2 Soja

A soja ocupa lugar de destaque entre as leguminosas, em vista de seu alto conteúdo em proteínas e sua elevada qualidade nutricional. Contribui diretamente para a alimentação da população de países industrializados, como se vem

fazendo há séculos no extremo Oriente. Nos Estados Unidos, a *American Soybean Association*, que agrupa os produtores de soja, patrocinou uma campanha dos produtos derivados, baseando-se no desejo dos consumidores de diminuir de sua dieta a proporção de alimentos de origem animal, ricos em colesterol (EMBRAPA, 2012).

Os grãos de soja se caracterizam por conter muito pouco ou nenhum amido, cerca de 20% de óleo e 40% de proteína, que são de elevado valor nutricional. Além das vantagens da soja sob o ponto de vista nutricional, a soja é mais econômica sob o ponto de vista de energia de produção com relação à carne bovina (SASSON, 1993).

Figura 2: Representação esquemática do grão de soja (KOBELITZ, 2014).



Características importantes da soja são: altura de inserção das primeiras vagens (quanto mais alta mais fácil a colheita mecanizada); duração do ciclo completo (que varia em geral, de 110 a 170 dias); resistência ao acamamento (tombamento das plantas); cor da semente (Figura 2; cotilédones, tegumento e hilo; em geral as variedades Amarelas são associadas a maiores teores de óleo e apresentam maior aceitação entre os consumidores); vagens indeiscentes (que não se abrem com a maturação), além de resistência a pragas e doenças, rusticidade e alta produtividade. Antes do plantio recomenda-se a inoculação das sementes (em geral por recobrimento) com células viáveis de *Rhizobium japonicum*, bactéria fixadora de nitrogênio que tem grande capacidade de simbiose com as raízes de soja (KOBELITZ, 2014).

Os polissacáridos estruturais encontradas em grãos de soja são diversos. A composição de monómeros obtidos após hidrólise ácida da soja indica a presença de celulose, hemicelulose, mananas, xilanas, galactanas, arabinanas e galacturonanas, xiloglucanas e pectina (REDONDO-CUENCA et al, 2007).

3.3 Efeitos da Hidratação e Sais de Cálcio no Pré-processamento

Segundo Matella et al (2012), a hidratação, branqueamento e processamento térmico são importantes para a qualidade do produto de maneira geral. Feijões secos e leguminosas são geralmente hidratados para garantir a expansão da semente integral e absorção suficiente de água antes do acondicionamento. Uma variedade de aditivos de qualidade alimentar pode ser usada na água de hidratação para melhorar as características e a eficiência do processo.

De acordo com Terra (1991), a imersão em água a 90°C por 3 a 5 minutos contribui para hidratação de feijão, em seguida os grãos podem ser resfriados com água à temperatura ambiente. Segundo a autora, esta etapa é fundamental para a eliminação não só de gases existentes nos grãos, que poderiam ser isolantes na transferência de calor durante a esterilização, como também de algumas substâncias existentes na casca, tais como tanino e ácido fítico.

Os tratamentos térmicos resultam na perda de textura dos grãos processados. Como agentes de firmeza, os seguintes sais têm sido usados: cloreto de cálcio purificado, sulfato de cálcio, citrato de cálcio, monofosfato de cálcio ou misturas destes (ANVISA, 2013).

Sais de cálcio em pequenas quantidades atuam como agentes de firmeza, devido ao cálcio ser um cátion bivalente e poder se unir aos grupos carboxila da pectina, criando uma rede tridimensional mais estável que dá firmeza adicional ao tecido celular. A adição de sais de cálcio causa a formação do gel pectato de cálcio, que suporta os tecidos e minimiza o amaciamento dos mesmos. Os íons de cálcio são essenciais na manutenção da integridade da membrana e parede celulares e, conseqüentemente, estão relacionados com a manutenção dos atributos de qualidade de vegetais processados e frescos (LIMA; SIQUEIRA, 2008).

O cálcio é um elemento muito importante para a estrutura e funcionamento da parede celular e membranas de vegetais, sendo o responsável por uma série de alterações como a deterioração acentuada das membranas causada por uma deficiência de cálcio e mudanças na permeabilidade à passagem de água causada por modificações na estrutura das membranas (SILVA et al., 2003).

Pesquisas apontam que pectatos são insolúveis ao cozinhar, por substituição dos cátions monovalentes por cálcio ou magnésio (bivalentes). As sementes de leguminosas armazenadas em altas temperaturas e umidades podem desenvolver o defeito difícil de cozinhar (HTC) porque a enzima fitase hidrolisa o substrato e libera os cátions bivalentes, os quais se difundem e combinam-se para formar os pectatos complexos insolúveis (NKUNDA, 2003).

3.4 Processamento Térmico de Alimentos Embalados Hermeticamente

O tratamento térmico de alimentos pré-embalados juntamente com a embalagem hermética é utilizado para preservar uma ampla variedade de produtos. Processos em temperaturas na faixa de 65-95°C são frequentemente denominados de pasteurização e na faixa de 100-150°C de esterilização. Processos de pasteurização são projetados para destruir micro-organismos patogênicos e prolongar a vida útil do produto sob armazenamento refrigerado, enquanto processos de esterilização são conduzidos para tornar possível a vida do produto à temperatura ambiente por tempos mais longos (BERRY; PFLUG, 2003).

Os vegetais mais utilizados no processo de conservação pelo uso do calor são as cenouras, ervilhas, aspargos, beterraba, feijão, tomate entre outros. Muitas vezes são comercializados já cozidos, fazendo com que o tempo de preparação por parte do consumidor seja muito menor, constituindo-se, portanto, uma alternativa bastante prática e rápida (KROLOW, 2006 citado por FRIJA, 2012).

A determinação da temperatura apropriada e da extensão do tempo necessário para esterilizar um recipiente contendo determinado alimento tem sido objeto de estudos cuidadosos no desenvolvimento da indústria de conservas. O procedimento para cálculo do processo depende do conhecimento de inúmeros fatores, incluindo a natureza do produto, as dimensões do recipiente, dos

procedimentos usados no processamento térmico, o conhecimento das características de crescimento e sobrevivência e a resistência térmica dos micro-organismos contaminantes e demais características químicas, sensoriais ou nutricionais. Uma vez obtidas estas informações, o processo deve ser baseado no tempo a temperatura que deverá ser processado um produto particular, em um recipiente particular, com o propósito de destruir os organismos deterioradores e manter características desejáveis ou alterar outras indesejáveis (ITAL, 1990).

A remoção do ar de dentro da embalagem de forma a formar vácuo contribui para diminuir a velocidade das reações químicas. O vácuo pode ser obtido por processo térmico, processo mecânico ou por injeção de vapor. Um dos processos mais comuns e mais baratos é a formação do vácuo usando túnel de exaustão (BERRY; PFLUG, 2003).

Considerando que os princípios do processo térmico são os mesmos, os conceitos para o estabelecimento do processo para conservar são aqueles necessários para a esterilização comercial de alimentos de baixa acidez embalados em recipientes herméticos. Alimentos de baixa acidez têm pH superior a 4,6 e atividade de água maior do que 0,85 - uma combinação que engloba as condições de permitir o crescimento de *Clostridium botulinum*, bactéria formadora de esporos que produz umas das toxinas mais mortais conhecidas (BERRY; PFLUG, 2003).

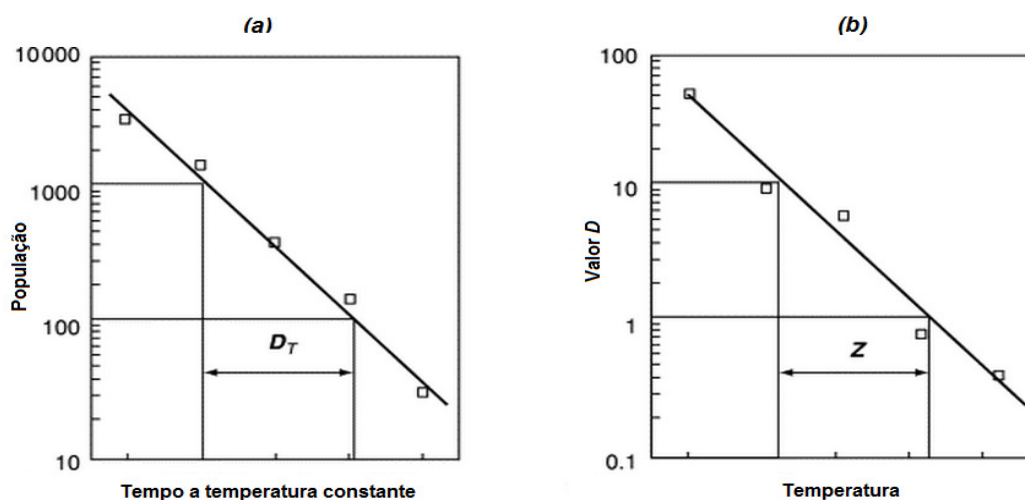
A resistência térmica dos micro-organismos depende de fatores que podem ser divididos em três grandes categorias, que incluem as características de crescimento dos micro-organismos, a natureza do alimento no qual os micro-organismos podem crescer e a temperatura, sendo que variações em quaisquer destes fatores podem afetar a resistência ao calor (ITAL, 1990).

Os parâmetros D e z são empregados para expressar a resistência térmica de micro-organismos e outras transformações nos alimentos submetidos ao processamento térmico. O valor D, também conhecido como tempo de redução decimal, é o tempo em minutos a uma temperatura constante para inativar 90% (redução de um ciclo logarítmico) do micro-organismo alvo presente no alimento (Fig. 3a). O z representa o efeito da temperatura na destruição de micro-organismos, definido como o acréscimo de temperatura que proporciona redução de um décimo no valor D (Fig. 3b). Para o *C. botulinum* é normalmente adotado

um valor $D_{121,1^{\circ}\text{C}}$ de 0,2 minutos, e z de 10°C , baseado em estudos de resistência térmica realizados a partir de esporos mais resistentes (BERRY; PFLUG, 2003).

Os recipientes contendo produtos alimentares não aquecem instantaneamente, e uma vez que todas as temperaturas (acima de um valor mínimo) têm efeito letal e contribuem para a destruição de micro-organismos, é necessário um método para determinar o efeito relativo da mudança de temperatura, enquanto o alimento é aquecido durante o tratamento térmico (BERRY; PFLUG, 2003).

Figura 3: Representações gráficas dos valores D (a) e z (b) (BERRY; PFLUG, 2003).



A letalidade acumulada para o microrganismo de referência pode ser expressa por meio do valor F de esterilização para o qual a taxa letal (L) é calculada com base no valor z , para expressar o efeito relativo da temperatura sobre a destruição microbiana com respeito a uma determinada temperatura de referência (BERRY; PFLUG, 2003).

O valor F designa o equivalente em minutos a uma temperatura de referência ($121,1^{\circ}\text{C}$) das letalidades combinadas de todas as integrações de tempo e temperatura, relativos ao ponto de aquecimento mais lento para um produto durante determinado tratamento térmico. Assim, o valor F é uma medida de efeito letal total sobre os micro-organismos que sofrem um determinado tratamento térmico (BALL apud RESS; BETTISON, 1991).

Várias considerações adicionais são necessárias para a decisão sobre o valor F para a esterilidade comercial, que deve ser superior ao requerido mínimo;

as quais incluem especificações para o equipamento de processamento térmico, fator de segurança, juntamente com as condições para destruição de micro-organismos. Essas considerações incluem número inicial de micro-organismos no produto, parâmetros físicos do próprio alimento (forma e tamanho, consistência, tamanho das partículas, proporção líquido-sólido, etc.); características e dimensões da embalagem, sistema de processamento (autoclave estática em batelada, hidrostático, autoclave com agitação contínua, etc.), condições de armazenamento e distribuição; ingredientes naturais ou adicionados que impeçam ou inibam o desenvolvimento microbiano, questões econômicas e a experiência geral do processador de alimentos (BERRY; PFLUG, 2003).

Esterilidade comercial de alimentos significa a condição alcançada pela aplicação de calor que os torna livres de formas viáveis de micro-organismos que têm importância para a saúde pública (patogênicos), bem como para redução significativa de micro-organismos deterioradores de importância capazes de se reproduzirem no alimento não refrigerado sob condições normais de armazenamento e distribuição (BERRY; PFLUG, 2003).

A escolha do tratamento pelo calor vai depender das características que se deseja obter no produto, seja uma necessidade do mercado consumidor ou parâmetros definidos por uma equipe de desenvolvimento, pois para alcançar a esterilidade comercial dos produtos têm como consequência alterações na consistência, textura, sabor, cor, e, na retenção de nutrientes (RESS; BETTISON, 1991).

As altas temperaturas a que os vegetais são submetidos visam cozer os legumes, melhorando a sua textura, além da questão microbiológica. O calor provoca alteração na conformação das proteínas e a sua consequente desnaturação (FRANCO; LANDGRAF, 1996).

3.5 Aspectos Relacionados à Embalagem Hermética

A evolução da embalagem e dos diferentes sistemas de embalagem está intimamente ligada à evolução dos produtos acondicionados, bem como dos materiais utilizados. Nos países desenvolvidos, a embalagem de alimentos representa aproximadamente a metade do total de embalagens produzidas. Esta

importância advém de um aumento por alimentos preparados e conservados, favorecendo a distribuição a distâncias cada vez maiores (ROJA JUNIOR, 2008).

As embalagens e equipamentos que entram em contato direto com os alimentos devem ser fabricadas em conformidade com as boas práticas de fabricação (BPF) e nas condições normais ou previsíveis de emprego que não produzam migração para os alimentos de componentes indesejáveis, tóxicos ou contaminantes em quantidades tais que superem os limites máximos estabelecidos de migração total ou específica e que possam representar risco à saúde humana ou ocasionem uma modificação indesejável na composição dos alimentos ou nas suas características sensoriais (ANVISA, 1996).

No processamento térmico, as embalagens devem ser hermeticamente fechadas, resistir a altas temperaturas no decorrer do processo e permitir variação de pressão interna e alterações de volume do produto. Se ausentes, essas embalagens podem se deformar durante o processo e comprometer a integridade física, com eventual recontaminação pós-processo (RESS; BETTISON, 1991).

As embalagens plásticas flexíveis dependem do formato do produto a ser embalado, elas adotam a forma do produto, podem ser feitas de vários formatos, medidas, cores e matérias-primas. Neste grupo se enquadram os *pouches* "flat" e *pouches* autossustentáveis (*stand-up pouches*), (CABRAL et al., 1984).

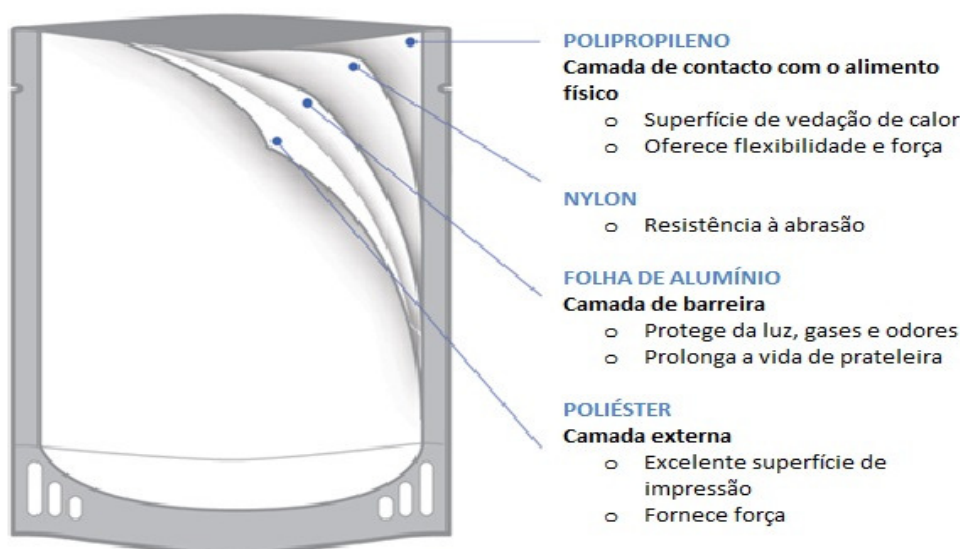
A embalagem flexível esterilizável (Figura 4) apresenta-se como um dos conjuntos mais aceitáveis na preservação de alimentos, constituindo-se em verdadeira opção para a substituição das latas. A crescente consciência pública e a aversão em aceitar outros métodos de conservação, como a adição de conservantes químicos, irradiação, etc., tem oferecido uma vasta oportunidade para os alimentos que utilizam tais embalagens (ROJA JUNIOR, 2008).

É crescente a preocupação do consumidor com os alimentos em relação aos reflexos sobre a saúde e o meio ambiente. Cada vez mais produtos que exploram atributos ligados a estas preocupações vêm ganhando espaço no mercado e a preferência dos consumidores. Para tanto, no desenvolvimento das embalagens, deve-se combinar conveniência e praticidade com impacto visual atraente e integrado ao cenário do ponto de venda. Nos mercados atuais, algumas tendências de crescimento que deverão ser consideradas nos projetos de desenvolvimento das embalagens são: preocupação com o meio ambiente; emprego do sistema "abre e fecha"; utilização de materiais que possam ser

utilizados tanto no *freezer* quanto micro-ondas; adequação das porções às necessidades do consumidor e, finalmente, a conveniência e facilidade de preparo, características essas encontradas nas embalagens flexíveis esterilizáveis (“retortable pouches”) (CAMPOS; NANTES, 1999 apud GONÇALVES; PASSOS; BIEDRZYCKI, 2008).

Dentre as vantagens dos produtos acondicionados em embalagens flexíveis autoclaváveis (*retortable pouches*) destacam-se: (a) a possibilidade de poder atingir em menos tempo a temperatura de esterilização de latas ou frascos, devido à maior área de superfície da embalagem e perfil mais fino por unidade; (b) possibilidade de obtenção de produtos com maior qualidade comparada as latas, considerando cor, textura, sabor e menor perda de nutrientes, devido à exposição do produto em tempos menores em elevadas temperaturas; (c) produtos como vegetais podem ser embalados com menor quantidade de salmoura, proporcionando unidades com menor peso e redução de descarte da salmoura (MEMELSTEIN, 1978 apud AI-BAALI; M. FARID, 2006); (d) não requerem refrigeração ou congelamento e são estáveis durante o armazenamento à temperatura ambiente e podem ser utilizados sem aquecimento, aquecidos rapidamente em água por alguns minutos ou aquecido em micro-ondas, sendo necessária menos energia com relação aos produtos refrigerados; (e) possui baixo peso, ocupa menos espaço e menos custos com distribuição em comparação com as latas e vidros (AI-BAALI; M. FARID, 2006).

Figura 4: Estrutura das camadas da embalagem flexível autoclavável do tipo “stand-up” (adaptado de FLAIR Flexive Packaging Corporation, 2011)



3.6 Textura de Alimentos

O termo textura é de difícil definição, no entanto, segundo a norma ISO (1992) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), pode ser definido como sendo “o conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e de superfície de um produto, detectáveis pelos receptores mecânicos e tácteis e, eventualmente pelos receptores visuais e auditivos”. Esta definição envolve conceitos importantes como: (i) textura é uma propriedade sensorial; (ii) textura é um atributo sensorial multidimensional; (iii) textura deriva da estrutura do alimento (molecular, micro estrutural ou macroestrutural); (iv) as características de textura dependem das características químicas e biofísicas dos produtos (BOURNE, 1982).

A aparência, a textura e o sabor estimulam os sentidos e provocam vários graus de reações de desejo ou rejeição dos consumidores. Através de um processo complexo, o consumidor escolhe um alimento pelo seu nível de qualidade sensorial (VERRUMA-BERNARDI; DAMÁSIO, 1999). Os parâmetros de textura de um alimento são características compreendidas e importantes para aceitação de um produto. A textura é composta por um conjunto de características sensoriais de grande importância, uma vez que influenciam ou decidem a aceitação ou rejeição de um alimento (HERRERO et al., 2007).

Segundo Bourne (1982) os métodos objetivos instrumentais de determinação da textura permitem uma avaliação quantitativa dos defeitos de textura do produto alimentício. A determinação instrumental da textura foi proposta como uma alternativa à avaliação sensorial com o objetivo de superar os inconvenientes desta como: a grande variabilidade de resultados; dificuldades na realização das análises e as peculiaridades na interpretação dos resultados.

A classificação dos termos de textura para sólidos e semissólidos levou a um método para descrição do perfil da textura aplicável para medidas sensoriais e instrumentais. Os métodos instrumentais de análise de textura avaliam propriedades mecânicas a partir de forças aplicadas ao alimento tais como compressão, cisalhamento, corte e tensão. A análise instrumental aplica sucessivas forças deformantes, para simular a ação de compressão e corte dos dentes durante a mastigação. Os resultados obtidos nas avaliações de textura instrumental podem ser correlacionados à percepção humana, permitindo a

compreensão do significado dessas características na avaliação da qualidade sensorial de um determinado do alimento (ANDRADE et al., 2013).

3.6.1 Conceitos Básicos de Textura Instrumental

Medições instrumentais de textura de alimentos podem ser classificadas como métodos destrutivos e não destrutivos. Nos métodos não destrutivos, a força aplicada é pequena e não há fratura irreversível, tais como ótica e elétrica, enquanto que nos métodos destrutivos ocorre a quebra e danos irreversíveis na amostra (BOURNE, 1982). Por exemplo, o grupo destrutivo inclui ensaio de flexão de três pontos, ensaio de ponta única, ensaio de punção e testes de penetração e corte com lâmina (JIANG et al., 2008 apud CHEN; OPARA, 2013).

Nas medições destrutivas, a força é o parâmetro chave. Portanto, os perfis de textura típicos envolvem força em função do tempo ou distância (deslocamento), ou deformação (SASIKALA et al., 2011 apud CHEN; OPARA, 2013).

Em comparação aos métodos não destrutivos, os métodos de força versus deformação oferecem as vantagens de custos em instrumentação, facilidade e interpretação dos resultados. Uma vez que existe uma vasta gama de alimentos com propriedades mecânicas diferentes, não é surpreendente que uma grande variedade de métodos e técnicas estejam disponíveis para diferentes tipos de alimentos. Por outro lado, os métodos empíricos medem as propriedades mecânicas que não estão bem definidas e que eventualmente estejam correlacionadas com a avaliação sensorial de alimentos (LU; ABBOT, 2004).

Os parâmetros obtidos com a determinação instrumental da textura têm sido empregados por diversos autores em suas avaliações de produtos como índices para avaliar a qualidade ou a aceitabilidade do produto acabado ou para selecionar os melhores ingredientes funcionais (HERRERO et al., 2007; HOZ et al., 2004; MENDOZA et al 2001; GIMENO et al, 2000). Os atributos de textura também são utilizados ao longo da cadeia de valor alimentar para monitoramento e controle de qualidade, que vão desde a decisão para a colheita, avaliar os impactos do manuseio pós-colheita, operações de processamento, sobre a vida

de prateleira do produto, preferência e aceitabilidade do consumidor (HERRERO et al., 2007).

Um texturômetro simula movimentos por meio de um arranjo mecânico, onde um motor elétrico está ligado ao eixo de ativação do instrumento que então é impulsionado por um braço que se move com velocidade variável, a qual é ligada a êmbolos geralmente de alumínio ou níquel (BOURNE, 1982).

Para os materiais considerados elásticos a força como resultado da ação de uma carga de compressão pode ser dividida em três fases, durante a primeira fase a deformação é considerada linear e elástica, a segunda fase indica crescimento e a terceira pós-crescimento. A maioria dos alimentos não são verdadeiramente elásticos, portanto não podem sofrer uma deformação e retornar exatamente à sua forma original, no entanto a teoria da elasticidade é aplicada na fase linear da curva força versus deformação (LU; ABBOT, 2004).

Frutas e vegetais frescos, muitas vezes passam por três fases de deformação sob carga de compressão. Outros produtos alimentares, tais como cereais, com teor normal de umidade de armazenamento, muitas vezes ao passar a primeira e segunda fase de deformação, sofrem uma ruptura durante a segunda fase de deformação (WOUTERS; BAERDEMAEKER, 1988 citado por LU; ABBOT; 2004).

3.6.2 Efeitos do Processamento sobre a Textura de Alimentos

O efeito da esterilização na qualidade dos produtos em conserva tem sido mais estudado desde o início da indústria de produtos esterilizados. Castillo e colaboradores (1980 apud AL-BAALI; M.FARID, 2006) desenvolveram um modelo para melhorar a retenção de nutrientes, utilizando cinética de primeira ordem no processo de degradação em embalagens "*retortable pouches*" assumindo aquecimento por condução. O modelo foi efetivo para prever a temperatura do centro do recipiente até o final do período de aquecimento. Entretanto o trabalho foi baseado em aquecimento por condução e não pode ser estendido para casos nos quais a convecção também contribui para a troca térmica.

A textura é um aspecto importante da qualidade de alimentos vegetais. Tanto o controle como a modificação de textura são aspectos principais avaliados

em tecnologia de alimentos. Para alcançar estes objetivos, é necessário ter disponíveis ferramentas precisas, repetitivas e reprodutíveis para estudar e monitorar as mudanças ao longo dos diferentes processos tecnológicos empregados. Em leguminosas, a análise de textura instrumental é aplicada para medir a firmeza usando diferentes dispositivos, como células de cisalhamento, ponta de provas cilíndricas ou compressão por uma placa. Comparações entre textura instrumental e sensorial para leguminosas, muitas vezes, falta a informação da indicação da medida estar relacionada ao pericarpo, albúmen ou grão inteiro (REVILLA; VIVAR-QUINTANA, 2008).

A textura é influenciada pela temperatura, uma vez que os valores de tensão diminuem à medida que a temperatura de grãos cozidos aumenta. A textura mais firme em temperaturas mais baixas de avaliação provavelmente é consequência da gelatinização ou retrogradação do amido do grão (MACHIORLATTI et al., 1987 citado por LU; ABBOT, 2004).

A curva de tensão de corte é utilizada para indicar a força máxima de cisalhamento por meio do pico máximo. A altura máxima de pico indica grãos mais firmes (BOLLER, 1990).

Quast e Silva (1977) observaram que as altas temperaturas reduzem o tempo de cozimento, realizado pelos autores diretamente em panela de pressão (sem embalagem) de grãos como feijão Carioca, feijão preto, soja e ervilha. A influência da temperatura no grau de cozimento foi obtida para amostras para as leguminosas tratadas a 98, 116, e 127°C, por meio da medida da força máxima em prensa de cisalhamento tipo Kramer, com a célula contendo 100 g de amostra. As combinações de tempo e temperatura que proporcionaram a mesma textura, por meio de força máxima, foram avaliadas através de gráficos para obter os valores de z para amolecimento dos grãos, de 19°C para feijão preto; 18°C para feijão Carioca; 16°C para soja e 16°C para ervilha.

Revilla e Vivar-Quintana (2008) avaliaram os efeitos de diferentes tratamentos térmicos em grãos de feijão (*Vicia Faba*), aplicando cloreto de cálcio na salmoura. Os tratamentos térmicos foram realizados em condições de cozimento doméstico a pressão atmosférica (sem embalagem) e também esterilização (em frascos de vidro) em autoclave em diferentes combinações de tempo e temperatura. As análises de textura foram realizadas utilizando célula de cisalhamento Warner-Bratzler, em outro ensaio usando ponta de prova cilíndrica

de 10 mm (P10) e outro com ponta de prova cilíndrica de 2 mm (P2), com casca e com os cotilédones separados, registrando os picos de força máxima. Os produtos também foram submetidos à avaliação sensorial utilizando análise descritiva com painel treinado, avaliando atributos definidos, como firmeza do endosperma e da casca, integridade dos grãos, sensação de granulosidade, “enfarinhamento” e maciez. De maneira geral não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas avaliações sensoriais; contudo, entre as análises de textura instrumental foram observadas diferenças estatisticamente significativas, principalmente entre os ensaios utilizando cloreto de cálcio, com contribuições positivas para a textura.

Terra (1991) estudou a textura de grãos enlatados na proporção de 1 parte de grãos para 4 partes de solução salina a 2% de cloreto de sódio, submetidos a diferentes tratamentos térmicos em autoclave variando temperatura e tempo total de processo. Foi obtido o grau de cozimento de feijão Carioca, por meio de ensaios empregando uma prensa de cisalhamento do tipo Kramer com 10 lâminas de 3,2 mm de espaçamento, a qual se move através da amostra provocando compressão e cisalhamento. A força máxima (pico máximo da curva força versus distância) foi obtida e utilizada para avaliação da textura das amostras. As temperaturas máximas de autoclave variaram de 114 a 128 °C e os tempos totais dos processos térmicos variaram de 17,2 a 93,7 minutos (F_0 de 14 a 202 min). O maior valor obtido para a força máxima foi de 5,6 N/g para o processo a 121 °C e 17,2 minutos (F_0 aprox. 17,7 min). Foram considerados valores de força máxima abaixo de 11,5 N/g (QUAST; SILVA, 1977) como a melhor indicação de textura para o produto, caracterizada como feijão com textura aceitável.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-Prima

Foram utilizados nos experimentos grãos de feijão Carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) proveniente da região de Santa Cruz do Rio Pardo, SP, fornecidos pela Empresa Picinin (totalizando 60 kg) e para grãos de soja (*Glicine max* L.) proveniente da região de Belo Horizonte, MG, fornecido pela empresa Distribuidora Latina (totalizando 60 kg). Os grãos foram provenientes da mesma safra, um único lote, e mantidos sob as mesmas condições de armazenamento. Os grãos acondicionados em sacos de rafia foram recepcionados e mantidos em condições ambiente, em local seco e arejado, onde permaneceram até que fossem utilizados nos experimentos, em período não superior a três meses. Os grãos foram classificados de acordo com a RDC 161 de 24 de julho de 1987 do Ministério da Agricultura em tipo um, com base em defeitos graves e leves (MAPA, 2014).

4.2 Caracterização Físico-química da Matéria Prima e dos Produtos

Para fins de caracterização, foram determinados para cada tipo de grão o teor de umidade, cinzas, proteínas e lipídios. O teor de carboidratos totais foi calculado por diferença da somatória dos conteúdos dos demais componentes, com relação a cem por cento. As análises foram realizadas para os grãos *in natura* e para os grãos tratados termicamente sem adição de cloreto de cálcio. As análises foram realizadas no laboratório da empresa JBS S/A unidade de Lins, SP. A umidade foi realizada em estufa a 105°C até peso constante. O teor de proteínas totais foi determinado pelo método Kjeldhal (nitrogênio total), conforme método nº 46-12 da American Association of Cereal Chemists (AACC,1995), calculada multiplicando-se a porcentagem de nitrogênio total pelo fator 6,25. O teor de cinzas foi determinado segundo o método nº 08-01 da AACC (1995), mediante calcinação em mufla a 550°C. O teor de lipídios foi determinado conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), utilizando extrator Soxhlet com éter de petróleo como solvente. Para a determinação de atividade de água foi utilizado o aparelho HygroLab (Multi-channel Humidity & Water Activity

Analyser, V4.1b, Rotronic, Switzerland) e as medidas de pH eletrometricamente com a utilização de um potenciômetro e eletrodo de pH de bancada.

4.3 Processamento dos Grãos

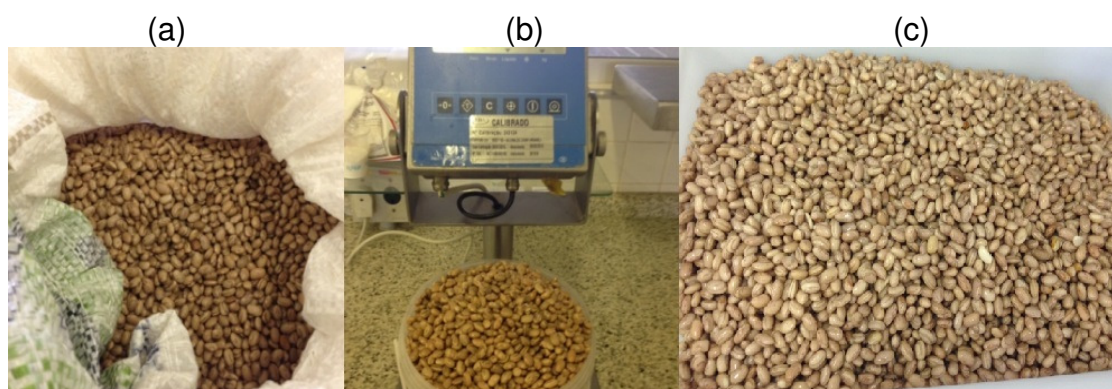
4.3.1 Hidratação

Essa etapa visa hidratar os grãos até a absorção máxima de água em temperatura ambiente com adição de diferentes concentrações de cloreto de cálcio. Com base em testes preliminares foi concluído que 5 horas a temperatura ambiente aproximada de 25°C os grãos atingem a hidratação máxima.

A adição do cloreto de cálcio (Doremus, Guarulhos, SP) na salmoura de hidratação visou contribuir para a textura dos grãos, a qual foi realizada nos níveis de 0; 0,12; 0,4; 0,68; e 0,8% (massa/massa) de cloreto de cálcio na solução aquosa, adicionada junto aos grãos (LIMA; SIQUEIRA, 2008).

A massa inicial de grãos para todos os tratamentos foi de 2.200 g, resultando em uma massa média total, após hidratação, final de 4.367 \pm 42 g para o feijão e 4.374 \pm 55 g para a soja, considerando todos os 13 tratamentos realizados para cada tipo de grão. O tempo de hidratação foi suficiente para que os grãos atingissem a hidratação máxima de 98%. Para a salmoura foi adicionado cloreto de cálcio na proporção prevista para a concentração juntamente com a quantidade de água necessária.

Figura 5: Procedimento para hidratação dos grãos: grãos secos (a); pesagem (b); grãos hidratados (c).



4.3.2 Envase

Os grãos previamente hidratados foram envasados nas embalagens flexíveis aluminizadas do tipo “*stand up*” *pouches* com dimensões de 190x160x40 mm composta por materiais laminados: poliéster, alumínio, nylon e polipropileno. O envase foi realizado de forma manual à temperatura ambiente, na proporção conforme Tabela 1, de forma que os grãos ficassem submersos no líquido no interior da embalagem após o envase, totalizando $300,5 \pm 0,5$ g de produto. As embalagens foram seladas em seladora manual sob vácuo por meio de solda térmica, para manter o sistema hermético.

Tabela 1: Proporção de água e grãos hidratados.

Ingrediente	Feijão Carioca		Soja	
Salmoura	50 %	150 g	50 %	150 g
Grãos hidratados	50 %	150 g	50 %	150 g
Total	100 %	300 g	100 %	300 g

Figura 6: Pesagem do produto na embalagem flexível aluminizada



4.4 Processamento Térmico

Para fins de determinação dos efeitos de diferentes processos térmicos, foram realizados ensaios nas condições previstas no delineamento experimental. Os termopares foram fixados em quatro embalagens por tratamento com a sonda de 30 mm inserida na região inferior, posicionada no centro geométrico da embalagem com grãos hidratados inseridos no sensor, conforme Figura 7.

Figura 7: Posição do sensor termopar no centro da embalagem



As embalagens foram processadas termicamente em autoclave cilíndrica horizontal tipo ducha modelo FMC M4711-0468 (fabricado por JBT, Araraquara-SP), nas instalações da indústria JBS S/A unidade de Lins, SP, com controle automatizado de temperatura e pressão (Figura 8 e 9). O sistema emprega a esterilização por vapor, spray de água e pressão de ar, proporcionando um elevado coeficiente convectivo do meio de aquecimento. As embalagens foram dispostas na posição horizontal (Figura 10) em bandejas de aço inoxidável perfuradas (“diâmetros dos furos de 0,5”) sendo todas as embalagens posicionadas no mesmo nível (nível 6 localizado na região central do carrinho da autoclave). Em experimentos preliminares foram testados diversos níveis na autoclave (3, 6, 9, 10 e 14) para processamentos térmicos para o feijão, um considerado de baixa intensidade, onde os valores de F_0 obtidos variaram entre 8 e 12 minutos, outro considerado excessivo, onde valores de F_0 obtidos variaram entre 18 e 21 minutos. Os resultados demonstraram haver grande variação na transferência de calor e conseqüentemente grandes diferenças entre processos térmicos dos produtos nos diferentes níveis, a partir dos quais determinou-se que

os produtos fossem dispostos num mesmo nível a fim de minimizar as variações do processo.

Figura 8: Autoclave horizontal tipo ducha



Figura 9: Autoclave e instrumentos para a coleta de dados da penetração e calor



Para cada tratamento, 20 embalagens (denominadas replicatas) com produto foram submetidas aos diversos tratamentos térmicos. Os dados de tempo e temperatura foram medidos por instrumento fabricado pela ELLAB modelo E-Val Flex (Copenhaga, Dinamarca) com 16 canais de leitura, sendo 4 sensores nos produtos e 2 sensores no interior da autoclave (Figura 10).

Figura 10: Posicionamento das embalagens com produto e termopares na bandeja da autoclave



Após o processo térmico as amostras foram submetidas à incubação por no mínimo 10 dias à temperatura de 35 a 37 °C, para verificar o desempenho do tratamento com relação ao aspecto microbiológico, conforme previsto na Resolução RDC Nº 12 de 02 de janeiro de 2001, para alimentos processados em embalagens herméticas, estáveis à temperatura ambiente.

4.4.1 Análise dos dados de penetração de calor

O método de análise dos dados obtidos baseou-se na determinação do valor F de esterilização, conforme Equação 1, calculado a partir do histórico tempo versus temperatura, medidos para cada processo térmico realizado em quatro sensores de temperatura posicionados no interior da embalagem e dois posicionados no interior da autoclave. Os dados foram computados em planilha

de cálculo obtendo-se as taxas letais para todos os tempos e temperaturas do processo pelo método proposto por Pataschnik (1953), baseado nas curvas de aquecimento e resfriamento semilogarítmicas do modelo matemático, correspondente à determinação do somatório das taxas letais L (Equação 2), calculada na temperatura de referência de 121,1°C, e valor z de 10°C, correspondente ao *Clostridium Botulinum* (RHA, 1967).

$$F = \int_0^t 10^{\frac{1}{z} \frac{121,1-T}{z}} (dt) \quad (1)$$

$$L = 10^{\frac{1}{z} \frac{121,1-T}{z}} \quad (2)$$

4.5 Análise Instrumental de Textura

As análises de textura foram realizadas para os grãos de feijão Carioca e soja dos tratamentos previstos no delineamento e também para as amostras de produtos comerciais dos dois grãos.

A textura do produto resultante dos tratamentos foi determinada utilizando-se o texturômetro TA.XT/Plus/50 Texture Analyzer (Texture Technologies Corp and Stable Micro Systems Ltd; Hamilton, MA, EUA) no laboratório da UNESP, Campus São José do Rio Preto. Para essa análise foram utilizadas três técnicas: (i) ensaio de punção de um grão; (ii) ensaio de cisalhamento de um grão e (iii) ensaio de compressão e extrusão da massa de grãos.

De amostras aleatórias dos grãos submetidos aos tratamentos foram tomadas medidas com paquímetro para determinação da espessura (menor dimensão do grão cozido), para 15 grãos de cada leguminosa, obtendo-se a média de 7,03 ±0,42 mm para o feijão e 7,46 ±0,54 mm para a soja; medida utilizada para ajustar parâmetros e configurações para ensaios no texturômetro.

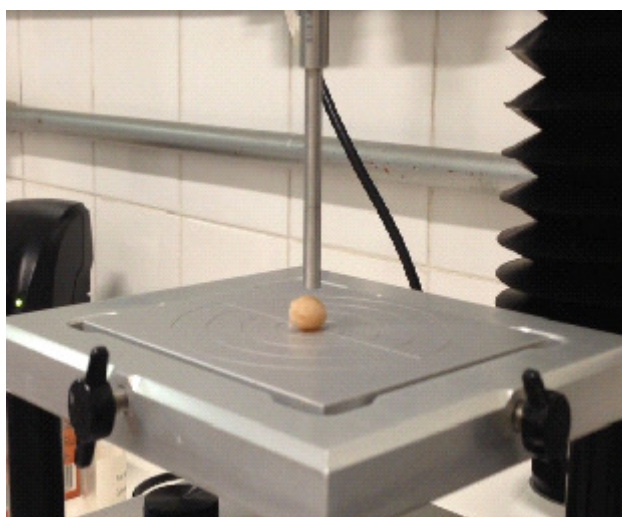
4.5.1 Ensaio de punção

O ensaio de punção envolve a medida da força requerida para a ponta de prova penetrar para uma profundidade previamente determinada na amostra de um grão da leguminosa (feijão ou soja) processada. O ensaio envolve a ação das forças de compressão e cisalhamento da amostra; e pode ser considerada como uma técnica de medida instrumental de textura que simula o efeito de uma mordida.

Para essa medida foi utilizada a ponta de prova cilíndrica de 5 mm de diâmetro (P/5) e face plana (Figura 11), com relação área/perímetro de 1,2 mm, portanto com uma relação intermediária das contribuições entre força de compressão e força de cisalhamento (LU; ABBOTT, 2004).

Amostras de quatro embalagens das leguminosas submetidas aos diferentes tratamentos, mantidas em ambiente com temperatura controlada de 25°C, por no mínimo 48 horas, foram abertas e drenadas em peneiras e submetidas a três lavagens sucessivas com água deionizada para remoção do material aderido aos grãos. Para essa medida a casca superficial foi removida manualmente da parte superior do grão em contato com a ponta de prova.

Figura 11: Ponta de Prova Cilíndrica P/5



Os ensaios foram realizados fixando a distância de 5 mm como deformação máxima, essa medida foi definida com base em testes preliminares, baseando-se na análise dos resultados de repetibilidade, menor desvio padrão,

melhor resposta do sistema; entre outros; estabelecendo-se os seguintes parâmetros para a realização dos ensaios de punção:

- Temperatura do ambiente e da amostra: 25 ± 1 °C
- Velocidade de pré-teste (descida): 5 mm/s
- Velocidade de teste: 2 mm/s
- Velocidade de pós-teste (subida): 8 mm/s
- Célula de carga/ calibração: 50 kg/ 5 Kg
- Deformação máxima: 5 mm

As análises foram realizadas em vinte grãos (20 repetições) coletados aleatoriamente de um conjunto de quatro embalagens submetidas para cada tratamento. Os resultados foram analisados por meio da curva força versus deformação.

Análise de Dados

Os ensaios de punção com ponta de prova cilíndrica podem ser divididos em três fases (Figura 14). Durante a primeira fase a deformação é considerada linear e elástica, a segunda fase indica crescimento e a terceira pós-crescimento da força para a deformação. As leguminosas não têm comportamento verdadeiramente elástico, pois após sofrer uma deformação não retornam exatamente a sua forma original, no entanto a teoria da elasticidade pode ser aplicada na segunda fase utilizando cálculo do módulo de Young efetivos (BOURNE, 1982), conforme Equação 3.

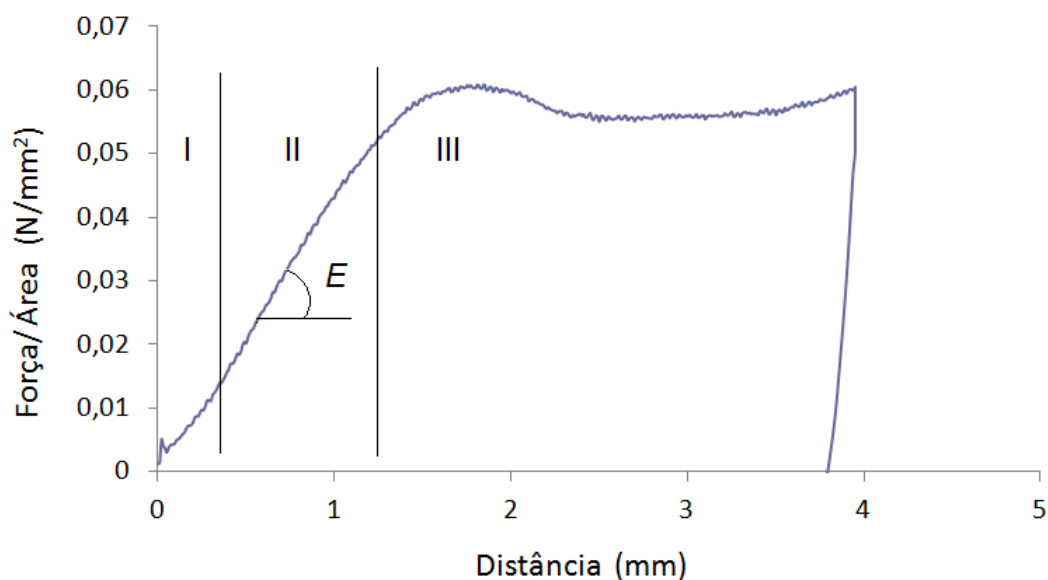
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F / A_0}{\Delta L / l} \quad (3)$$

onde, E é o módulo de Young em (N / mm^2), F a força aplicada, A_0 a área original da ponta de prova (19 mm^2), ΔL é a deformação (5 mm) e l comprimento original dos grãos.

Para cada curva obtida dos ensaios de punção dos grãos para cada tratamento, foram calculados os módulos de Young efetivos por meio da

determinação do coeficiente angular da porção linear da curva, representada como fase II na Figura 12. Os resultados foram expressos em N/mm^2 .

Figura 12: Curva força versus deformação para o ensaio de punção



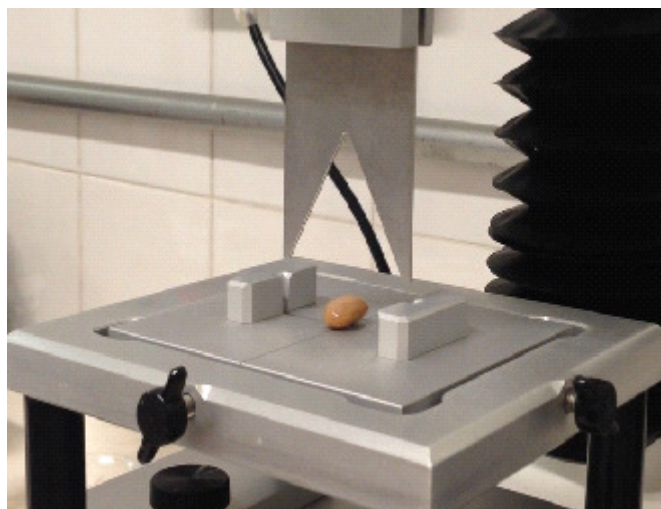
4.5.2 Ensaio de cisalhamento

O ensaio de cisalhamento envolve a aplicação de uma força para cortar em dois pedaços a amostra de um grão da leguminosa (feijão ou soja) previamente processado.

A denominação “cisalhamento” utilizada para o ensaio distingue-se da denominação estrita usualmente utilizada em engenharia (cisalhamento puro), considerando que a medida instrumental envolve cisalhamento, tensão e compressão, ainda que a primeira força seja a principal exercida. A força máxima observada e registrada durante o corte total do grão submetido ao tratamento foi considerada como parâmetro da medida de textura (LU; ABBOT; 2004).

Para esta medida foi utilizada a ponta de prova Warner-Bratzler (WBV) que consiste em uma lâmina de corte em formato triangular “V” e uma base com geometria e dimensões específicas (Figura 13).

Figura 13: Ponta de prova de corte Warner-Bratzler (HDP/WBV)



Amostras de quatro embalagens das leguminosas submetidas aos diferentes tratamentos, mantidas em ambiente com temperatura controlada em $25 \pm 1^\circ\text{C}$, por no mínimo 48 horas, foram abertas, os grãos drenados em peneira e submetidos a três lavagens sucessivas com água deionizada para remoção do material aderido aos grãos. Para esta medida, o grão inteiro com casca foi colocado sobre o suporte do aparelho na posição de repouso máximo (Figura 12), com o hilo posicionado lateralmente. Com base em testes preliminares, baseando-se na análise dos resultados de repetibilidade, menor desvio padrão, melhor resposta do sistema, entre outros, foram estabelecidos os seguintes parâmetros para a realização dos ensaios de cisalhamento:

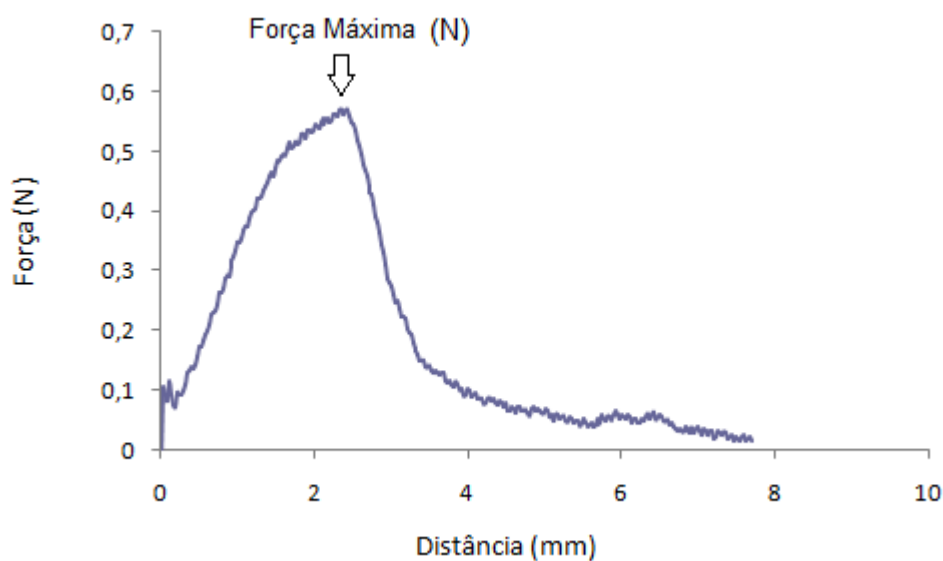
- Temperatura do ambiente e da amostra: $25 \pm 1^\circ\text{C}$
- Célula de carga/ calibração: 50 kg/ 5 Kg
- Velocidade de pré-teste (descida): 5 mm/s
- Velocidade de teste: 5 mm/s
- Velocidade de pós-teste (subida): 10 mm/s
- Distância de corte: 15 mm (corte total do grão em duas partes)

As análises foram realizadas em vinte grãos (20 repetições) coletados aleatoriamente de um conjunto de quatro embalagens submetidas para cada tratamento. Os resultados foram analisados por meio de curva força versus deformação.

Análise de Dados

Para os ensaios de cisalhamento, foram determinadas as forças máximas (pico), a partir da curva força versus deformação, conforme exemplo indicado na Figura 14. Os resultados foram expressos em N.

Figura 14: Curva força versus deformação para o ensaio de cisalhamento



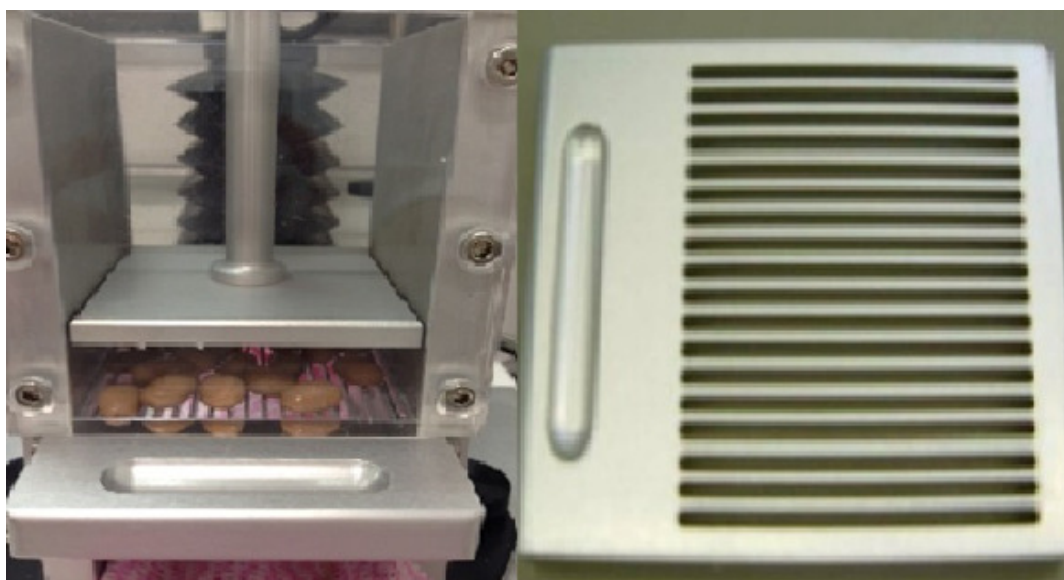
4.5.3 Ensaio de compressão e extrusão

O ensaio de compressão e extrusão consiste em submeter à amostra (massa de grãos) a uma compressão por meio de um êmbolo (Figura 13). À medida que o êmbolo se desloca para baixo sobre a amostra, a força aumenta e a amostra começa a ser deformada e fraturada, comprimindo a massa de grãos, com a medida da força e deformação resultantes. Uma vez que o êmbolo tenha alcançado a amostra, a força tende a aumentar. Após a ruptura ocorre o aumento subsequente da força, como resultado da força necessária para comprimir e realizar a extrusão da amostra através das aberturas da placa de extrusão até a posição final de 2 mm acima da placa de extrusão. A área total sob a curva força versus deformação é obtida e utilizada como indicativo do trabalho de compressão e extrusão da massa de grãos.

Para essa medida foi utilizada a célula de Ottawa, com placa de extrusão com 17 lamina espaçadas de 3 mm (A/OTC/TBC), conforme Figura 13.

Amostras de quatro embalagens das leguminosas submetidas aos diferentes tratamentos, mantidas em ambiente com temperatura controlada de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, por no mínimo 48 horas, foram abertas, drenadas em peneiras e submetidas a três lavagens sucessivas com água deionizada para remoção do material aderido aos grãos. Para essa medida instrumental foi utilizada uma massa de grãos de aproximadamente 15 g para o feijão e 10 g para a soja, determinada com base em testes preliminares.

Figura 15: Célula de Ottawa com a placa de extrusão (A/OTC/TBC).



Os ensaios foram realizados fixando a distância de 7 mm como deformação máxima após início da compressão, medida determinada em testes preliminares, baseando-se na análise dos resultados de repetibilidade, menor desvio padrão, melhor resposta do sistema; entre outros. Os seguintes parâmetros foram estabelecidos para os ensaios de compressão e extrusão com a célula de Ottawa:

- Temperatura do ambiente e da amostra: $25 \pm 1^\circ\text{C}$
- Célula de carga/ calibração: 50 kg/ 5 kg
- Velocidade de pré-teste (descida): 10 mm/s
- Velocidade de teste: 5 mm/s
- Velocidade de pós-teste (subida): 15 mm/s

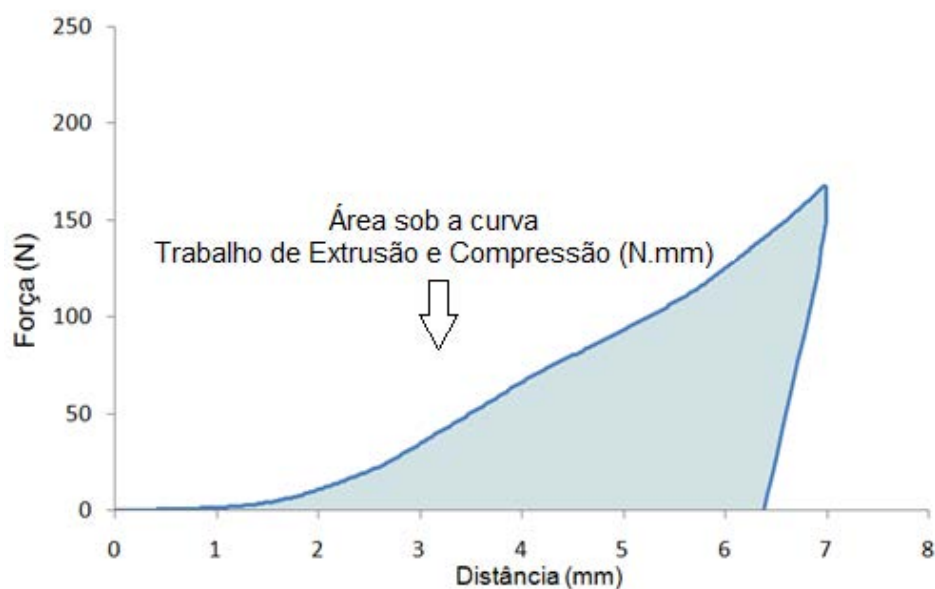
- Distância de penetração: 7 mm

As análises foram realizadas em dez porções (10 repetições) de grãos, coletadas aleatoriamente das amostras submetidas para cada tratamento. Os resultados foram analisados por meio da curva força versus deformação.

Análise de Dados

Para os ensaios de compressão e extrusão, a textura foi avaliada por meio da área sob a curva que descreve o trabalho de compressão e extrusão, obtida da curva força versus deformação, conforme Figura 16, a qual é indicativo da textura de cada tratamento.

Figura 16: Curva força versus deformação para o ensaio de compressão e extrusão



4.6 Delineamento Experimental

Para o delineamento experimental, as variáveis independentes propostas foram a concentração de CaCl_2 (%) na salmoura e a intensidade do tratamento térmico expresso em termos de valor F de esterilização (minutos), nas faixas de valores indicadas na Tabela 4. O valor F mínimo proposto foi calculado com base numa redução de 12 D (doze vezes o valor D com valor F de 2,54 minutos, utilizando F de 4 minutos para maior segurança microbiológica), para garantir a destruição do *Clostridium Botulinum* ($D_{121,1} = 0,2$ minutos). O valor F máximo foi proposto com base em ensaios preliminares com avaliações da textura.

O delineamento experimental proposto para os dois tipos de grãos feijão e soja, constituiu-se no composto central rotacional (DCCR), com duas variáveis independentes (x_1 e x_2) em cinco níveis, com a resposta (variável dependente, y) sendo os parâmetros de textura instrumental (dos ensaios de punção, cisalhamento, e, compressão e extrusão), considerando cinco repetições para o ponto central, conforme Tabelas 3 e 4. A ordem de realização dos experimentos foi aleatorizada.

Tabela 2: Faixa de valores das variáveis independentes

Variável	Valor mínimo	Valor máximo
Concentração de CaCl_2 (%)	0	0,8
Valor F (minutos)	4	18

Tabela 3: Valores utilizados no DCCR para as variáveis independentes

Variável Real	Variável codificada	Níveis				
		-1,41	-1	0	1	1,41
Concentração de CaCl_2 (%)	x_1	0	0,12	0,4	0,68	0,8
Valor F (minutos)	x_2	4	6	11	16	18

Tabela 4: Matriz do delineamento experimental proposto DCCR

Ensaio	Ordem aleatória	Variável Independente			
		Concentração de CaCl ₂		Valor F	
		Codificada (x ₁)	Real (%)	Codificada (x ₂)	Real (min)
1	3	0,00	0,40	1,41	18
2	4	1,00	0,68	1,00	16
3	7	1,41	0,80	0,00	11
4	9	1,00	0,68	-1,00	06
5	12	0,00	0,40	-1,41	04
6	1	-1,00	0,12	-1,00	06
7	8	-1,41	0,00	0,00	11
8	10	-1,00	0,12	1,00	16
9	5	0,00	0,40	0,00	11
10	2	0,00	0,40	0,00	11
11	6	0,00	0,40	0,00	11
12	13	0,00	0,40	0,00	11
13	11	0,00	0,40	0,00	11

4.7 Análise Estatística dos Dados

Os resultados obtidos dos parâmetros de textura em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F foram avaliados por meio de análise estatística (ANOVA), por meio do Software Statistica versão 7.0. (Statsoft, Tulsa, OK, USA).

Os resultados das respostas (Y) aos diferentes tratamentos foram analisados com base na metodologia de superfície de resposta (RODRIGUES, 2006), para os diversos parâmetros de textura obtidos (Equação 4).

$$y_{ijr} = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \beta_{12} x_{1j} x_{2j} + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \dots + e_{ijr} \quad (4)$$

onde,

y = Resposta dos resultados de textura (punção, cisalhamento e compressão e extrusão)

x_1 = Nível para a variável concentração de cloreto de cálcio (%)

x_2 = Nível para a variável valor F de esterilização (minutos)

$\beta_0; \beta_1; \beta_2; \beta_{11}; \beta_{12}; \beta_{22} \dots$ = Parâmetros de ajuste do modelo estatístico

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características Físico-Químicas da Matéria-prima e dos Produtos

A composição centesimal dos produtos cozidos, considerando o líquido excedente presente, do tratamento sem adição de cloreto de cálcio, e, da matéria-prima grãos *in natura*, está apresentada na Tabela 5, juntamente com os resultados de atividade de água e pH.

Tabela 5: Parâmetros físico-químicos dos produtos processados e dos grãos *in natura* de feijão e soja

Componente	Produto Feijão Processado	Grãos Feijão <i>In Natura</i>	Produto Soja Processada	Grãos Soja <i>In Natura</i>
Cinzas (%)	4,48 ±0,02	4,70 ±0,07	5,43 ±0,04	5,91 ±0,63
Proteínas (%)	23,73 ±1,43	24,88 ±2,59	35,65 ±2,06	40,10 ±0,50
Umidade (%)	77,53 ±0,23	10,97 ±0,12	76,07 ±1,36	9,33 ±0,15
Lipídios (%)	0,89 ±0,44	0,56 ±0,30	7,80 ±0,24	11,04 ±1,47
Carboidratos (%)	70,90 ±1,36	69,86 ±2,91	51,11 ±3,50	42,96 ±1,38
Atividade de água	0,957 ±0,001	-	0,953 ±0,003	-
pH	6,57 ±0,03	-	6,72 ±0,01	-

*Média de três replicatas ± desvio padrão. Valores de cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos expressos em base seca.

Observa-se que os grãos *in natura* apresentaram baixo teor de umidade, atendendo as características desejadas adequadas de conservação durante o armazenamento. Os grãos de feijão apresentaram alto teor de carboidratos e os grãos de soja, relativamente, alto teor de proteínas, resultados esperados para os tipos de grãos investigados. A composição de leguminosas pode variar de acordo com a espécie, pode haver maior concentração de lipídios juntamente com maior teor de proteínas, como a soja, ou maior concentração de amidos e menor teor de proteínas como o feijão (KOBLOITZ, 2014).

É possível observar que os produtos processados possuem características de baixa acidez (pH>4,5) e atividade de água elevada, as quais indicam ser necessário tratamento térmico que vise a destruição de esporos de micro-organismos mais patogênicos, mediante a aplicação de tecnologia de

esterilização comercial para que possam ser mantidos estáveis a temperatura ambiente (STUMBO, 1973).

5.2 Resultados de Penetração de Calor no Processamento Térmico das Leguminosas

As Figuras 17 para feijão Carioca e 18 para a soja, representam os resultados de penetração de calor obtidos para os tratamentos térmicos mais representativos, com os perfis de temperatura medidos no centro geométrico do produto (ponto de aquecimento e resfriamento mais lento), com tempos totais de processamento variando entre 50 a 70 minutos para o produto ser aquecido da temperatura inicial média de 10°C até temperaturas próximas a 120°C e resfriados até temperaturas abaixo de 40°C. Os gráficos dos demais processos térmicos obtidos estão presentes no Apêndice 1. Os perfis de temperatura obtidos se apresentam com comportamento típico de produtos mistos aquecidos por condução (ambos os grãos) combinada com convecção do líquido (salmoura).

O perfil de temperatura apresenta uma fase inicial (primeiros minutos) praticamente sem alteração da temperatura, ainda que a temperatura da autoclave se eleve rapidamente em poucos segundos, para a qual se pode atribuir à inércia térmica do produto no interior da embalagem. Em seguida, uma fase de aquecimento com inclinação bastante acentuada, com altas taxas de aquecimento, indicando a existência de um gradiente de temperatura acentuado entre o produto no interior da embalagem e o ambiente da autoclave, combinado com a contribuição da convecção de calor para a troca térmica, período que se prolonga até cerca de 10 a 11 minutos de processamento. Segue-se um período de redução significativa da taxa de aquecimento (aproximadamente entre 15 e 20 minutos), denotado pela inflexão na curva, provavelmente devido a influência da absorção pelo produto da água adicionada com o avanço do cozimento, além da redução da diferença de temperatura entre a autoclave e o interior do produto na embalagem. Pode contribuir também para esta fase a solubilização de compostos na fase líquida e outras transformações, como a gelatinização do amido resultando em aumento da viscosidade, contribuindo para a redução na taxa de aquecimento. Na sequência observa-se uma fase de tendência a estabilização da temperatura do produto, quando esta se aproxima da temperatura do meio de

aquecimento no interior da autoclave, sendo este período, logicamente mais longo (cerca de 10 a 15 minutos) nos tratamentos térmicos considerados excessivos (F_0 de 16 e 18 minutos; Fig. 17e,f e 18e,f), comparado com cerca de 5 ou 6 minutos nos tratamentos térmicos considerados menos intensos (F_0 de 4 e 6 minutos; Fig. 17a,b e 18a,b). Na etapa de resfriamento, observa-se o efeito inverso, ou seja, uma acentuada taxa de resfriamento, devido ao elevado gradiente inicial de temperatura entre o meio (autoclave) e o produto no interior da embalagem, seguida de redução gradativa da taxa de resfriamento na medida em que a temperatura interna do produto se aproxima da temperatura do meio de resfriamento.

Observa-se a contribuição significativa para as altas taxas letais do período de manutenção do produto em temperaturas relativamente elevadas ($T > 115^\circ\text{C}$, 20 a 25 minutos). Os valores de letalidade acumulada (F_0) obtidos foram satisfatórios, com baixo desvio padrão para cada ensaio, com a média dos valores de letalidade acumulada, considerando a medida de quatro sensores, atendendo o delineamento proposto, conforme Tabela 6 ($CV_{\text{médio}} = 7,85$ para o feijão e $CV_{\text{médio}} = 7,12$ para a soja).

Após o processamento térmico, todas as amostras foram submetidas à incubação entre 35 a 37°C, durante 10 dias com embalagem fechada, as quais resultaram sem sinais de alteração nas embalagens, nem quaisquer modificações físicas do produto, sem evidenciar deterioração ou elevação no pH, denotando processos térmicos adequados do ponto de vista microbiológico, conforme item 9 da Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001 (Brasil, 2001) para alimentos processados em embalagens herméticas, estáveis a temperatura ambiente.

Do ponto de vista microbiológico é bastante comum o uso de valores de F_0 de no mínimo 3 minutos para o tratamento térmico de produtos de baixa acidez ($\text{pH} < 4,5$) pré-acondicionados em latas ou em embalagens flexíveis autoclaváveis. A principal questão é que a partir deste valor de F_0 , eventualmente considerado seguro do ponto de vista de deterioração microbiológica, como foi o caso do presente estudo, como limite mínimo recomendado, qual seria o limite máximo que permitisse obter um produto com as demais características (sensoriais e nutricionais) mantidas em níveis aceitáveis.

Figura 17: Penetração de calor para o feijão Carioca para os tratamentos: (a) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=4$; (b) $[\text{CaCl}_2]=0,12$ e $F_0=6$; (c) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=11$; (d) $[\text{CaCl}_2]=0,80$ e $F_0=11$; (e) $[\text{CaCl}_2]=0,12$ e $F_0=16$; (f) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=18$

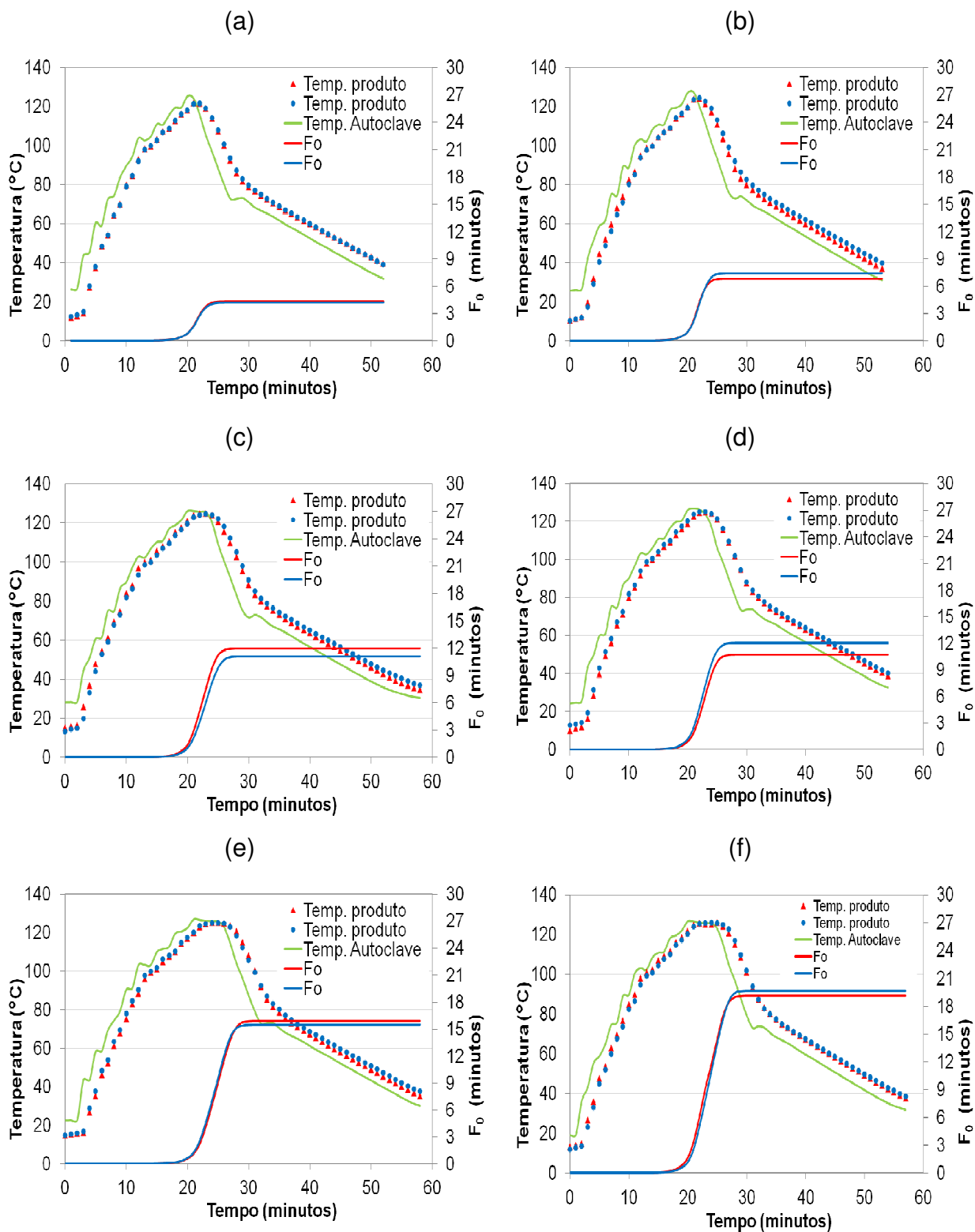


Figura 18: Penetração de calor para a soja para os tratamentos: (a) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=4$; (b) $[\text{CaCl}_2]=0,12$ e $F_0=6$; (c) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=11$; (d) $[\text{CaCl}_2]=0,80$ e $F_0=11$; (e) $[\text{CaCl}_2]=0,12$ e $F_0=16$; (f) $[\text{CaCl}_2]=0,40$ e $F_0=18$

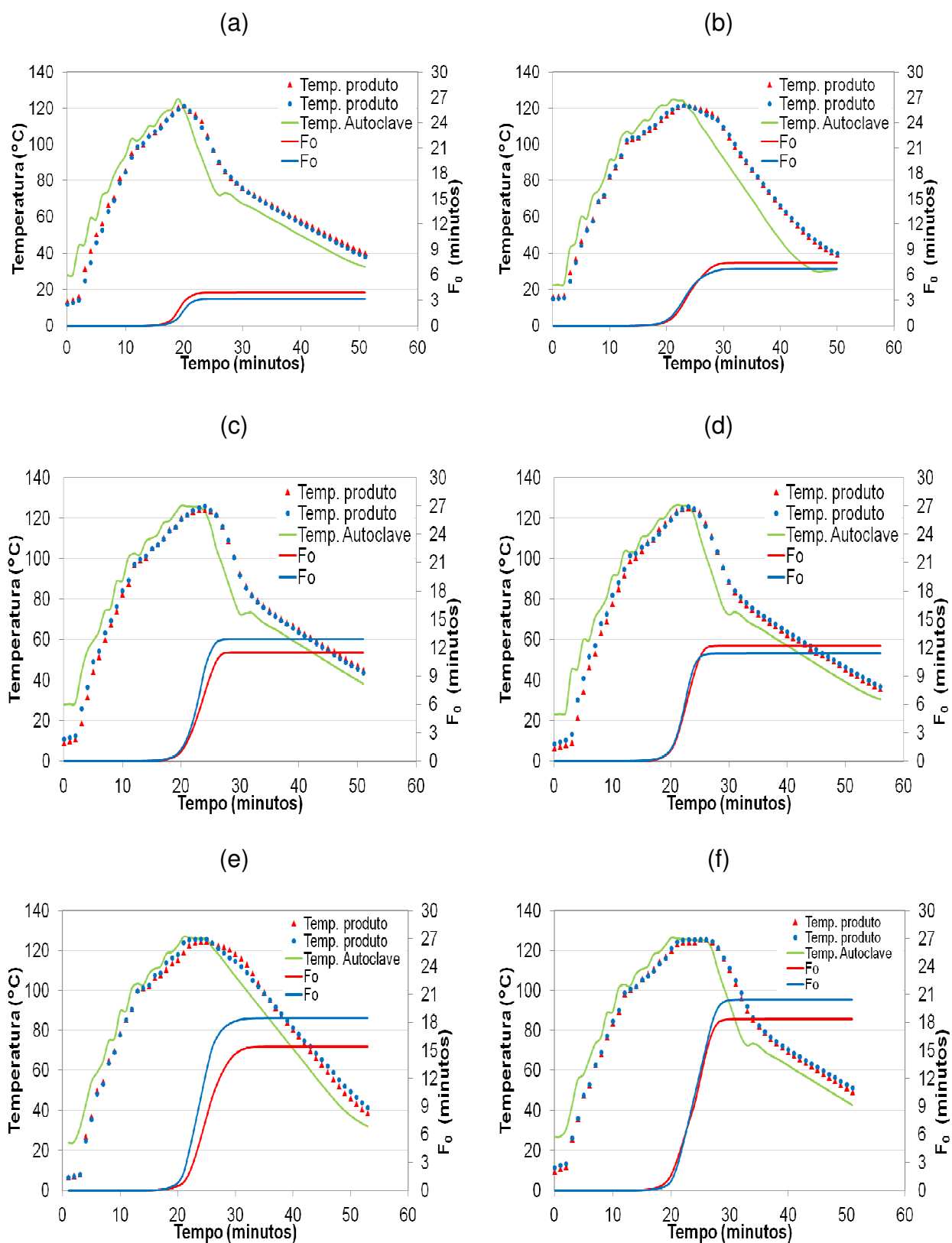


Tabela 6: Valores de letalidade acumulada (F_0) obtida para cada tratamento

Ensaio	[CaCl ₂] (%)	F_0 proposto (minutos)	F_0 efetivo feijão (minutos)	F_0 efetivo soja (minutos)
1	0,40	18	18,77 ±1,92	18,84 ±0,73
2	0,68	16	16,67 ±1,61	16,78 ±0,30
3	0,80	11	11,56 ±0,61	12,00 ±0,67
4	0,68	06	7,31 ±0,38	6,70 ±0,52
5	0,40	04	4,46 ±0,23	3,69 ±0,26
6	0,12	06	7,37 ±0,90	7,22 ±0,36
7	0,00	11	12,12 ±1,30	11,57 ±1,63
8	0,12	16	16,03 ±0,80	16,71 ±0,94
9	0,40	11	12,32 ±1,06	12,00 ±0,67
10	0,40	11	11,39 ±1,76	11,67 ±0,34
11	0,40	11	11,96 ±0,68	12,20 ±1,27
12	0,40	11	11,00 ±0,48	10,42 ±0,88
13	0,40	11	11,64 ±0,53	10,27 ±1,48

Revilla e Vivar-Quintana (2008) trataram termicamente, em autoclave, feijão da variedade Fava e obtiveram valores de F_0 de 3 minutos, sem mencionar a fase de resfriamento, somente com menção à temperatura da autoclave durante a fase de aquecimento, como sendo de 110°C/40 min e 115°C/20 min. Neste estudo foi avaliada a textura, comparando com tratamento térmico realizado a pressão atmosférica (e tempos variáveis) e depois foram avaliadas a textura instrumental e sensorial. Barcelos et al. (1999) realizou tratamento térmico para o feijão variedade Guandu em autoclave variando a temperatura entre 116 e 121 °C, acondicionados em latas, variando os dias de floração da planta originária, obtendo os mesmos valores de esterilização F_0 de 3 minutos somente considerando a fase de aquecimento, para posterior avaliação de textura sensorial e instrumental.

Srinivsa Gopal et al. (2001) estudou o efeito do processamento térmico de sardinha (Mackerel) preparada e condimentada, acondicionada em *retortable pouches*, realizado em autoclave a 121 °C, com valores de F_0 de 6,56 e 8,43 minutos, sobre a textura sensorial, utilizando equipe treinada com 7 membros, ao longo de 1 ano de estocagem com as análises de textura avaliadas a cada 3 meses. Considerando que a textura de pescados, de modo geral, é mais sensível

à temperaturas elevadas do que as leguminosas estudadas, os autores observaram que a textura mais aceita foi observada para o processo térmico mais intenso (F_0 de 8,53 minutos), valor este considerado de baixa intensidade no presente estudo. Segundo os autores esse tratamento resultou em um produto mais macio sensorialmente, e com redução na aceitação sensorial ao longo da estocagem, para características de textura como suculência, firmeza e “fibrosidade”.

5.3 Resultados da Avaliação de Textura

A textura instrumental dos grãos de feijão e soja submetidos aos diferentes tratamentos (combinações das concentrações de cloreto de cálcio e valor F_0) foi avaliada por meio da determinação da resistência à deformação oferecida pelos grãos, pela análise das curvas de força versus deformação obtidas com o texturômetro para os ensaios de punção, de cisalhamento e de compressão e extrusão.

5.3.1 Resultados dos ensaios de punção

As Figuras 19 e 20 apresentam as curvas de força versus deformação representativas (5 ensaios de cada grão mais representativos de um total de 13 ensaios) das análises realizadas, respectivamente, para feijão Carioca e soja. Os resultados para os demais tratamentos estão apresentados no Apêndice 2.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados das análises das curvas de força (N/mm^2) versus deformação (mm) obtidas nos ensaios de punção para o feijão e para a soja respectivamente, em termos dos módulos de Young (Equação 1), expressos em $[(N/mm^2)/(mm/mm)]$, calculados com base na porção inicial linear da curva, para cada amostra analisada, resultantes dos diferentes tratamentos. Foram calculadas as médias, o desvio padrão e o coeficiente de variação, com a finalidade de se avaliar a metodologia de análise instrumental da textura dos produtos submetidos aos diferentes tratamentos, de forma a atender aos objetivos propostos.

Figura 19: Curvas de força versus deformação para o feijão para os ensaios de punção dos diferentes tratamentos de $[\text{CaCl}_2]$ e valor F_0

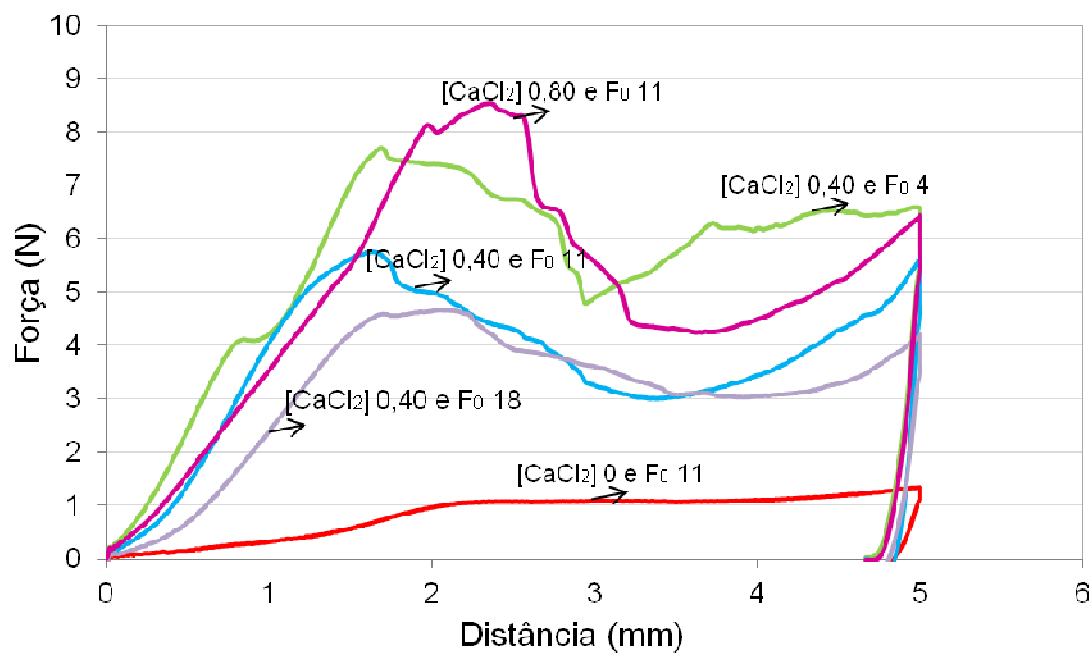


Figura 20: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de punção dos diferentes tratamentos de $[\text{CaCl}_2]$ e valor F_0

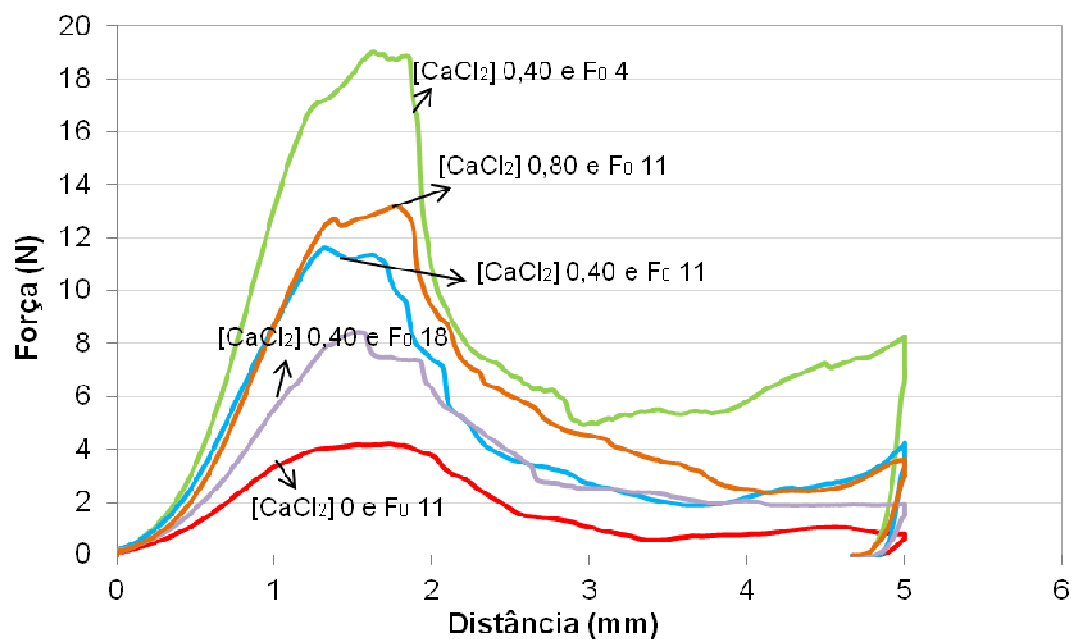


Tabela 7: Resultados do Módulo de Young (E) calculado para os ensaios de punção para o feijão, 20 repetições.

Ensaio	[CaCl ₂] (%)	Valor de F ₀ (minutos)	E _{Mínimo} (N/mm ²)	E _{Máximo} (N/mm ²)	E _{Médio} ±DP (N/mm ²)	CV (%)
1	0,40	18	2,126	3,948	3,045 ±0,513	16,83
2	0,68	16	2,911	4,863	3,663 ±0,583	15,92
3	0,80	11	3,032	4,992	4,003 ±0,611	15,27
4	0,68	06	3,376	6,383	4,860 ±0,965	19,86
5	0,40	04	3,352	7,220	5,080 ±1,184	23,31
6	0,12	06	1,158	2,989	2,168 ±0,515	23,74
7	0,00	11	0,308	1,382	0,655 ±0,319	48,75
8	0,12	16	0,710	2,180	1,517 ±0,436	28,75
9	0,40	11	1,332	4,443	2,691 ±0,773	28,74
10	0,40	11	1,965	4,451	3,177 ±0,732	23,04
11	0,40	11	2,272	3,820	3,077 ±0,477	15,49
12	0,40	11	2,185	4,843	3,438 ±0,727	21,15
13	0,40	11	2,312	4,057	3,138 ±0,530	16,88

DP= Desvio Padrão e CV= Coeficiente de Variação

Observa-se que o módulo de Young obtidos para os tratamentos térmicos menos intensos e concentrações intermediárias de cloreto de cálcio (F₀ de 4 min/[CaCl₂] de 0,4% e F₀ de 6 min/[CaCl₂] de 0,68%) foram maiores que os módulos de Young obtidos para os tratamentos térmicos mais intensos e menores dosagens de cloreto de cálcio (F₀ de 16 min/[CaCl₂] 0,12% e F₀ 18 min/ [CaCl₂] 0,4%), indicando maior resistência oferecida pelo grão ou maior força necessária para promover a deformação das amostras, denotando uma maior dureza do produto final submetido ao tratamento térmico mais brando e em altas dosagens de cloreto de cálcio. Para mesmos valores letalidade acumulada (F₀ de 11 minutos), os maiores módulos de Young foram obtidos para os ensaios com maior dosagem de cloreto de cálcio (Figuras 19 e 20), confirmando significativa contribuição do cloreto de cálcio para maior firmeza dos grãos tanto para feijão quanto para soja. Neste mesmo sentido, observa-se para o feijão Carioca e também para a soja que o tratamento sem adição com cloreto de cálcio (ensaio 7) proporcionou o menor módulo de elasticidade.

Os resultados podem ser considerados conclusivos ao analisar os coeficientes de variação entre 15 a 30% para o feijão e 8 a 20% para a soja,

demonstrando que o grão de soja pode ser considerado mais uniforme quanto à textura por punção. O tratamento sem aplicação de cloreto de cálcio (ensaio 7, F_0 de 11 minutos) para o feijão proporcionou maior coeficiente de variação (48,75%), podendo-se inferir que o cloreto de cálcio atua também uniformizando a textura dos grãos de feijão. A razão deste efeito do cloreto de cálcio na uniformização da textura dos grãos de feijão pode ser atribuída à reação do cálcio com os grupos carboxila da pectina, presentes nos grãos de feijão, formando um gel de pectato de cálcio, criando uma rede tridimensional mais estável que dá firmeza adicional ao tecido celular, que suporta os tecidos e minimiza o amaciamento dos mesmos. (LIMA; SIQUEIRA, 2008).

Tabela 8: Resultados do Módulo de Young (E) calculado para os ensaios de punção para soja, 20 repetições

Ensaio	[CaCl ₂] (%)	Valor de F_0 (minutos)	$E_{\text{Mínimo}}$ (N/mm ²)	$E_{\text{Máximo}}$ (N/mm ²)	$E_{\text{Médio}} \pm DP$ (N/mm ²)	CV (%)
1	0,40	18	4,356	6,983	5,961 ± 0,671	11,26
2	0,68	16	5,681	8,088	6,866 ± 0,700	10,20
3	0,80	11	8,774	13,877	10,283 ± 1,612	15,67
4	0,68	06	8,618	13,244	10,903 ± 1,292	11,85
5	0,40	04	12,529	18,854	16,153 ± 1,557	9,64
6	0,12	06	4,130	6,445	5,502 ± 0,736	13,37
7	0,00	11	2,646	3,950	3,257 ± 0,436	13,38
8	0,12	16	3,571	4,882	4,036 ± 0,353	8,75
9	0,40	11	5,460	9,385	7,095 ± 1,230	17,34
10	0,40	11	5,736	10,546	8,220 ± 1,359	16,54
11	0,40	11	6,953	9,916	8,386 ± 0,971	11,58
12	0,40	11	5,391	10,661	7,389 ± 1,451	19,63
13	0,40	11	5,840	10,007	7,589 ± 1,203	15,86

DP= Desvio Padrão e CV= Coeficiente de Variação

Revilla e Vivar-Quintana (2008) avaliaram a textura de feijão Fava, acondicionados em vidros, submetidos a diferentes tratamentos térmicos com adição de cloreto de cálcio na salmoura de hidratação, e analisando o efeito da adição de agente quelante (EDTA) no grão hidratado antes do processo térmico, com o objetivo de avaliar a textura de grãos provenientes de diferentes regiões geográficas. A textura instrumental foi realizada por meio de pontas de provas

cilíndricas com 10 mm e 2 mm de diâmetro, e obtiveram valores médios de 35,33 e 2,88 N, respectivamente, para a força máxima dos grãos cozidos durante 30 minutos a pressão atmosférica com 2% de cloreto de sódio, correspondente a 0,45 e 0,92 N/mm² respectivamente. Os autores não identificaram qualquer efeito significativo devido à adição de EDTA. No presente trabalho, utilizando a ponta de prova de 5 mm de diâmetro, para o feijão Carioca, a maior força máxima, calculada a partir dos dados da curva versus deformação, foi próxima de 8,5 N, correspondente à 0,43 N/mm² para o feijão, obtidas para o tratamento com 0,8% de cloreto de cálcio e F_o de 11 minutos (Fig. 19), valor comparável aos obtidos por Revilla e Vivar-Quintana (2008). Para a soja, também investigada no presente estudo, a maior força máxima calculada foi de 0,97 N/mm², correspondente a 19 N, para o tratamento com 0,4% de cloreto de cálcio e F_o de 4 minutos (Fig. 20). Não foram encontrados trabalhos científicos com soja submetida à tratamentos em condições similares ao do presente estudo.

Quast (1977) cozinhou grãos de feijão Carioca, feijão Preto, soja e ervilha em panela com pressão (127°C) e à pressão atmosférica (98°C), por tempos variáveis (considerando somente correções para os tempos de aquecimento; e submetendo os grãos a resfriamento em água corrente), com avaliação de textura instrumental utilizando cisalhamento com célula Kramer, que consiste em lâminas que cisalham uma massa de grãos, com os resultados avaliados pela força máxima. Os autores consideraram grãos macios e aptos para consumo os valores de força máxima abaixo de 11,12 N/g para todos os tipos de grãos. No presente estudo, os máximos valores, obtidos a partir dos ensaios de punção, para o feijão foi de 14,16 N/g para o tratamento com 0,8% de cloreto de cálcio e valor F_o de 11 minutos, e, de 47,5 N/g para a soja para o tratamento com 0,4% de cloreto de cálcio e F_o de 4 minutos, valores estes com firmeza acima da recomendada, com base nos valores indicados no trabalho de Quast (1977).

Lima e Siqueira (2008) submeteram ervilhas em grãos de diferentes diâmetros ao processo de hidratação com água e com salmoura com cloreto de cálcio, seguida do envase dos grãos de ervilha hidratados, com adição de água pura e outros casos com salmoura contendo 2% de NaCl + 80 ppm de CaCl₂, com salmoura contendo 2% de NaCl + 100 ppm de CaCl₂. As ervilhas enlatadas foram tratadas termicamente em autoclave vertical a temperatura de 128°C por 6

minutos (nada é mencionado sobre histórico do aquecimento), e, posteriormente resfriadas até a temperatura de 45°C. Após 10 dias de armazenamento foram analisados o peso drenado e características sensoriais com relação à cor, aparência, aderência das cascas e grãos estourados, textura e também aspectos da salmoura. Os autores concluíram que a adição de cloreto de cálcio contribuiu para melhorar a textura sensorial, a integridade e a aparência dos grãos, para cloreto de cálcio adicionado tanto na água de hidratação quanto na salmoura para processo térmico, atuando no enrijecimento dos grãos. Segundo os autores, a ação foi mais efetiva quando o cloreto de cálcio foi adicionado na salmoura para o processo térmico, de modo similar aos resultados encontrados no presente estudo, considerando os tratamentos para o feijão Carioca e para a soja.

Superfície de resposta para o módulo de Young em função de $[CaCl_2]$ e F_0

Conforme delineamento experimental empregado (Tabela 4), os experimentos resultaram nas respostas de textura por meio dos ensaios de punção para os efeitos dos diversos tratamentos para os grãos de feijão Carioca e soja. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e à análise de regressão múltipla para verificação do ajuste ao modelo proposto (Equação 4). Para analisar os efeitos principais e interações das variáveis F_0 e concentração de cloreto de cálcio nos parâmetros de textura, foi utilizado o método de Superfície de Resposta utilizando o software Statistica 7.0.

Feijão Carioca

A análise de variância com nível de significância de 5%, para o parâmetro de textura “módulo de Young”, calculado com base na metodologia de punção, mostrou efeitos significativos ($p < 0,05$) para F_0 e concentração de cloreto de cálcio (Tabela 9), contudo as interações entre esses resultaram não significativas ($p > 0,05$). A falta de ajuste do modelo resultou não significativa ($p > 0,05$), mostrando que o erro não é significativo, e a equação final ajustada (Equação 5) tem capacidade em predizer a variável resposta (módulo de Young) com boa

precisão ($R^2=95,30\%$) em função das variáveis independentes F_0 e concentração de cloreto de cálcio.

Quando a análise de variância foi realizada novamente desconsiderando o efeito não significativo das interações de cloreto de cálcio e valor F_0 (Tabela 10), o valor p da falta de ajuste se altera de 0,518 para 0,529, mantendo o erro não significativo e os demais valores p para os efeitos lineares e quadráticos permanecem sem alterações significativas.

Tabela 9: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção)

Fator	Soma dos Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	11,452	1	11,452	0,000	*
[CaCl ₂] ²	1,257	1	1,257	0,014	*
F_0	2,785	1	2,785	0,003	*
$(F_0)^2$	1,348	1	1,348	0,012	*
[CaCl ₂] x F_0	0,075	1	0,075	0,367	ns
Falta de Ajuste	0,194	3	0,065	0,518	ns
Erro	0,290	4	0,072		
Total	17,790	12			
R^2 (%)	95,34				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Tabela 10: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) considerando somente os efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	11,452	1	11,452	0,000	*
[CaCl ₂] ²	1,257	1	1,257	0,014	*
F_0	2,785	1	2,785	0,003	*
$(F_0)^2$	1,348	1	1,348	0,012	*
Falta de Ajuste	0,268	4	0,067	0,529	ns
Erro	0,290	4	0,072		
Total	17,790	12			
R^2 (%)	95,30				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Com relação à regressão pode-se dizer que os dados estão bem ajustados para o método de punção ($p < 0,05$) resultando em um bom modelo para a estimativa das respostas para o módulo de Young. Considerando os fatores significativos ($p < 0,05$), a Equação 5 foi obtida como modelo matemático preditivo para o parâmetro módulo de Young.

$$E = 4,018 + 8,521(C) - 5,337(C)^2 - 0,512(F_0) + 0,179(F_0)^2 \quad (5)$$

onde,

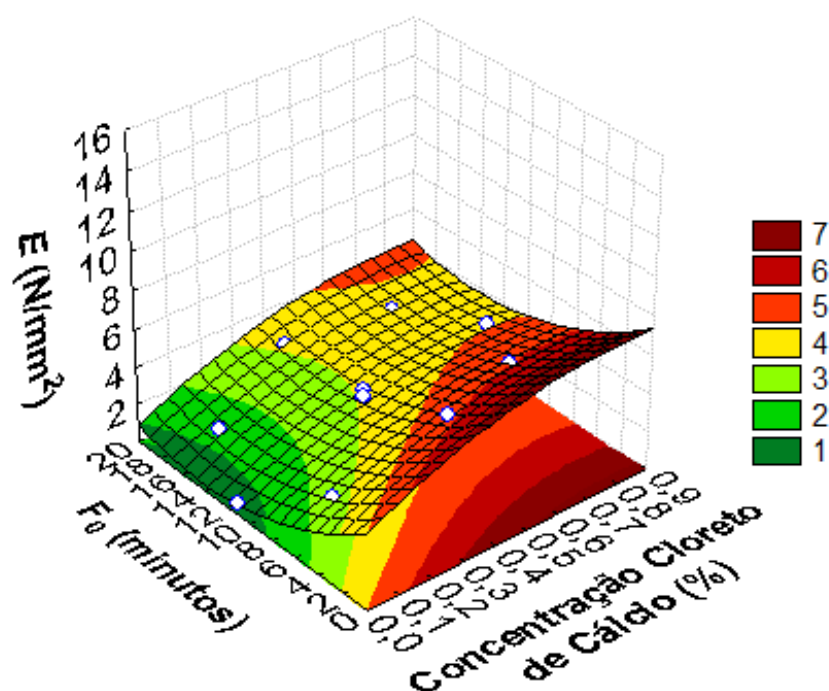
E = resposta para o módulo de Young (N/mm^2)

C = concentração de cloreto de cálcio (%)

F_0 = valor F em minutos à $T_{\text{ref}} = 121^\circ\text{C}$ e $z = 10^\circ\text{C}$

A partir da Equação 5, pode-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos para a concentração de cloreto de cálcio e valor F_0 , como apresentado na Figura 30. Observa-se que quanto menor o valor de F_0 e maior a concentração de cloreto de cálcio, maior o módulo de Young para o feijão, indicando que a tensão normal é maior em função da maior deformação.

Figura 21: Superfície de Resposta para prever o módulo de elasticidade para feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e F_0



Soja

A análise de variância para o “módulo de Young”, calculado com base nos ensaios de punção para a soja, mostrou efeitos lineares e quadráticos significativos ($p < 0,05$) para F_o e concentração de cloreto de cálcio (Tabela 11), contudo as interações entre eles resultaram não significativas ($p > 0,05$). A falta de ajuste do modelo resultou significativa ($p < 0,05$), mostrando que o erro é significativo.

Quando a análise de variância foi realizada novamente desconsiderando o efeito não significativo das interações de cloreto de cálcio e valor F_o (Tabela 12), o valor p da falta de ajuste se altera de 0,006 para 0,008, mantendo o erro significativo para o modelo proposto.

Tabela 11: Resultado da análise de variância para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) da soja

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	41,296	1	41,296	0,000	*
[CaCl ₂] ²	6,964	1	6,964	0,009	*
F_o	49,365	1	49,365	0,000	*
$(F_o)^2$	8,764	1	8,764	0,006	*
[CaCl ₂] x F_o	1,653	1	1,653	0,080	ns
Falta de Ajuste	19,549	3	6,516	0,006	*
Erro	1,209	4	0,302		
Total	131,147	12			
R ² (%)	72,86				
Valor p da Regressão	0,009				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Com relação à análise de regressão pode-se dizer que os dados da soja estão bem ajustados para o método de punção ($p < 0,05$) resultando em modelo a para a estimativa da resposta. Considerando somente os efeitos significativos ($p < 0,05$) a Equação 6 foi obtida, como modelo matemático preditivo para o módulo de Young para a soja.

Tabela 12: Resultado da análise de variância para os efeitos dos tratamentos sobre o módulo de Young E (punção) da soja, considerando somente os efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	41,296	1	41,296	<0,001	*
[CaCl ₂] ²	6,964	1	6,964	0,009	*
F _o	49,365	1	49,365	<0,001	*
(F _o) ²	8,764	1	8,764	0,006	*
Falta de Ajuste	21,202	4	5,301	0,008	*
Erro	1,209	4	0,302		
Total	131,147	12			
R ² (%)	74,36				
Valor p da Regressão	0,009				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

$$E = 13,507 + 18,121(C) - 12,560(C)^2 - 1,502(F_o) + 0,456(F_o)^2 \quad (6)$$

onde,

E = resposta do módulo de Young (N/mm²)

C = concentração de cloreto de cálcio (%)

F_o = valor F em minutos a $T_{ref} = 121 \text{ }^\circ\text{C}$ e $z = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

A partir da Equação 6 pôde-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos para a concentração de cloreto de cálcio e valor F_o como apresentado na Figura 22.

Resultados de punção para produtos comerciais similares

A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios de punção (módulo de Young), para os grãos comerciais para o feijão e para a soja obtidos a partir de dois lotes distintos. Pode-se observar que os valores do módulo de Young para as amostras comerciais estão próximos dos valores obtidos no presente estudo para os tratamentos com F_o de 11 minutos e sem aplicação de cloreto de cálcio (ensaio 7), com E de 0,65 N/mm² para o feijão e 3,25 N/mm² para a soja, os quais proporcionaram valores para o módulo de Young bem inferiores aos tratamentos com aplicação de cloreto de cálcio, como o ensaio 3 com 0,8% de cloreto de

cálcio e F_0 de 11 minutos com E de 4 N/mm² para o feijão e 10,2 N/mm² para a soja. Desta forma, é possível inferir que o cloreto de cálcio contribuiu para maior firmeza dos grãos, no caso do presente estudo, e, pode-se concluir que produtos comerciais aparentemente estão superprocessados.

Figura 22: Superfície de Resposta para prever o módulo de Young para a soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0

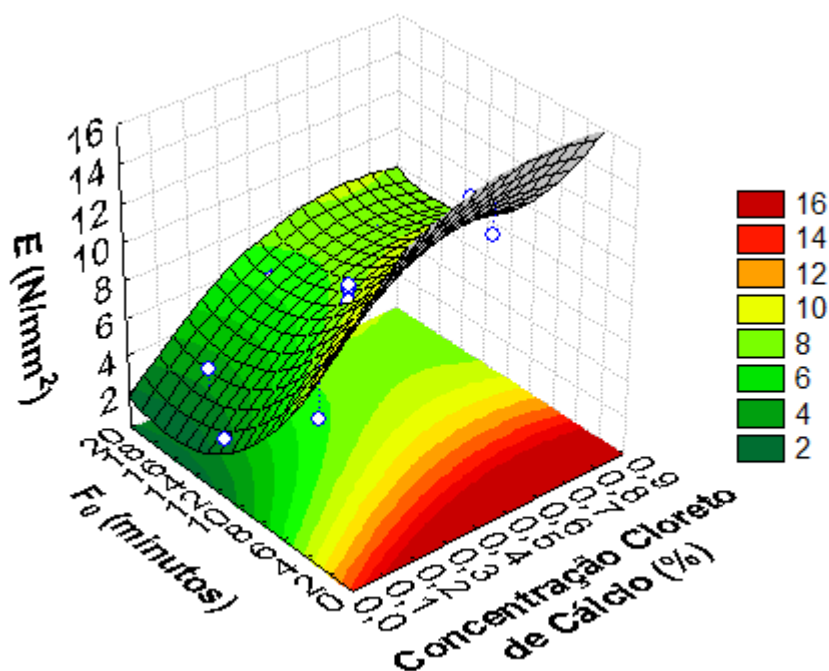


Tabela 13: Resultados de textura dos ensaios de punção (módulo de Young E) para os grãos em conserva comerciais

Produto	$E_{\text{Mínimo}}$ (N/mm ²)	$E_{\text{Máximo}}$ (N/mm ²)	$E_{\text{Médio}} \pm \text{Desvio}$ Padrão (N/mm ²)	CV (%)
Feijão Comercial lote 1	0,17	1,60	0,74 \pm 0,43	57,82
Feijão Comercial lote 2	0,19	1,87	0,72 \pm 0,46	63,04
Soja Comercial lote 1	2,79	5,41	4,15 \pm 0,88	21,20
Soja Comercial lote 2	3,63	7,26	5,50 \pm 1,21	22,02

Os coeficientes de variação obtidos para as conservas comerciais de grãos, 57,8 a 63% para o feijão e 21,2 a 22% para a soja, consideravelmente maiores que os dos tratamentos estudados, demonstram a falta de uniformidade dos produtos comerciais.

5.3.2 Resultados para os ensaios de cisalhamento

As Figuras 23 e 24 apresentam as curvas de força versus deformação representativas de 5 ensaios de cisalhamento para o feijão e para a soja. Os picos de força observados para as amostras dos grãos foram maiores para os tratamentos envolvendo menores letalidades acumuladas (F_0) e maiores concentrações de cloreto de cálcio. Pode-se observar também grande diferença de força máxima para ensaios de mesmo valor de F_0 tanto com ausência e com a presença de cloreto de cálcio, como é o caso do tratamento com 0,8% de cloreto cálcio e F_0 de 11 minutos com relação ao tratamento sem cloreto de cálcio, apresentando uma diferença entre os tratamentos de 6 N para o feijão (Figura 23) e 5 N para a soja (Figura 24). Para os mesmos valores de concentração de cloreto de cálcio (0,4%) e valores extremos de F_0 (4 e 18 minutos), a força máxima obtida (Figura 23) entre os dois tratamentos foi menor para o feijão, 4 N, e maior para soja, 5 N (Figura 24), indicando que o feijão é mais suscetível as variações de concentração de cloreto de cálcio do que o tratamento térmico.

Figura 23: Curvas força versus deformação para o feijão para os ensaios de cisalhamento para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0 .

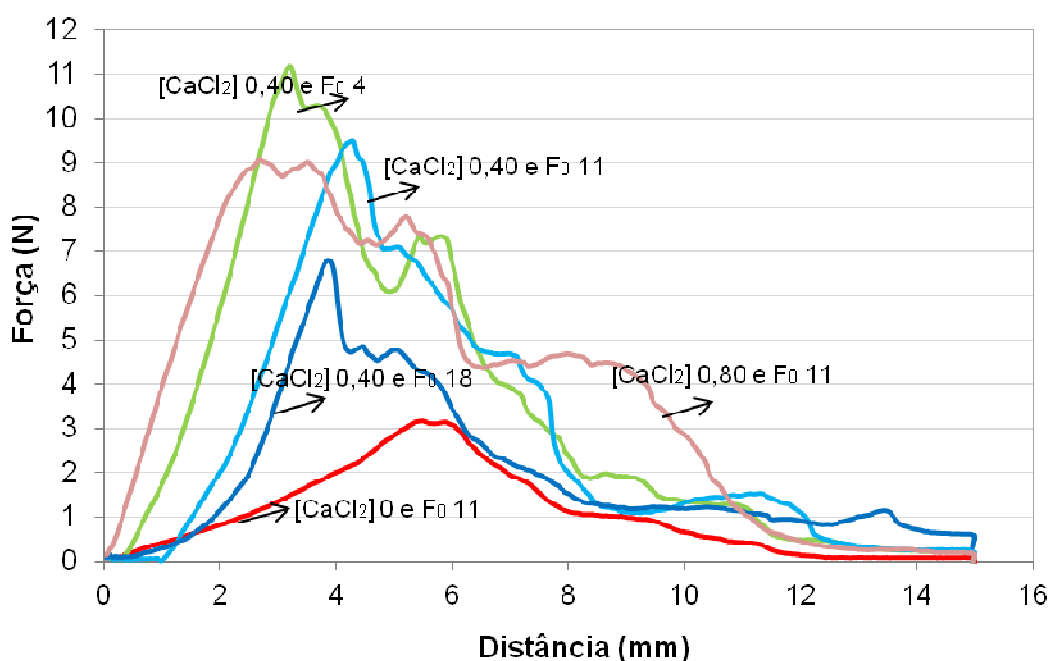
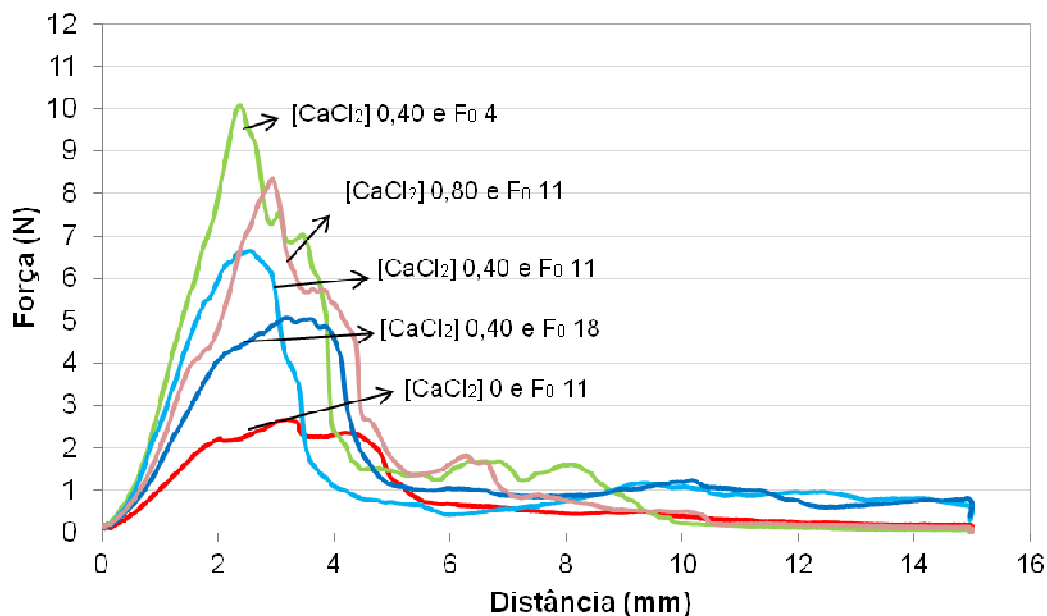


Figura 24: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de cisalhamento para diferentes tratamentos de $[\text{CaCl}_2]$ e de F_0



Os resultados calculados dos picos de força máxima (N), obtidos a partir das curvas força versus deformação para os ensaios de cisalhamento para as amostras analisadas de feijão e soja, resultantes dos diferentes tratamentos térmicos e concentrações de cloreto de cálcio, são mostrados nas Tabelas 14 e 15. Pode-se observar que a força máxima para os tratamentos de baixa intensidade (F_0 de 4 e 6 minutos) foram maiores que a força máxima para os tratamentos térmicos mais intensos (F_0 de 16 e 18 minutos), considerando a mesma aplicação de cloreto de cálcio (0,4%), indicando maior força necessária para promover a deformação para os grãos submetidos ao tratamento térmico menos intenso. As repetições do ponto central (ensaios 9 a 10), demonstram boa repetibilidade dos dados com valores de força em torno de 8 N e $CV_{\text{médio}}$ de 10,5%. Os resultados obtidos para todos os ensaios de cisalhamento, podem ser considerados conclusivos ao analisar os coeficientes de variação variando entre 7 e 15% para o feijão e 4 a 12% para a soja, com exceção do ensaio sem aplicação de cloreto de cálcio (ensaio 7, $CV = 25\%$), dessa maneira pode-se observar que o cloreto de cálcio atua também uniformizando a textura dos grãos.

Tabela 14: Resultados de força máxima de cisalhamento para o feijão, expressa em termos de menor valor, maior valor, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.

Ensaio	[CaCl ₂] (%)	Valor de F ₀ (minutos)	Força Máxima (N)			
			Valor menor	Valor maior	Média ±Desvio Padrão	C.V (%)
1	0,40	18	6,56	8,21	7,33 ±0,51	7,00
2	0,68	16	6,95	10,42	8,85 ±1,13	12,81
3	0,80	11	8,68	11,68	10,06 ±1,07	10,65
4	0,68	06	7,51	10,59	9,60 ±0,87	9,07
5	0,40	04	8,18	11,16	9,50 ±0,86	9,01
6	0,12	06	4,78	7,21	5,86 ±0,75	12,85
7	0,00	11	1,55	3,57	2,50 ±0,63	25,34
8	0,12	16	3,20	5,96	4,80 ±0,76	15,86
9	0,40	11	6,64	9,71	8,34 ±0,93	11,09
10	0,40	11	7,06	9,30	8,00 ±0,76	9,49
11	0,40	11	6,35	8,86	7,77 ±0,89	11,50
12	0,40	11	6,41	10,12	8,23 ±0,95	11,61
13	0,40	11	7,10	9,22	8,02 ±0,72	8,94

Revilla e Vivar-Quintana (2008) avaliaram cisalhamento, empregando a lâmina Warner-Bratzler, de feijão Fava, acondicionados em potes de vidro submetidos a diferentes tratamentos térmicos em autoclave e pressão atmosférica, com adição de cloreto de cálcio na salmoura de hidratação. O resultado da força máxima 10,80 N, para grãos cozidos durante 30 minutos em pressão atmosférica, é similar aos obtidos no presente trabalho, especificamente em relação ao tratamento com 0,8% de cloreto de cálcio e valor F₀ de 11 minutos (10,06 N). É importante ressaltar que os resultados obtidos nos dois estudos foram obtidos para os grãos inteiros sem remoção da casca.

Terra (1991) estudou a textura de feijão Carioca por meio de cisalhamento com célula de Kramer para grãos enlatados na proporção 1 parte de grãos para 4 partes de solução salina contendo 2% de cloreto de sódio, submetidos a diferentes tratamentos térmicos em autoclave variando temperatura e tempo total de processo; os resultados foram avaliados por meio da força máxima. Para o tratamento mais curto de 17,2 minutos a 121°C foram obtidos os maiores valores de força máxima de 5,54 N/g, considerados pelo autor como grãos macios,

valores de força abaixo de 11 N/g, baseado no trabalho de Quast e Silva (1977). No presente estudo, pelo ensaio de cisalhamento para corte de um grão de feijão, calculado com a mesma base, ou seja, massa de um grão, o maior valor de força máxima obtido foi de 16,76 N/g (10,06 N/600 mg), apresentado para o tratamento com 0,8% de cloreto de cálcio e valor F_0 de 11 minutos (valores máximos e mínimos variando entre 14,46 e 19,46 N/g). Utilizando o mesmo critério do autor (força máxima abaixo de 11 N/g), pode-se dizer que os ensaios 6, 7 e 8, apresentaram os valores calculados de 9,7; 4,2 e 8 N/g, respectivamente, e, portanto, poderiam ser considerados como proporcionando grãos macios.

Tabela 15: Resultados de força máxima de cisalhamento para a soja, expressa em termos de menor valor, maior valor, média \pm desvio padrão e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.

Força Máxima (N)						
Ensaio	[CaCl₂] (%)	Valor de F₀ (minutos)	Valor menor	Valor maior	Média \pm Desvio Padrão	C.V (%)
1	0,40	18	4,08	5,86	4,90 \pm 0,59	11,94
2	0,68	16	5,21	7,06	6,18 \pm 0,60	9,71
3	0,80	11	7,02	8,22	7,62 \pm 0,33	4,38
4	0,68	06	6,89	8,78	8,11 \pm 0,52	6,46
5	0,40	04	7,94	10,10	9,06 \pm 0,71	7,84
6	0,12	06	3,83	5,06	4,45 \pm 0,38	8,61
7	0,00	11	1,91	3,09	2,52 \pm 0,36	14,23
8	0,12	16	3,26	3,96	3,68 \pm 0,21	5,80
9	0,40	11	5,09	6,87	6,15 \pm 0,50	8,18
10	0,40	11	6,11	7,67	6,98 \pm 0,52	7,39
11	0,40	11	5,44	7,02	6,26 \pm 0,56	8,99
12	0,40	11	5,41	7,20	6,37 \pm 0,55	8,57
13	0,40	11	5,45	7,32	6,38 \pm 0,52	8,12

Superfície de resposta da força máxima de cisalhamento em função de [CaCl₂] e F₀

Conforme delineamento experimental utilizado (Tabela 4), os experimentos resultaram em resposta de textura por meio de cisalhamento para os efeitos dos

diversos tratamentos para os grãos de feijão Carioca e soja. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e à análise de regressão múltipla para verificação do ajuste ao modelo proposto (Equação 5). Para analisar os efeitos principais e interações das variáveis F_0 e concentração de cloreto de cálcio nos parâmetros de textura, foi utilizado o método de Superfície de Resposta utilizando o software Statistica 7.0.

Feijão Carioca

A análise de variância para o parâmetro de textura expresso em termos da força máxima, obtida com base nos ensaios de cisalhamento, mostrou efeitos significativos ($p < 0,05$) para a concentração de cloreto de cálcio (linear e quadrático) e linear para F_0 (Tabela 16). Os resultados também mostraram não haver interação significativa entre a concentração de cloreto de cálcio e F_0 .

A falta de ajuste do modelo resultou não significativa ($p > 0,05$), mostrando que o erro não é significativo, e a equação (Equação 7) tem capacidade em prever a força máxima de cisalhamento com precisão ($R^2 = 96,04\%$) em função das variáveis independentes F_0 e concentração de cloreto de cálcio.

Para a força máxima de cisalhamento, o valor p da falta de ajuste resultou significativo, indicando que a resposta apresenta maior erro experimental com dados não ajustados, porém quando os fatores não significativos (fator quadrático do F_0 e a interação entre F_0 e $[CaCl_2]$) são ignorados na análise de variância (Tabela 17), o valor p da falta de ajuste altera-se para 0,057, tornando o erro não significativo.

Com relação à análise de regressão múltipla pode-se dizer que os dados estão bem ajustados para o método de cisalhamento com $p < 0,05$ resultando em um bom modelo para a estimativa da resposta.

Considerando os fatores significativos ($p < 0,05$), a Equação 7 foi obtida como modelo matemático preditivo para o parâmetro de textura força máxima de cisalhamento.

Tabela 16: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	42,642	1	42,642	<0,001	*
[CaCl ₂] ²	5,825	1	5,825	<0,001	*
F ₀	2,994	1	2,994	0,001	*
(F ₀) ²	0,157	1	0,157	0,145	ns
[CaCl ₂] x F ₀	0,028	1	0,028	0,489	ns
Falta de Ajuste	1,206	3	0,402	0,034	*
Erro	0,193	4	0,048		
Total	53,404	12			
R ² (%)	95,50				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo (p≤0,05); ns= Efeito não significativo (p>0,05)

Tabela 17: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento considerando somente os efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	42,642	1	42,642	<0,001	*
[CaCl ₂] ²	6,183	1	6,183	<0,001	*
F ₀	2,994	1	2,994	0,001	*
Falta de Ajuste	1,392	5	0,278	0,057	ns
Erro	0,193	4	0,048		
Total	53,404	12			
R ² (%)	96,04				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo (p≤0,05); ns= Efeito não significativo (p>0,05)

$$F_{m\acute{a}x} = 4,374 + 17,590(C) - 11,734(C)^2 - 0,123(F_0) \quad (7)$$

onde,

$F_{m\acute{a}x}$ = resposta da força máxima de cisalhamento (N)

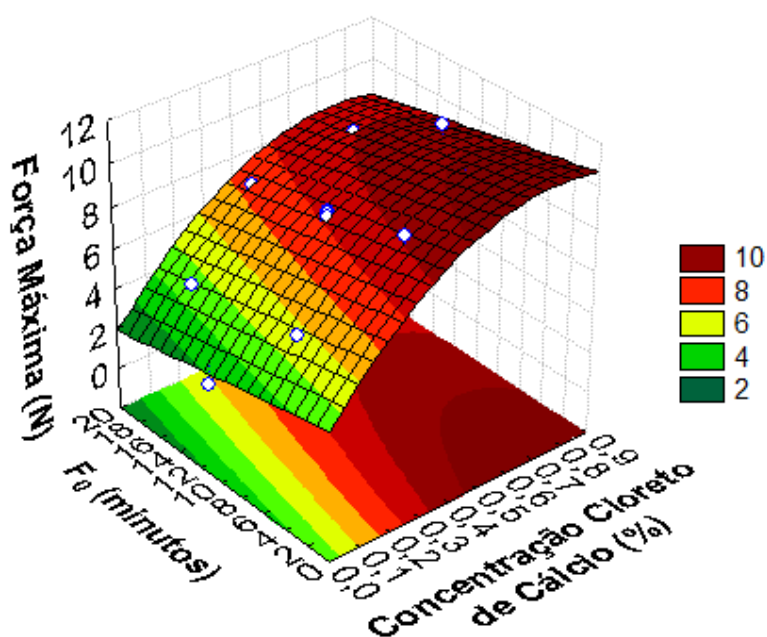
C= concentração de cloreto de cálcio (%)

F₀= valor F em minutos á T_{ref}= 121 °C e z= 10 °C

A partir da Equação 7 pode-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0 como apresentado na Figura 25. É possível verificar que o efeito quadrático para F_0 não contribuiu para força máxima de cisalhamento para o grão de feijão termicamente processado.

Observa-se que quanto menor os valores de F_0 e maior a concentração de cloreto de cálcio (C), maior a força aplicada para cisalhamento do feijão, com efeito mais pronunciado para este último (Eq. 7). Pode-se atribuir esse efeito do cloreto de cálcio no feijão à presença da pectina formando o pectato de cálcio, um dos responsáveis pela forte influência na textura, minimizando o amolecimento do grão processado. Segundo Njoroge et al. (2014), o conteúdo de pectina presente no grão de feijão comum de variedade similar ao Carioca foi determinado em 13,37% para o grão *in natura* e 10,97% para o grão processado (96°C/2 h/ pressão atmosférica), considerado pelos autores como “fully cooked”. No mesmo trabalho, os autores concluíram que além da pectina estar presente em elevados teores nessa variedade de feijão comum, a pectina contém frações ramificadas e menos solúvel em água, permitindo maior interação com o cálcio no tecido vegetal.

Figura 25: Superfície de Resposta para prever a força máxima de cisalhamento para o feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0 .



Soja

A análise de variância para a força máxima para cisalhamento da soja mostrou efeitos significativos ($p < 0,05$) para a concentração de cloreto de cálcio linear e quadrática e linear para F_o (Tabela 18). Os resultados também mostraram não haver interação significativa entre a concentração de cloreto de cálcio e F_o .

A falta de ajuste do modelo resultou não significativa ($p > 0,05$), mostrando que o erro não foi significativo.

Quando a análise de variância foi realizada novamente considerando somente os efeitos significativos (Tabela 19), o valor p da falta de ajuste se altera para 0,087, mantendo o erro não significativo, indicando que o modelo está bem ajustado para a resposta. Os demais valores p significativos permaneceram sem alterações.

Tabela 18: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento da soja

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	22,328	1	22,328	<0,001	*
[CaCl ₂] ²	4,263	1	4,263	0,003	*
F_o	9,213	1	9,213	0,001	*
$(F_o)^2$	0,189	1	0,189	0,250	ns
[CaCl ₂] x F_o	0,330	1	0,330	0,150	ns
Falta de Ajuste	1,796	3	0,599	0,062	ns
Erro	0,418	4	0,104		
Total	38,851	12			
R^2 (%)	90,23				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

A equação final (Equação 8) tem capacidade em prever a resposta (força máxima) com precisão ($R^2=90,62\%$) em função das variáveis independentes F_o e concentração de cloreto de cálcio.

Com relação à análise de regressão múltipla, pode-se concluir que os dados estão bem ajustados ao modelo proposto para a força máxima de cisalhamento da soja com $p < 0,05$, resultando em um bom modelo para a estimativa resposta.

Considerando os fatores significativos ($p < 0,05$) a Equação 8, foi obtida para o modelo matemático preditivo para a força máxima de cisalhamento da soja.

Tabela 19: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre a força máxima de cisalhamento da soja considerando somente os efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	22,328	1	22,328	<,001	*
[CaCl ₂] ²	4,578	1	4,578	0,003	*
F ₀	9,213	1	9,213	0,001	*
Falta de Ajuste	2,315	5	0,463	0,087	Ns
Erro	0,418	4	0,104		
Total	38,851	12			
R ² (%)	90,62				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

$$F_{m\acute{a}x} = 4,927 + 14,014(C) - 10,097(C)^2 - 0,215(F_0) \quad (8)$$

onde,

$F_{m\acute{a}x}$ = resposta da força máxima de cisalhamento para a soja (N)

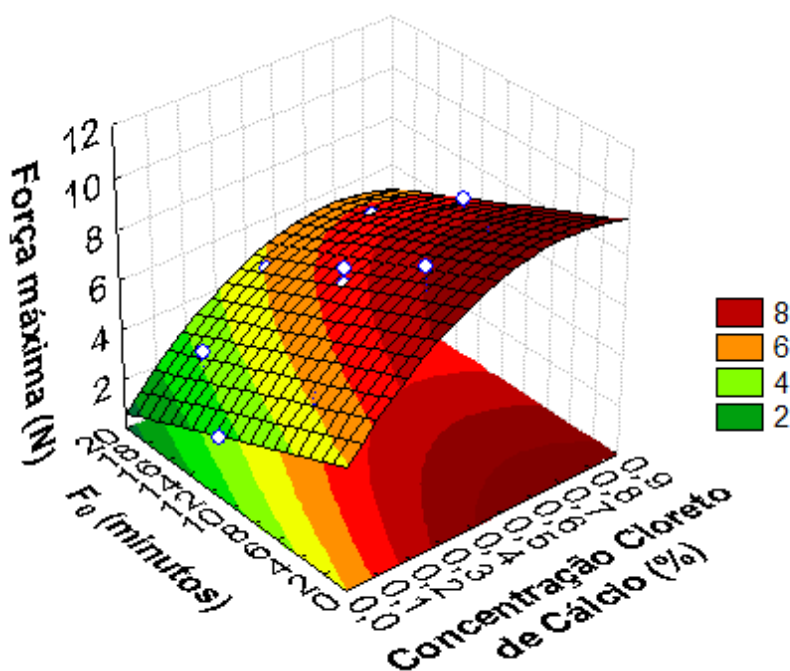
C= concentração de cloreto de cálcio (%)

F₀= valor F em minutos á T_{ref}= 121 °C e z= 10 °C

A partir da Equação 8 pôde-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos da concentração de cloreto de cálcio e linear do valor F₀, como apresentado na Figura 26. Observa-se que quanto menor os valores de F₀ e maior a concentração de cloreto de cálcio, maior a força aplicada para o cisalhamento da soja. É possível verificar que F₀ na sua forma quadrática não contribuiu para os valores de textura para cisalhamento da soja. Os efeitos de F₀ para valores mais altos (acima de 11 minutos) contribuem menos para a força máxima aplicada. Observa-se menor influência do cloreto de cálcio (termo linear para a variável C) em relação à intensidade do tratamento térmico (termo linear para variável F₀) para a soja (Eq. 8) do que para o feijão (Eq. 7), que pode ser

atribuída ao menor conteúdo de carboidratos e pectina no grão de soja (Tab. 5), com menor possibilidade de interação cálcio-pectina na soja em relação ao feijão. Segundo Takeyama et al (1986) o conteúdo de pectina presente em grãos de soja comum foi determinado como variando entre 2 a 3% para o grão *in natura*, valores bem inferiores com relação ao feijão (>13%).

Figura 26: Superfície de Resposta para prever a força máxima de cisalhamento da soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0



Resultados de força máxima de cisalhamento para produtos comerciais similares

A Tabela 20 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento (força máxima), obtidos para os grãos comerciais para o feijão e para a soja de dois lotes distintos. Pode-se observar que os valores de força máxima, estão próximos dos valores obtidos para os tratamentos com F_0 de 11 minutos e sem aplicação de cloreto de cálcio (ensaio 7) com força máxima de 2,5 N para o feijão, e, mesmo valor para a soja (Tabelas 14 e 15). Esse valor foi menor se comparado com os resultados de força máxima para os tratamentos com aplicação de cloreto de

cálcio, como é o caso do ensaio 3, com 0,8% de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos, para o qual a força máxima foi de 10 N para o feijão e 7,6 N para a soja. Conclui-se que o cloreto de cálcio contribuiu para maior firmeza dos grãos e que praticamente todos os tratamentos resultaram em forças máximas maiores do que os produtos comerciais, indicando possível tratamentos excessivos para os últimos.

Tabela 20: Resultados de textura dos ensaios de cisalhamento (força máxima) para os grãos em conserva comerciais

Produto	Força Máxima (N)			
	Valor menor	Valor maior	Média \pm Desvio Padrão	CV (%)
Feijão comercial lote 1	1,24	2,29	1,58 \pm 0,28	17,77
Feijão comercial lote 2	1,45	3,14	2,24 \pm 0,57	26,16
Soja comercial lote 1	2,05	3,02	2,42 \pm 0,28	11,64
Soja comercial lote 2	1,97	3,54	2,75 \pm 0,55	20,25

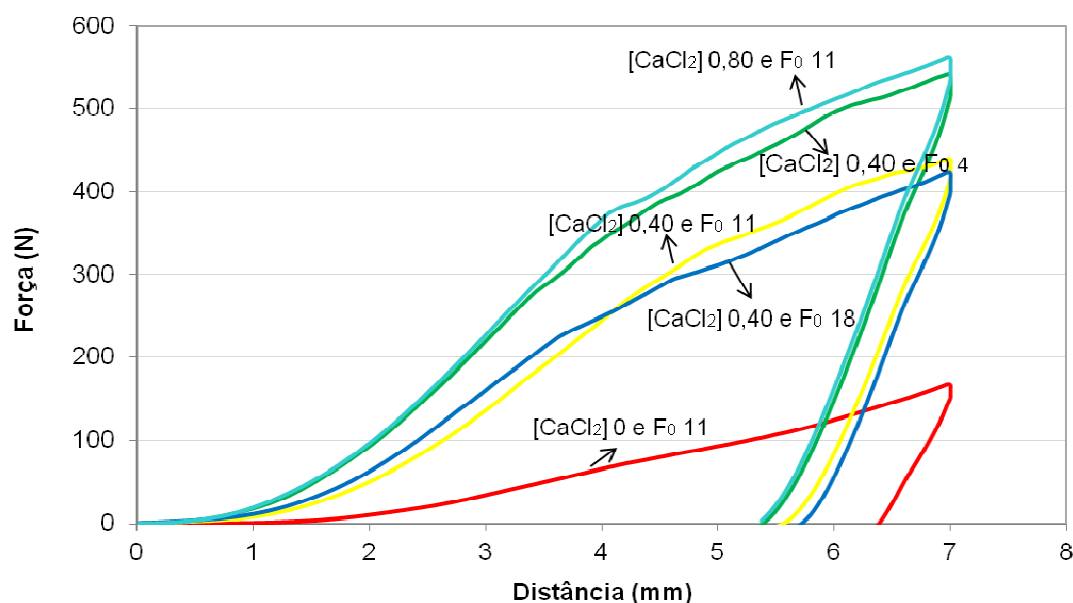
Os coeficientes de variação obtidos para as conservas comerciais de 17,7 a 26,1% para o feijão e 11,6 a 20,2% para a soja, consideravelmente maiores que os produtos estudados, demonstram a falta de uniformidade dos produtos comerciais.

5.3.3 Resultados dos ensaios de compressão e extrusão

As Figuras 27 e 28 apresentam as curvas de força versus deformação representativas de 5 ensaios de compressão e extrusão, respectivamente para o feijão e para a soja. As Tabelas 21 e 22 apresentam os resultados para o trabalho de compressão e extrusão (expressos como N.mm) calculado a partir das curvas de força versus deformação para os ensaios de compressão e extrusão para as amostras de feijão e soja, resultantes dos diferentes tratamentos. Os maiores valores foram observados para as amostras dos grãos para os tratamentos envolvendo as menores letalidades acumuladas (F_0) e maiores concentrações de cloreto de cálcio. Pode-se observar também grande diferença de valores para trabalho de compressão e extrusão para os tratamentos com mesmo valor de F_0 ,

independentemente da presença ou não de cloreto de cálcio, como é o caso do ensaio com 0,4% de cloreto cálcio e F_0 de 11 minutos, em comparação com o tratamento sem cloreto de cálcio e mesmo F_0 . Nestas condições (F_0 de 11 minutos, com 0,4% e sem CaCl_2), a diferença média para o trabalho de compressão e extrusão foi de 1450 N.mm para o feijão, significativamente maior do que a diferença média obtidas para a soja (800 N). No caso do feijão Carioca, considerando os mesmos valores de concentração de cloreto de cálcio (0,4%) e valores extremos de F_0 (4 e 18 minutos) obteve-se uma diferença de 600 N.mm para o trabalho de compressão e extrusão, sugerindo que o efeito de intensidade do tratamento térmico foi menos impactante para a textura do que concentração de cloreto de cálcio.

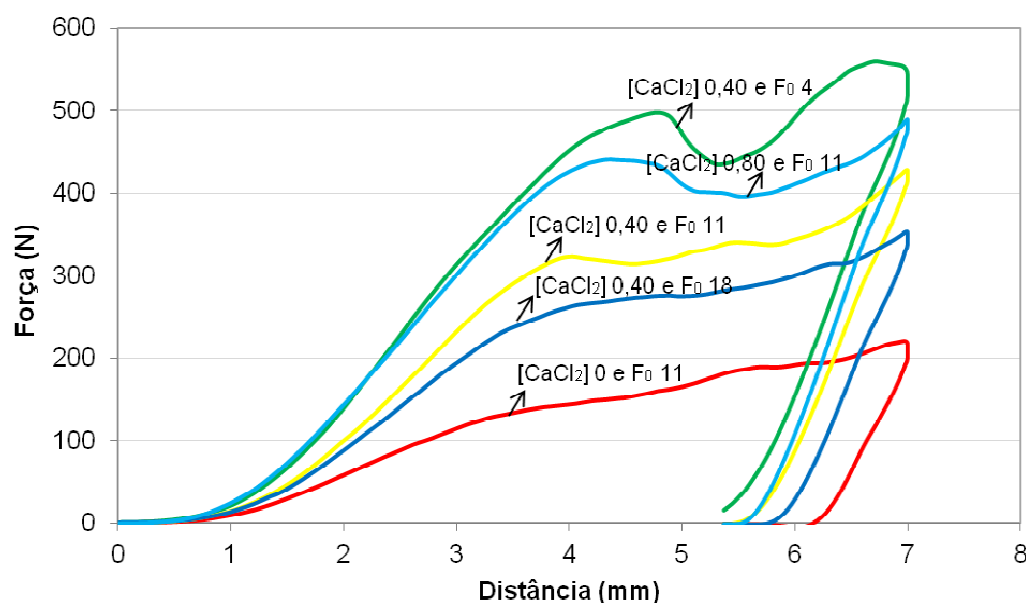
Figura 27: Curvas força versus deformação para o feijão para os ensaios de compressão e extrusão para diferentes tratamentos de $[\text{CaCl}_2]$ e de F_0



Pode-se observar que o trabalho de compressão e extrusão para os tratamentos de baixa intensidade (F_0 de 4 e 6 minutos) foram maiores para os tratamentos térmicos mais intensos (F_0 de 16 e 18 minutos), indicando a maior resistência oferecida para promover a deformação das amostras para os grãos submetidos aos tratamentos térmicos menos intensos e mesma concentração de cloreto de cálcio. Observa-se que os efeitos são maiores devido à concentração

de cloreto de cálcio do que os efeitos do tratamento térmico (F_0), sendo mais notável quando o cloreto de cálcio está ausente, quando comparado com as concentrações de 0,4% e 0,8%, para o mesmo F_0 (11 minutos).

Figura 28: Curvas força versus deformação para a soja para os ensaios de compressão e extrusão para diferentes tratamentos de $[CaCl_2]$ e de F_0



Os resultados podem ser considerados conclusivos ao analisar os coeficientes de variação entre de 6 a 20% para o feijão e abaixo de 8% para a soja, demonstrando que o grão de soja pode ser considerado mais uniforme quanto à textura por compressão e extrusão.

Barcelos et al. (1999) realizou o branqueamento para feijão variedade Guandu a 92°C por 2 minutos, resfriou, acondicionou em latas e realizou tratamento térmico em autoclave, variando a temperatura entre 116°C e 121°C durante 5 a 6 minutos, contendo nas latas 180 g de feijão e 180 g de salmoura com 1,5% de cloreto de sódio. No tratamento térmico foi obtido valor de esterilização (F_0) de aquecimento de 3 minutos, com sensores no ponto frio para 5 latas, para avaliação de textura sensorial e instrumental. A avaliação da textura sensorial foi realizada por meio de 11 provadores treinados comparando com parâmetros de textura obtidos por texturômetro. Os valores obtidos de textura instrumental (sem informações da ponta de prova), expressos como força máxima, variaram de 0,41 a 0,60 N para os 44º e 92º dias de floração,

respectivamente. Segundo os autores, a textura foi gradativamente mais firme com o avanço do amadurecimento baseando-se nas medidas de textura sensorial e instrumental. Os valores de força máxima foram muito abaixo dos obtidos no presente estudo, devido aos grãos serem submetidos a dois tratamentos térmicos branqueamento e esterilização.

Tabela 21: Resultados calculados do trabalho de compressão e extrusão para o feijão, expressos em termos de menor valor, maior valor, média e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.

Trabalho de Compressão e Extrusão (N.mm)						
Ensaio	[CaCl₂] (%)	Valor de F₀ (minutos)	Valor menor	Valor maior	Média ±Desvio Padrão	C. V (%)
1	0,40	18	1456	1967	1667 ±137	8,21
2	0,68	16	1759	2260	2060 ±166	8,04
3	0,80	11	1922	2474	2254 ±198	8,80
4	0,68	06	1857	2344	2179 ±169	7,78
5	0,40	04	1963	2557	2265 ±180	7,99
6	0,12	06	1237	1552	1383 ±101	7,29
7	0,00	11	257	429	343 ±69	20,21
8	0,12	16	883	1105	1005 ±77	7,70
9	0,40	11	1441	1881	1622 ±162	10,01
10	0,40	11	1641	1981	1824 ±116	6,36
11	0,40	11	1212	2230	1796 ±291	16,25
12	0,40	11	1343	2048	1703 ±249	14,61
13	0,40	11	1402	1893	1728 ±156	9,06

Barcelos et al. (1999) realizou tratamento térmico em autoclave variando a temperatura entre 116°C e 121°C para feijão variedade Guandu enlatado, com 180 g de feijão e 180 g de salmoura a 1% de cloreto de sódio. Os grãos em vagens foram previamente branqueados a 95 °C por 2 minutos e em seguida resfriados. No tratamento térmico foi obtido valor de esterilização F₀ de 3 minutos para avaliação de textura sensorial e instrumental. A avaliação da textura sensorial foi realizada por meio de 11 provadores treinados comparando com parâmetros de textura obtidos em texturômetro. Os valores obtidos de textura instrumental, expressos como força máxima, variaram de 0,41 a 0,60 N entre 44° e 92° dias de floração respectivamente. Valores muito abaixo dos obtidos no

presente trabalho, devido aos grãos de feijão submetido a dois tratamentos térmicos.

Tabela 22: Resultados calculados do trabalho de compressão e extrusão para a soja, expressos em termos de menor valor, maior valor, média e coeficiente de variação (CV), para 20 repetições.

Trabalho de Compressão e Extrusão (N.mm)						
Ensaio	[CaCl₂] (%)	Valor de F₀ (minutos)	Valor menor	Valor maior	Média ±Desvio Padrão	C. V (%)
1	0,40	18	1257	1380	1301 ±40	3,08
2	0,68	16	1270	1613	1496 ±121	8,12
3	0,80	11	1691	1975	1871 ±90	4,80
4	0,68	06	1869	2170	2007 ±95	4,71
5	0,40	04	1987	2332	2137 ±119	5,58
6	0,12	06	1123	1239	1181 ±35	2,99
7	0,00	11	741	817	773 ±24	3,19
8	0,12	16	821	983	896 ±56	6,27
9	0,40	11	1371	1503	1433 ±48	3,35
10	0,40	11	1412	1670	1558 ±82	5,28
11	0,40	11	1398	1625	1521 ±81	5,35
12	0,40	11	1506	1663,	1596 ± 57	3,59
13	0,40	11	1529	1740	1607 ±73	4,57

Superfície de resposta para o trabalho de compressão e extrusão em Função de [CaCl₂] e F₀

Conforme delineamento experimental empregado (Tabela 4), os experimentos resultaram em resposta de textura por meio de compressão e extrusão para os efeitos dos diversos tratamentos para os grãos de feijão Carioca e soja. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e à análise de regressão múltipla para verificação do ajuste ao modelo proposto (Equação 4). Para analisar os efeitos principais e interações das variáveis F₀ e concentração de cloreto de cálcio nos parâmetros de textura, foi utilizado o método de Superfície de Resposta utilizando o software Statistica 7.0.

Feijão Carioca

A análise de variância para o trabalho de compressão e extrusão para o feijão, obtida com base nos ensaios de textura, mostrou efeitos lineares e quadráticos significativos ($p < 0,05$) para a concentração de cloreto de cálcio e para F_0 (Tabela 23). Os resultados também mostraram não haver interação significativa ($p > 0,05$) entre a concentração de cloreto de cálcio e F_0 .

A falta de ajuste do modelo resultou não significativa ($p > 0,05$), mostrando que o erro não é significativo, e a equação final ajustada (Equação 9) tem capacidade em prever a variável resposta (trabalho de compressão e extrusão) com boa precisão ($R^2 = 93,70\%$) em função das variáveis independentes F_0 e concentração de cloreto de cálcio.

Quando a análise de variância foi realizada novamente considerando somente os efeitos significativos (Tabela 24), o valor de p da falta de ajuste se altera para 0,083, mantendo o erro não significativo, indicando que o modelo está bem ajustado para a resposta. Os demais valores de p significativos permanecem sem alterações significativas.

Tabela 23: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	2598012	1	2598012	0,000	*
[CaCl ₂] ²	314802	1	314802	0,002	*
F_0	224444	1	224444	0,004	*
$(F_0)^2$	101198	1	101198	0,016	*
[CaCl ₂]x F_0	16751	1	16751	0,180	ns
Falta de Ajuste	101974	3	33991	0,070	ns
Erro	25483	4	6371		
Total	3437252	12			
R^2 (%)	93,64				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Com relação à análise de regressão múltipla pode-se dizer que os dados estão bem ajustados para o método de extrusão e compressão com $p < 0,05$ resultando em um modelo para a estimativa de resposta. Considerando os fatores

significativos ($p < 0,05$) a Equação 9, foi obtida como modelo matemático preditivo para o trabalho de compressão e extrusão do feijão.

Tabela 24: Resultado da análise de variância para o feijão para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão considerando somente os efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	2598012	1	2598012	0,000	*
[CaCl ₂] ²	314802	1	314802	0,002	*
F ₀	224444	1	224444	0,004	*
(F ₀) ²	101198	1	101198	0,016	*
Falta de Ajuste	118725	4	29681	0,083	ns
Erro	25483	4	6371		
Total	3437252	12			
R ² (%)	93,70				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

$$W = 1.460,99 + 4161,36(C) - 2670,52(C)^2 - 141,48(F_0) + 4,90(F_0)^2 \quad (9)$$

onde,

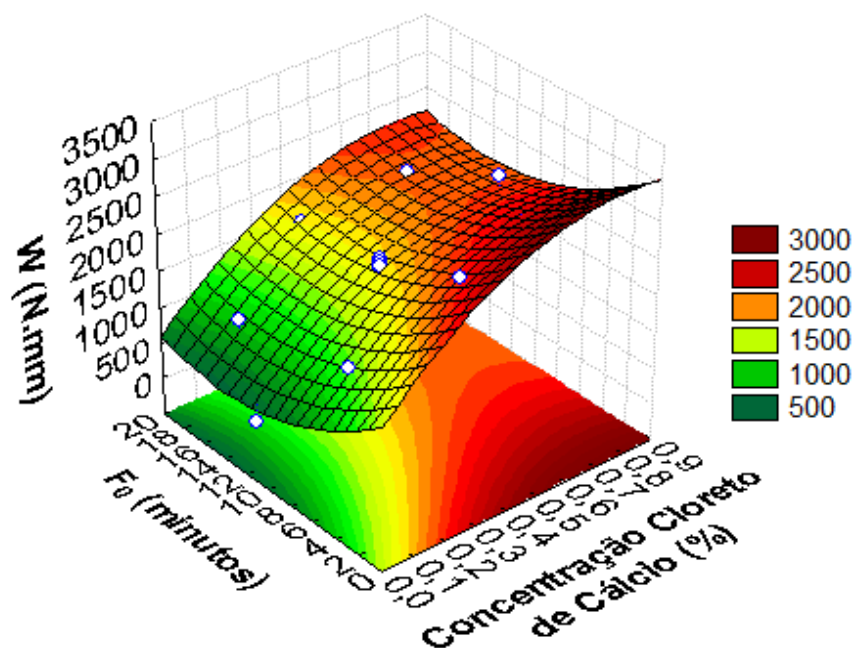
W= resposta do trabalho de compressão e extrusão (N.mm) para o feijão

C= concentração de cloreto de cálcio (%)

F₀= valor F em minutos á T_{ref} = 121 °C e z = 10 °C

A partir da Equação 9 pode-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos da concentração de cloreto de cálcio e valor F₀, como apresentado na Figura 29. Observa-se que quanto menores os valores de letalidade e maiores as concentrações de cloreto de cálcio, maior o trabalho de compressão e extrusão do feijão. A figura 29 apresenta estrutura em forma de “sela” pelo fato de não apresentar máximo ou mínimo, para altos valores de F₀ maiores que 12 minutos, o trabalho aumenta, para F₀ menor que 12 minutos o trabalho também aumenta.

Figura 29: Superfície de Resposta para prever o trabalho de extrusão e compressão para o feijão Carioca em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0 .



Soja

A análise de variância para o trabalho de compressão e extrusão para a soja, obtida com base na metodologia de compressão e extrusão, mostrou efeitos significativos ($p < 0,05$) para a concentração de cloreto de cálcio lineares e quadráticos e lineares para F_0 (Tabela 25). Os resultados também mostraram não haver interação significativa entre a concentração de cloreto de cálcio e F_0 .

A falta de ajuste do modelo resultou não significativa ($p > 0,05$), mostrando que o erro não é significativo, e a equação final ajustada (Equação 10) tem capacidade em prever o trabalho de compressão e extrusão com boa precisão ($R^2 = 92,26\%$), considerando os efeitos significativos, em função das variáveis independentes F_0 e concentração de cloreto de cálcio.

Quando a análise de variância foi realizada novamente considerando somente os efeitos significativos (Tabela 26), o valor de p da falta de ajuste se mantém 0,117, mantendo o erro não significativo.

Tabela 25: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	1110229	1	1110229	0,000	*
[CaCl ₂] ²	139863	1	139863	0,006	*
F ₀	488325	1	488325	0,001	*
(F ₀) ²	21089	1	21089	0,106	ns
[CaCl ₂]* F ₀	12841	1	12841	0,180	ns
Falta de Ajuste	54766	3	18255	0,117	ns
Erro	19499	4	4875		
Total	1863818	12			
R ² (%)	93,16				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Tabela 26: Resultado da análise de variância para a soja para os efeitos dos tratamentos sobre o trabalho de compressão e extrusão da soja considerando somente efeitos significativos

Fator	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado médio	Valor p	Significância
[CaCl ₂]	1110229	1	1110229	0,000	*
[CaCl ₂] ²	157069	1	157069	0,005	*
F ₀	488325	1	488325	0,001	*
Falta de Ajuste	88696	5	17739	0,117	ns
Erro	19499	4	4875		
Total	1863818	12			
R ² (%)	92,26				
Valor p da Regressão	<0,001				

*Efeito significativo ($p \leq 0,05$); ns= Efeito não significativo ($p > 0,05$)

Com relação à análise de regressão múltipla pode-se dizer que os dados estão bem ajustados à resposta do trabalho de compressão e extrusão com $p < 0,05$ resultando em um bom modelo para estimar a resposta. Considerando os fatores significativos ($p < 0,05$) a Equação 10, foi obtida como modelo matemático preditivo para o trabalho de compressão e extrusão da soja.

$$W = 1299,52 + 2819,91(C) - 1870,22(C)^2 - 49,66(F_0) \quad (10)$$

onde,

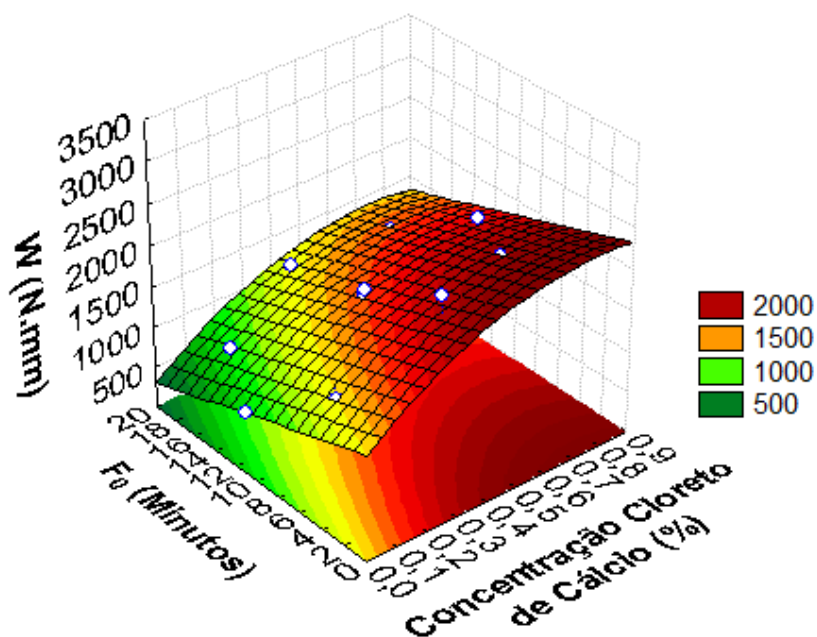
W = resposta do trabalho de compressão para a soja (N.mm)

C = concentração de cloreto de cálcio (%)

F_0 = valor F em minutos à $T_{ref}= 121\text{ }^\circ\text{C}$ e $z= 10\text{ }^\circ\text{C}$

A partir da Equação 10 pode-se construir a superfície de resposta referente aos efeitos lineares e quadráticos da concentração de cloreto de cálcio e do valor F_0 , como apresentado na Figura 30. Observa-se que quanto menores os valores de F_0 e maiores as concentrações de cloreto de cálcio, maior o trabalho de compressão e extrusão da soja.

Figura 30: Superfície de Resposta para prever o trabalho de extrusão e compressão da soja em função da concentração de cloreto de cálcio e valor F_0 .



Resultados de compressão e extrusão para produtos comerciais similares

A Tabela 27 apresentam os resultados dos ensaios de compressão e extrusão (trabalho), para os grãos comerciais para o feijão e para a soja de dois lotes distintos. Pode-se observar que os valores de trabalho de compressão e extrusão, estão próximos dos valores obtidos para os tratamentos de F_0 de 11

minutos e sem aplicação de cloreto de cálcio relativo ao ensaio 7 com trabalho de compressão e extrusão de 343 N.mm para o feijão e 773 N.mm para a soja, os quais proporcionaram parâmetros de textura inferior aos tratamentos com aplicação de cloreto de cálcio, como o ensaio 3 com 0,8% de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos com trabalho de compressão e extrusão de 2254 N.mm para o feijão e 1871 N.mm para a soja, dessa maneira é possível inferir que o cloreto de cálcio contribui para maior firmeza dos grãos, no caso do presente estudo, e, pode-se concluir que produtos comerciais aparentemente estão superprocessados.

Tabela 27: Resultados de textura dos ensaios de compressão e extrusão (trabalho) para os grãos em conserva comerciais

Produto	Trabalho (N.mm)			
	Valor menor	Valor maior	Média \pm Desvio Padrão	CV (%)
Feijão comercial lote 1	221	508	344 \pm 130	37,84
Feijão comercial lote 2	245	769	421 \pm 196	46,50
Soja comercial lote 1	699	1002	870 \pm 132	15,20
Soja comercial lote 2	510	942	737 \pm 198	26,93

Os coeficientes de variação, obtidos para as conservas comerciais de 37,8 a 46,5% para o feijão e 15,2 a 26,9% para a soja, consideravelmente maiores que os dos tratamentos estudados, demonstram a falta de uniformidade dos produtos comerciais.

6. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo apontam serem satisfatórias as metodologias de análise de textura instrumental tais como propostas para se estabelecer os efeitos as diferentes variáveis investigadas quanto à intensidade do tratamento térmico e variações de concentração de cloreto de cálcio sobre a textura dos grãos termicamente processados de feijão Carioca e soja.

Os ensaios de textura baseados na análise do trabalho de compressão e extrusão de uma massa de grãos mostrou menor variabilidade dos dados entre todas os ensaios de textura investigados. Além disso, a falta de ajuste do modelo resultou não significativa para ambos os grãos, indicando ser a técnica mais indicada para os grãos estudados. Enquanto que os ensaios de punção apresentaram maior variabilidade nos dados, além do fato da superfície de resposta para o módulo de Young para a soja ter apresentado falta de ajuste significativa, indicando que o modelo pode não prever com precisão a resposta. A técnica de cisalhamento permitiu a obtenção de modelos preditivos com boa precisão, porém apresentando maior variabilidade dos dados em relação ao trabalho de compressão e extrusão.

A maior resistência à deformação foi obtida para a soja em relação ao feijão. O módulo de Young efetivo, dependendo da concentração de cloreto de cálcio variou entre 1,5 e 3,0 N/mm² para o feijão e entre 4,0 e 5,9 N/mm² para a soja, para os tratamentos térmicos de maior intensidade, valor F_0 entre 16 a 18 minutos, comparado com 5,1 e 2,2 N/mm² para o feijão e 16,15 e 5,5 N/mm² para a soja, para os tratamentos térmicos de menor intensidade, valor F_0 de 4 a 6 minutos.

A força máxima requerida para o feijão foi maior do que a requerida para soja para um mesmo tratamento. A força máxima calculada para cisalhamento variou entre 9,5 N e 5,8 N para o feijão e entre 9,06 N a 4,45 N para a soja para os tratamentos térmicos de baixa intensidade, respectivamente valor F_0 de 4 e 6 minutos, e de 4,80 N a 7,33 N para o feijão e 3,68 N a 4,90 N para a soja para os tratamentos térmicos mais intensos respectivamente valor F_0 de 16 e 18 minutos.

O feijão requer maior trabalho para compressão e extrusão quando comparado com a soja. Os valores do trabalho de compressão e extrusão para

feijão variaram de 1005 N.mm a 1667 N.mm para o feijão e de 896 N.mm a 1301 N.mm para a soja para os tratamentos térmicos mais intensos, respectivamente valor de F_0 de 16 e 18 minutos, e, de 2265 N.mm a 1383 N.mm para o feijão e de 2137 N.mm a 1181 N.mm para a soja para os tratamentos térmicos de baixa intensidade, respectivamente, valor F_0 de 4 e 6 minutos.

Foram obtidas as superfícies de resposta e equações preditivas para a estimativa dos efeitos dos tratamentos sobre as respostas de textura expressas em termos de módulo de Young de compressão (Eq. 5 e 6), força máxima para cisalhamento (Eq. 7 e 8), e para o trabalho de compressão e extrusão (Eq. 9 e 10) para o feijão Carioca e para a soja.

A aplicação de cloreto de cálcio (de 0 a 0,8% m/m) influenciou mais significativamente na textura do que as variações nos tratamentos térmicos (F_0 de 4 a 18 minutos), com efeito mais significativo para o feijão Carioca do que para a soja. Altos valores de F_0 com altas concentrações de cloreto de cálcio resultaram em valores dos parâmetros de textura próximos aos de baixos valores de F_0 , porém com baixa concentração de cloreto de cálcio. Conclui-se que o cloreto de cálcio contribui para uma melhor textura para o feijão Carioca e para a soja, além de atuar estabilizando e uniformizando a textura.

REFERÊNCIAS

AL-BAALI, AG.; FARID, M. **Sterelizations of food in retort pouches**. Ed. Springer. 2006.

ALI, A. A. et al. Effect of rotation on the heat penetration characteristics of thermally processed tuna in oil in retort pouches. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, 2006, 41, 215–219.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRIC. **Official methods of analysis of AOAC international**. 14 ed. Washington, 1995. 2 v.

ANDRADE, A. S. A.; et al. **Medidas instrumentais de cor e textura em queijo de coalho**. Disponível em: < www.info.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17127/1/PROCIRTN2007.00124.pdf>. Acesso em: 15 ag. 2013.

ANTUNES, P. L.; SGARBIERI, V. C. Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (*Phaseolus vulgaris*) variety Rosinha G2. **J- Food Sci**, Chicago, v. 44, p. 1703,1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/menu_br.html>. Acesso em: 20 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12806**:. Análise sensorial de alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1993.

AZEVEDO, M. H. **Efeito da umidade, tratamento térmico e presença de ar ambiente no fenômeno de endurecimento de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenados**. Dissertação de Mestrado. Campinas. 1994.

BARCELOS, M. F. P. et al. –Aspectos tecnológicos e sensoriais do guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] enlatado em diferentes estádios de maturação. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 73-83, jan. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000100014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 24 ag. 2015.

BERRY, M. R.; PFLUG I. J. **Canning:—principles**. **Encyclopedia-of-Food-Sciences-and-Nutrition**. 2003, 2° Ed. p 816-824.

BOLLER, W. **Desenvolvimento de complementos para semeadoras em solo sob preparo reduzido**. 1990. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós- graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2 ed. Academic Press: London, 1982.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Decreto nº 3871**, de 18 de julho de 2001. Regulamenta sobre rotulagem de alimentos embalados que contenham ou sejam produzidos com organismos geneticamente modificados. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 2 fev., 2014.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria n. 30/MS/SVS, de 18 de março de 1996. Aprova o regulamento técnico “critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos”, conforme anexo da presente Portaria. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 mar. 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agência de informação. Embrapa – **Feijão** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html>. Acesso em: 4 ag. 2013.

BRESSANI, R. Revision sobre la calidad del grano de frijol. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 39, p.419-442, 1989.

BRESSANI, R. Tannin in common beans: methods of analysis and effects on protein quality. **J- Food Sci**. Chicago, v. 48, p. 1000,1983.

CABRAL, A. C. D. et al. **Apostila de embalagem para alimentos**. Campinas, 1984. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MQ>>. Acesso em: 12 fev. 2015

CÂMARA, M. C. C.; MARINHO, C. L.; GUILAM, M. C. R. Análise crítica da rotulagem de alimentos diet e light no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 35-52, 2008.

CARVALHO, E. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos. safra 2013/14. Segundo levantamento - intenção de plantio**. Brasília, 2013. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_09_29_24_boletim_graos_novembro_2013.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2014.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Medição da textura se aproxima em alimentos frescos e processados: uma revisão. **Food Research International**, Barking, 2013, v.51.n. 2, p. 823-836.

DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, Barking, v. 43, p. 595–601, 2010.

DILIS, V.; TRICHOPOULOU, A. Nutritional and health properties of pulses. **Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism**, Amsterdam, v. 1, p. 149-157, 2009.

DURANTE, M. Grain legume proteins and nutraceutical properties. **Fitoterapia**, Milano, v. 77, p. 67–82, 2006.

EMBRAPA. **Ervilha para produção de grãos verdes**. Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/cultivares/ervilha.htm>>. Acesso em: 16 set. 2013.

EMBRAPA. **Informação tecnológica para o cultivo do feijão**. Campinas, 2012. Disponível em: <<http://eprints.rclis.org/13261/1/INFORMA.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2013.

EMBRAPA. **Ervilha e outras leguminosas de inverno**. Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/ervilha/index.htm>>. Acesso em: 12 set. 2013.

EMBRAPA. **Cultivares de soja**. Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/FolhetoSoja.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2014.

FLAIR: Flair Flexive Packaging Corporation. **Especificação de flexive packaging**. 2011. Disponível em: <http://www.flairpackaging.com/pages/home/packaging_solutions/pouches/Retort%20Pouches/2>. Acesso em: 5 jul 2014.

FRANCO, B. D. G.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996.

FRIJA, S. N. **Alterações nutricionais, organolépticas e de textura dos produtos hortícolas conservados: uma revisão**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia e Segurança Alimentar. Universidade Nova Lisboa. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/8830/1/Frija_2012.pdf>. Acesso em: 19 set 2013.

GARCIA, E.; LAJOLO, F. M. Starch alterations in hard-to cook beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, p. 612, 1994.

GIMENO, O. et al. Characterization of chorizo de Pamplona: instrumental measurements of colour and texture. **Food Chemistry**, Easton, v. 69, p.195-200, 2000.

GONÇALVES, A. A; PASSOS, M. G.; BIEDRZYCKI, A. Percepção do consumidor com relação à embalagem de alimentos: tendências. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 4, n. 3, p. 271-283, set./dez. 2008. Disponível em: . Acesso em: 12 jan. 2015.

HERRERO, A. M. et al. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. **Meat Science**, Barking, v. 77, p.331–338, 2007.

HOZ, L. et al. Development of an n-3 fatty acid and a-tocopherol enriched dry fermented sausage. **Meat Science**, Barking, v. 67, p. 485-495, 2004.

IADEROZA, M.; SALES, A.M.; BALDINI, V.L.S.; SARTORI, M.R.; FERREIRA, V.L.P. Atividade de polifenoloxidase e alterações da cor e dos teores de taninos condensados em novas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante o armazenamento. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, p.154-164, 1989.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3.ed., São Paulo, 1985. v. 1.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Alimentos enlatados**: princípios de controle do processo térmico, acidificação e avaliação do fechamento de recipientes. 4. ed., Campinas, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Geneva, 1992. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/about.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, 2014. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>. Acesso em: 10 fev. 2015.

KOBLITZ, M.G.B. **Matérias primas alimentícias**: - composição e controle de qualidade. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

LI, R.; CARPENTER, J. A.; CHENEY, R. Sensory and instrumental properties of smoked sausage made with mechanically separated poultry (MSP) meat and wheat protein. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 5, 1998.

LIMA, G. B.; SIQUEIRA, M. I. D. **Avaliação da adição de cloreto de cálcio e do tempo de hidratação no aspecto visual de ervilha em conserva**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 269-280, mar./abr. 2008.

LU, R.; ABBOTT J. A. Chapter 5. **Force/deformation techniques for measuring texture**. In *Texture in Food*, 2004. v. 2: Solid Foods,. D. Kilcast. Cambridge: Woodhead Publishing.

LU, W. et al. Correlations between physical properties and canning quality attributes of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.73, p.788-790, 1996.

MAGNONI, D. **A importância socioeconômica da soja**. IMEN. – Instituto de Metabolismo e Nutrição, Campinas. 2002.

MATELLA, N. J.; MISHRA, D. K.; DOLAN, K. D. Hydration, blanching and thermal processing of dry beans, in *Dry beans and pulses production, processing and nutrition* (eds M. Siddiq and M. A. Uebersax), Blackwell., Oxford, 2012.

MENDOZA, E. et al. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. **Meat Science**, Barking, v. 57, p. 387-393, 2001.

NIELSEN, S. S. Digestibility of legume proteins. **Food Technology**, Chicago, v. 45, p. 112, 1991.

NJOROGE, D. M. et al. Extraction and characterization of petic polysaccharides from easy-and hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, Barking, v. 64, p. 314-322, 2014.

NKUNDA, D. S., **Effects of cooking and processing variables on quality characteristics of diverse navy beans (Phaseolus vulgaris L.)**. Dissertação de Mestrado. Michigan State University, 2003.

OLIVEIRA DA SILVA, C. et al. Caracterização nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) após processamento térmico. **Revista Ceres, Viçosa** v. 53, n. 309,

OLIVEIRA, F. et al. Desempenho de frangos de corte nas fases de crescimento e final alimentados com rações contendo soja integral extrusada em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1950-1955, 2005.

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

OPHIR, A. et al. Hot-fillable containers containing PET/PEN copolymers and blends. **Polymer Engineering and Science**, Stanford, Sep. 2004, v. 44, n. 9.

PESCKE, S. T. **Sementes**. 2003. EDITORA Ruá Pelotas - RS – BRASIL.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; DE REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Alimentos e Nutrição. Brazilian Journal of Food and Nutrition**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 157-162, 2005.

PONPEU, A.S. Melhoria do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). In: Feijão fatores de produção e qualidade., Coord. Bulisani, E. A. Campinas: Fundação Cargill, p.1-28, 1987.

QUAST, D. C.; SILVA S. D. Temperature dependence of the cooking rate of dry legumes. **Journal of Food Science**. Chicago, 1977. v.49, n. 2, p. 370–374.

REDONDO-CUENCA A et al. Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst methods. **Food Chemistry**, v. 108, p.1099- 1105, 2007.

REES, J. BETTISON, J. **Processado térmico y envasado de los alimentos**. Zaragoza, Editorial Acribia:1991.

REVILLA, I.; VIVAR-QUINTANA, A. M. Effect of canning process on texture of Faba beans (*Vicia Faba*). **Food Chemistry**, Easton, v. 106, p. 310–314, 2008.

Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Disponível em: <file:///C:/Users/Downloads/RDC%2012%20-20Padr%C3%B5es%20Microbiol%C3%B3gicos.pdf>. Acesso em: 25 agosto 2015.

RODRIGUES, M. I. **Planejamento e otimização de processos**: uma estratégia seqüencial de planejamento. Campinas: Casa do Pão Editora,-2006.

RODRIGUEZ, J. A.; et al. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2005; v. 35, n. 1, p. 209-214

ROJA JUNIOR, N. P. **Avaliação de embalagens flexíveis esterilizáveis e alimentos de pronto consumo para equipagens de aeronaves para uso terrestre**. Dissertação de Mestrado. Campinas:UNICAMP, 2008

SALVADOR, C. A. **Feijão**. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/feijao_2010_11.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2014.

SASSON, A. **Alimentando o mundo de amanhã**. Rio de Janeiro: Imago, 1993.

SAWAZAKI, H. E. et al. Modificações bioquímicas e físicas em grãos de feijão durante o armazenamento. **Bragantia, Campinas**, v. 44, p. 375-390, 1985.

SEGURA-CAMPOS, M. R. et al.; Chemical and functional properties of hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris*) **Protein Concentrate**, Mérida, v. 64, p. 314-322, 2014.

SHIGA, T. M.; LAJOLO, F. M.; FILISETTI- Cell wall polysaccharides of common beans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**., Campinas. v. 23, p. 141-148, 2003.

SILVA, A. C.; LIMA, E. P. C.; BATISTA, H. R. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro**: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. Disponível em: <http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sessoes tematicas /Economia.pdf>. Acesso em: 2 set 2013.

SILVA, G. C.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO., M. S. M. et al. Efeito de diferentes concentrações de cloreto de cálcio na qualidade do abacaxi “Pérola” minimamente processado. **Rev Bras Frutic**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 216-219, ag 2003.

SRINIVSA GOPAL, J. K. et al. Traditional kerala style fish curry in indigeneous retort pouch. **Food Control**, Guildford, v.12, p. 523-527,- 2001.

STUMBO, C. R. **Thermo bacteriology in food processing**. 2. ed. London: Academic Press, 1973.

TAKEYAMA et al. Dietary Fiber contents od soybean and soybean foods. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**., Tokyo, v.33, p, 1986.

TERRA, L. M. **Otimização da retenção de nutrientes e de textura no processo de esterilização do feijão.** Dissertação de Mestrado. Campinas: UNICAMP, 1991.

TROUNG, V. D.; WALTER, W. M. J. R.; HAMAN, D.D. Relationship between instrumental and sensory parameters of cooked sweet potato texture. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 28, p.163-185, 1997.

VERRUMA-BERNARDI, M. R.; DAMÁSIO, M. H. **Uso do perfil livre em queijo mozzarella de leite de búfala elaborado pelos métodos tradicional e da acidificação direta.** Em: Avanços em Análise Sensorial, São Paulo: Livraria Varela, p. 261-286, 1999.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. ; BORÉM, A. **Feijão.** 2. edição. Editora UFV. Viçosa,-2006.

Apêndice 1
Curvas de Penetração de Calor

Figura 31: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,68% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 16 minutos

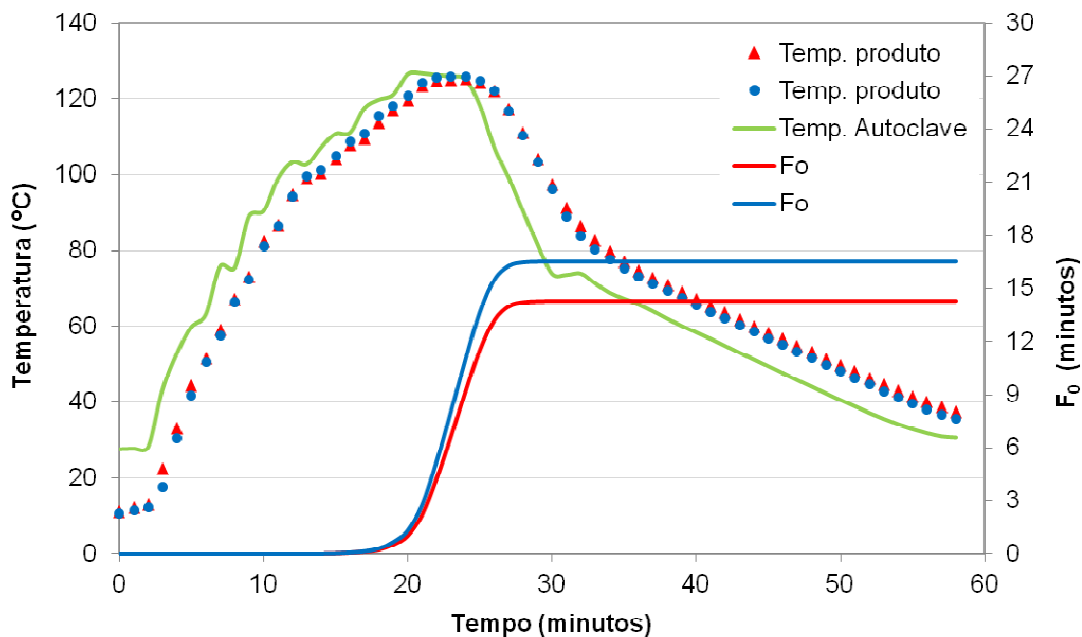


Figura 32: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,68% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 6 minutos

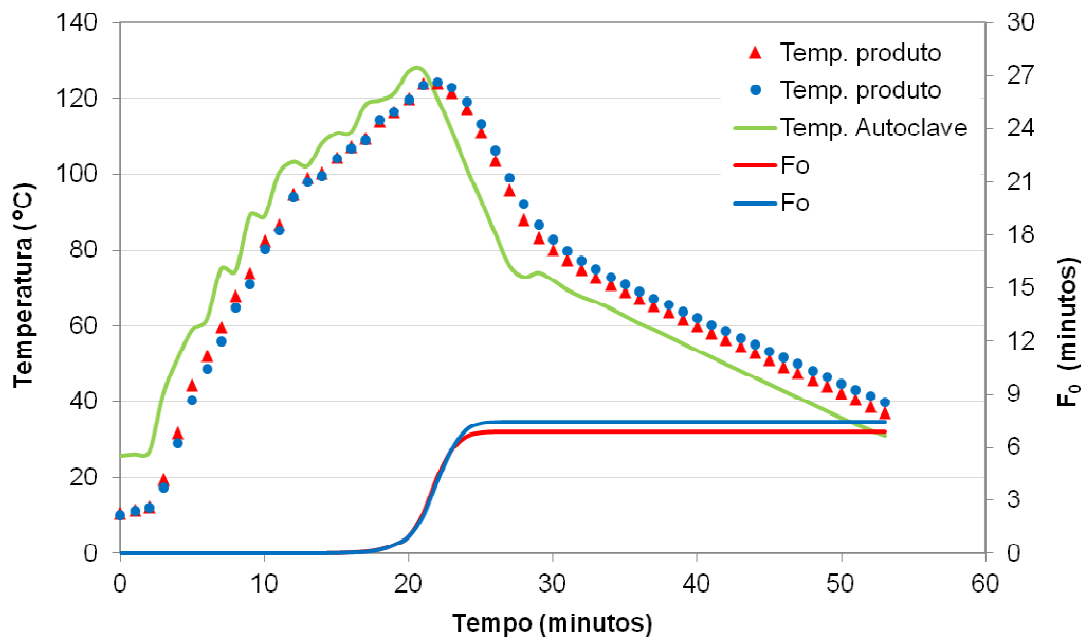


Figura 33: Penetração de calor para feijão Carioca sem cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos

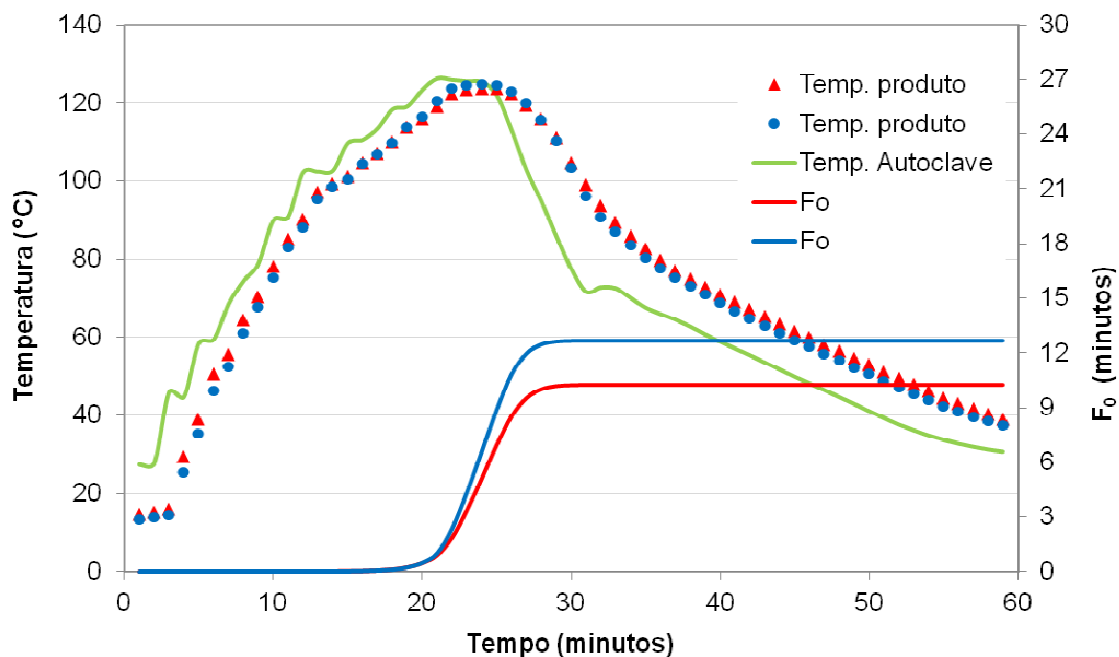


Figura 34: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,4% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (1)

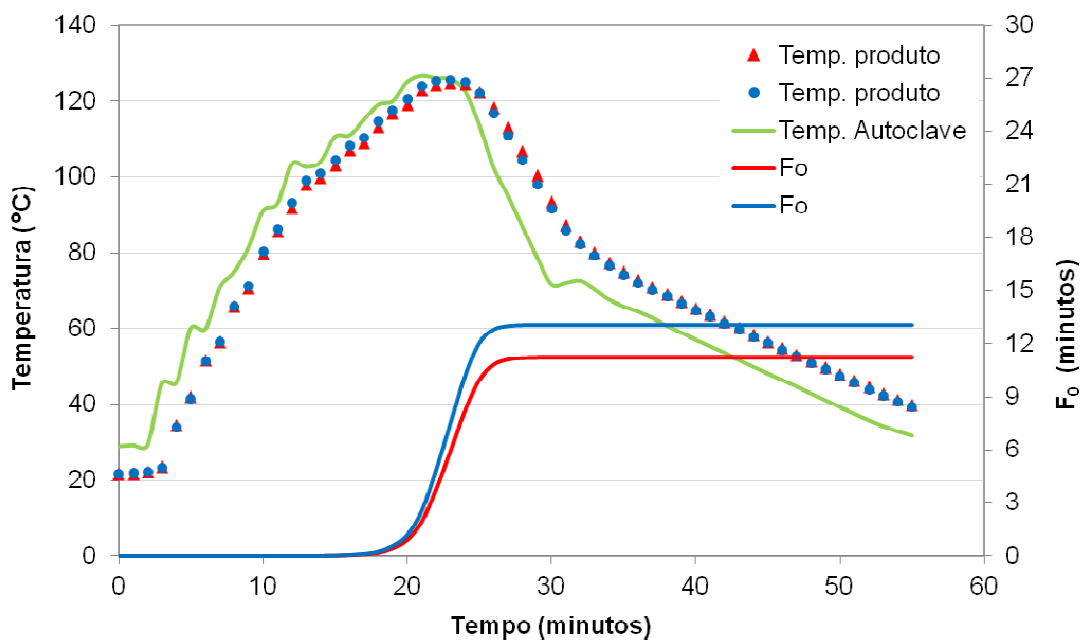


Figura 35: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,4% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (2)

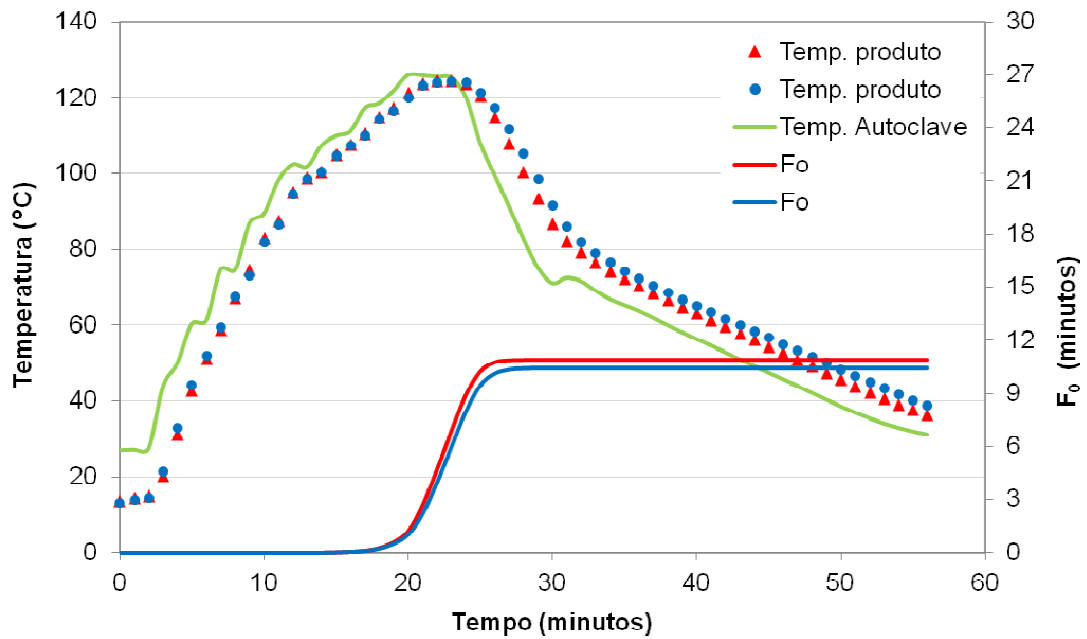


Figura 36: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,4% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (4)

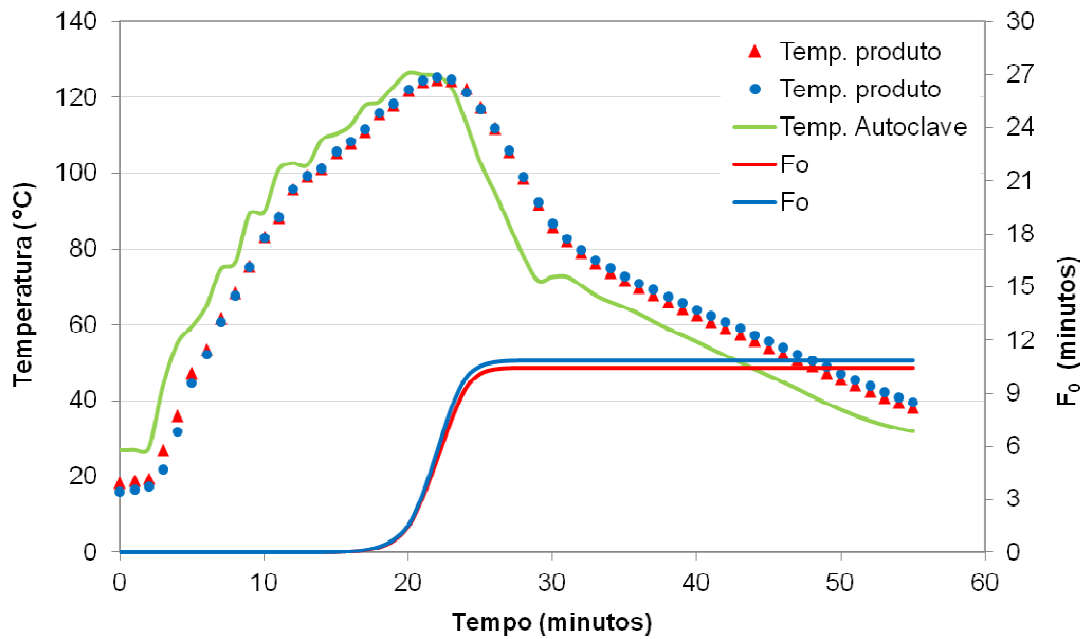


Figura 37: Penetração de calor para feijão Carioca com 0,4% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (5)

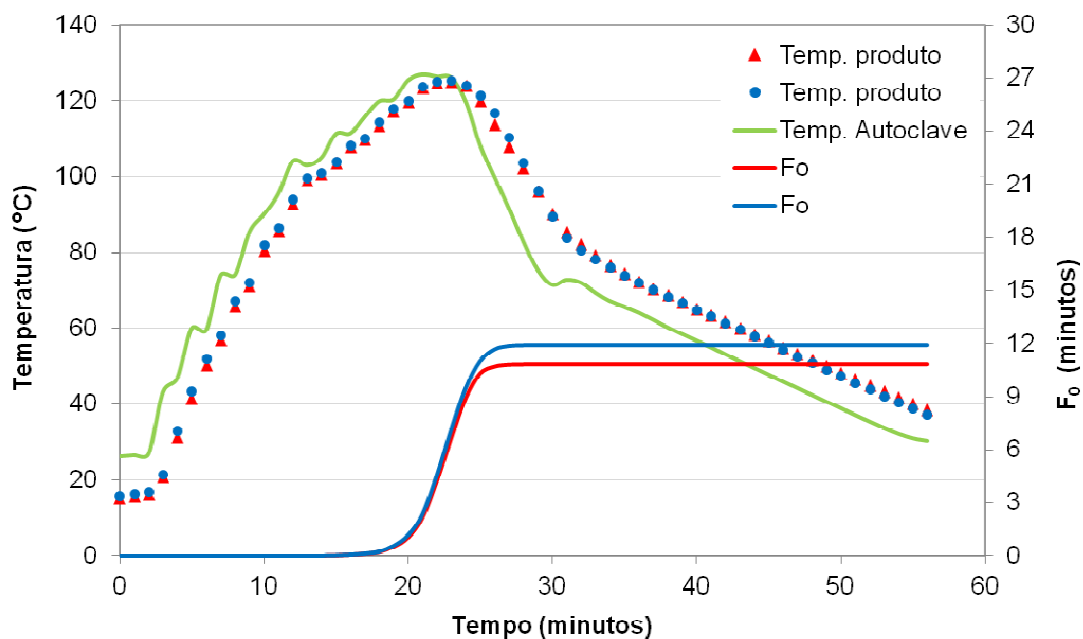


Figura 38: Penetração de calor soja com 0,68% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 16 minutos

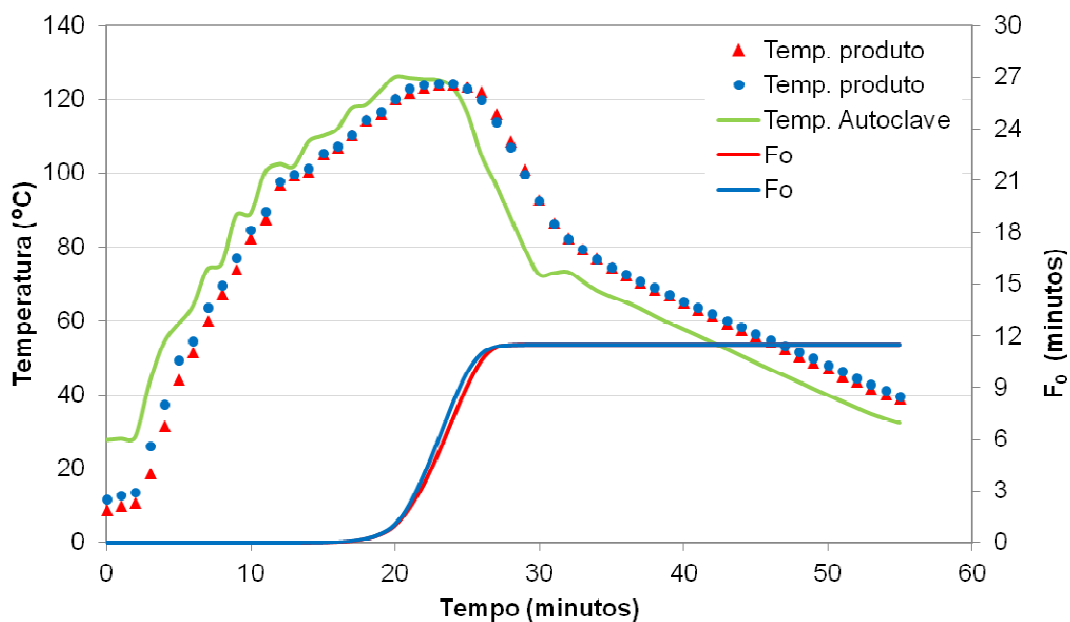


Figura 39: Penetração de calor soja com 0,68% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 6 minutos

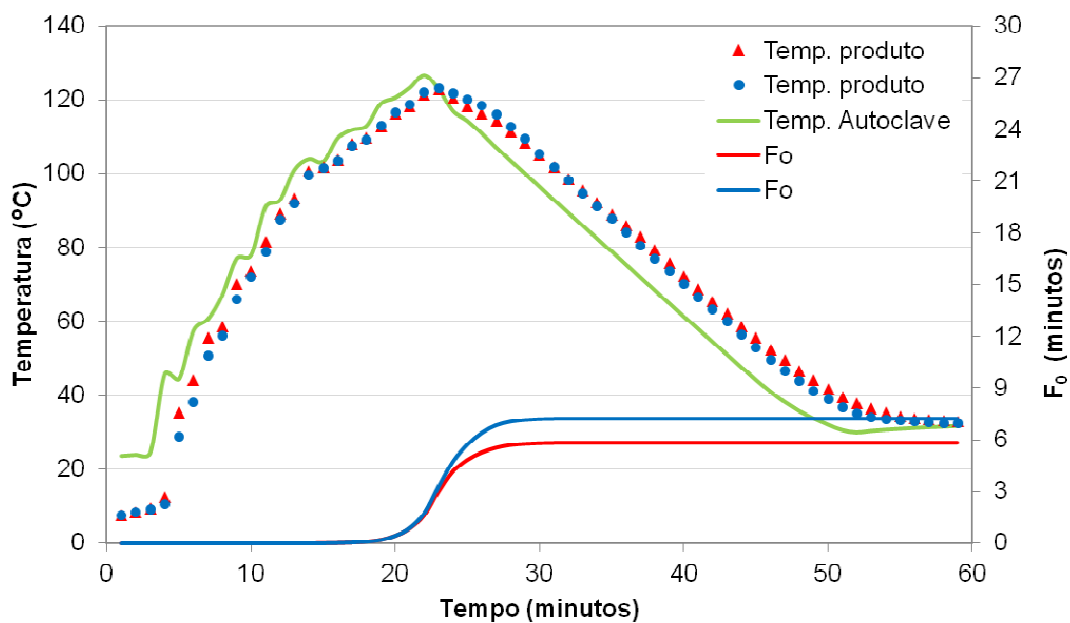


Figura 40: Penetração de calor para a soja sem cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos

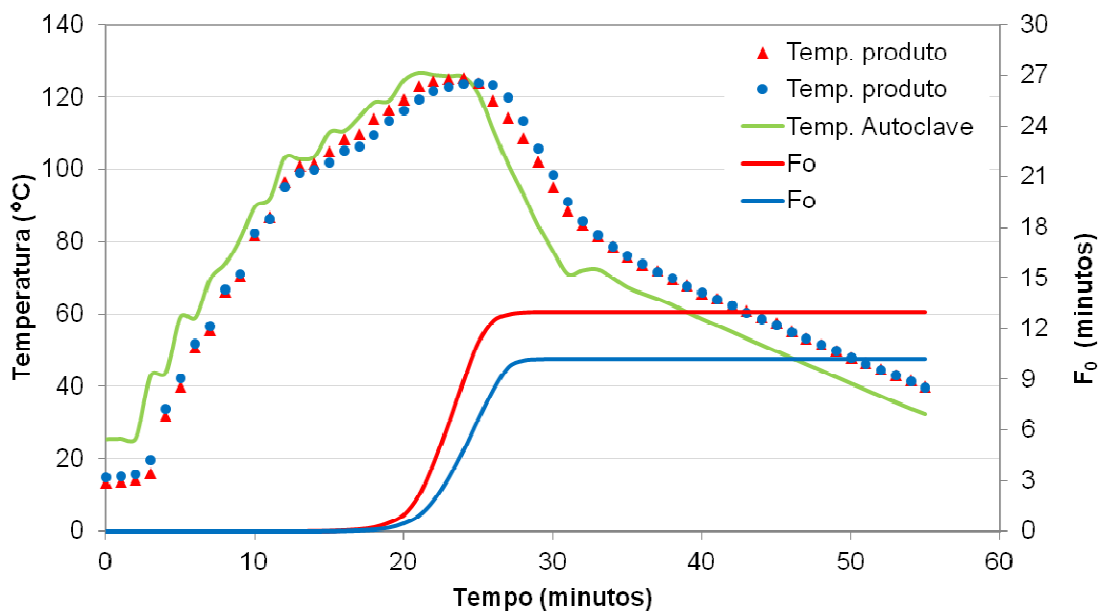


Figura 41: Penetração de calor soja com 0,40% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (1)

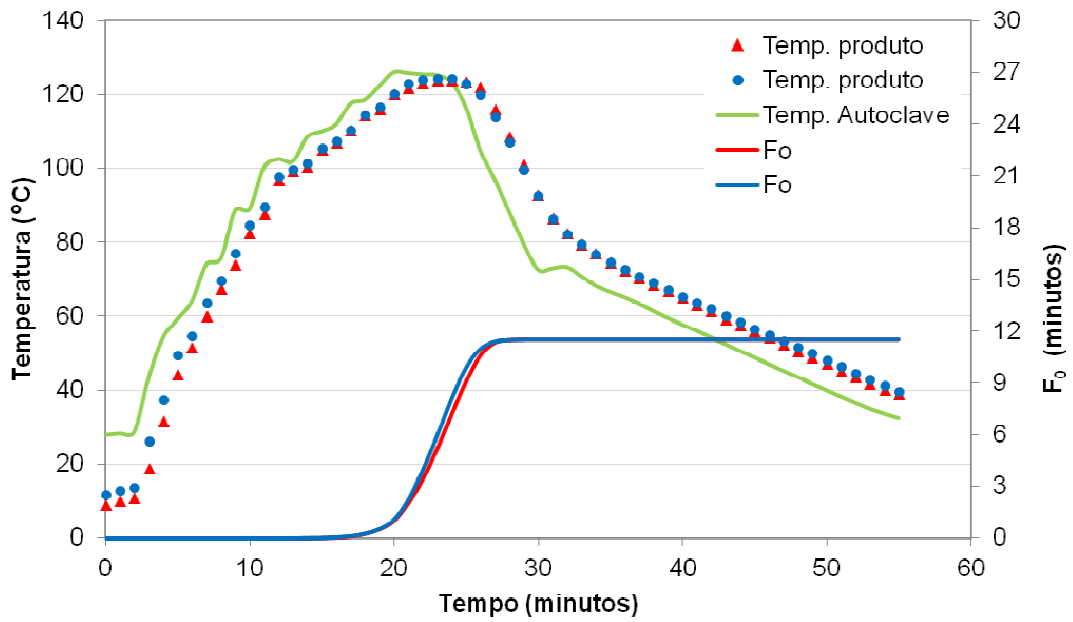


Figura 42: Penetração de calor soja com 0,40% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (2)

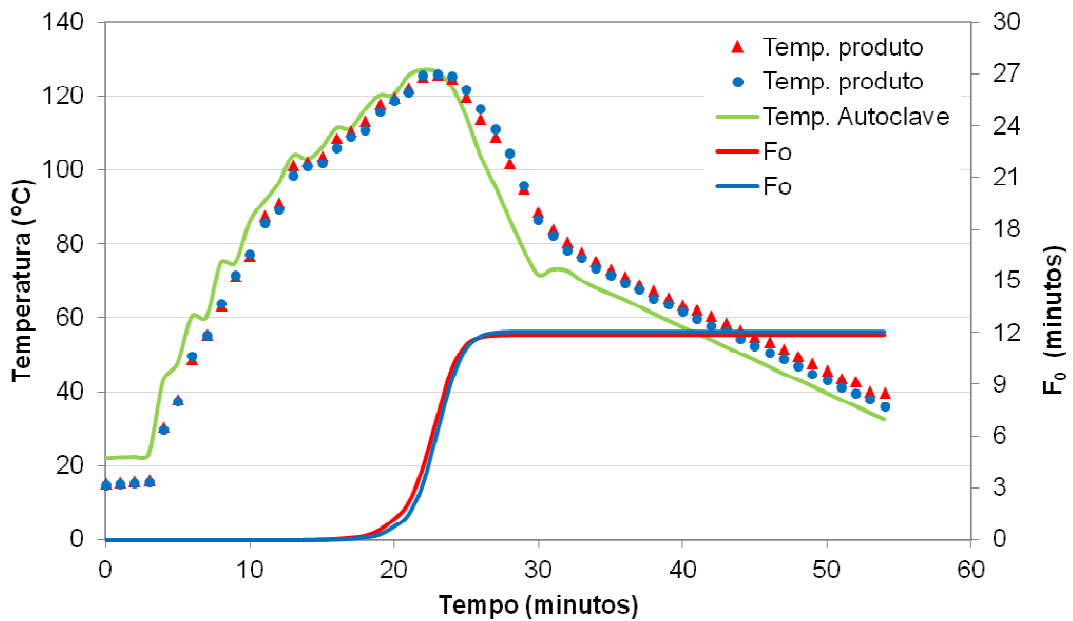


Figura 43: Penetração de calor soja com 0,40% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (4)

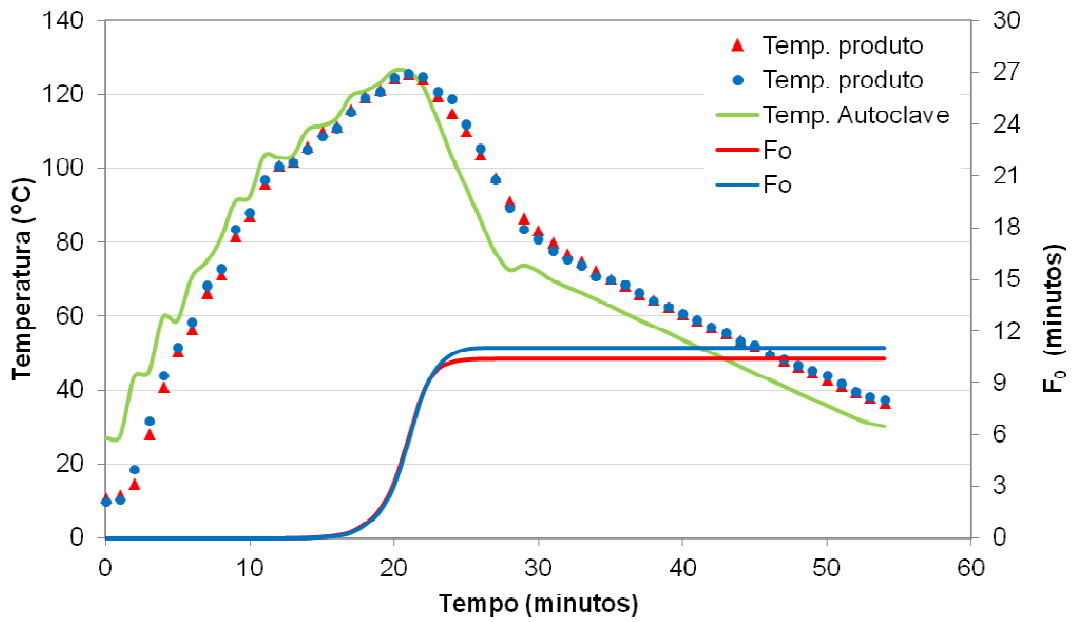
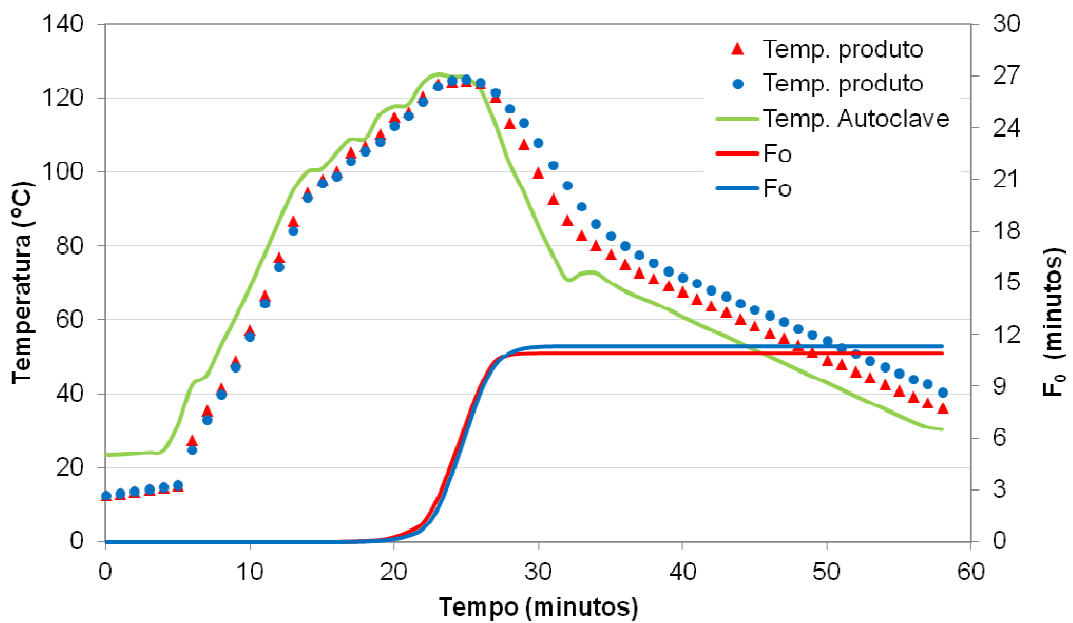


Figura 44: Penetração de calor soja com 0,40% de concentração de cloreto de cálcio e F_0 de 11 minutos (5)



Apêndice 2
Curvas Força versus Deformação

Figura 45: Curvas de força versus deformação do feijão para os demais ensaios de punção com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e F

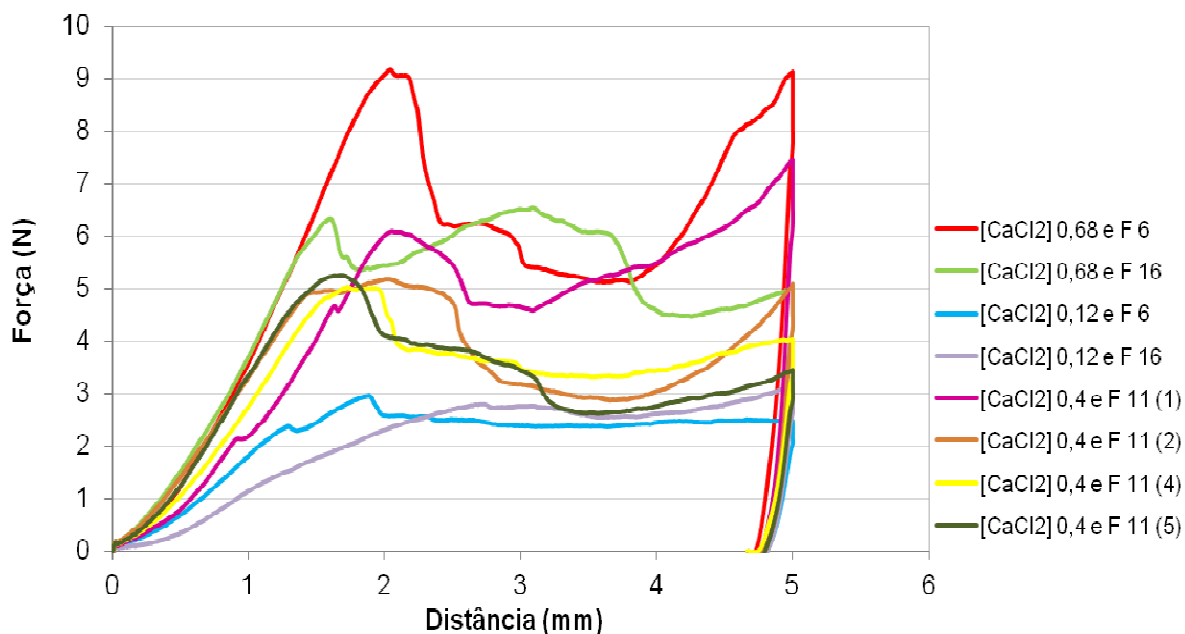


Figura 46: Curvas força versus deformação do feijão para os demais ensaios de cisalhamento com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e valor F

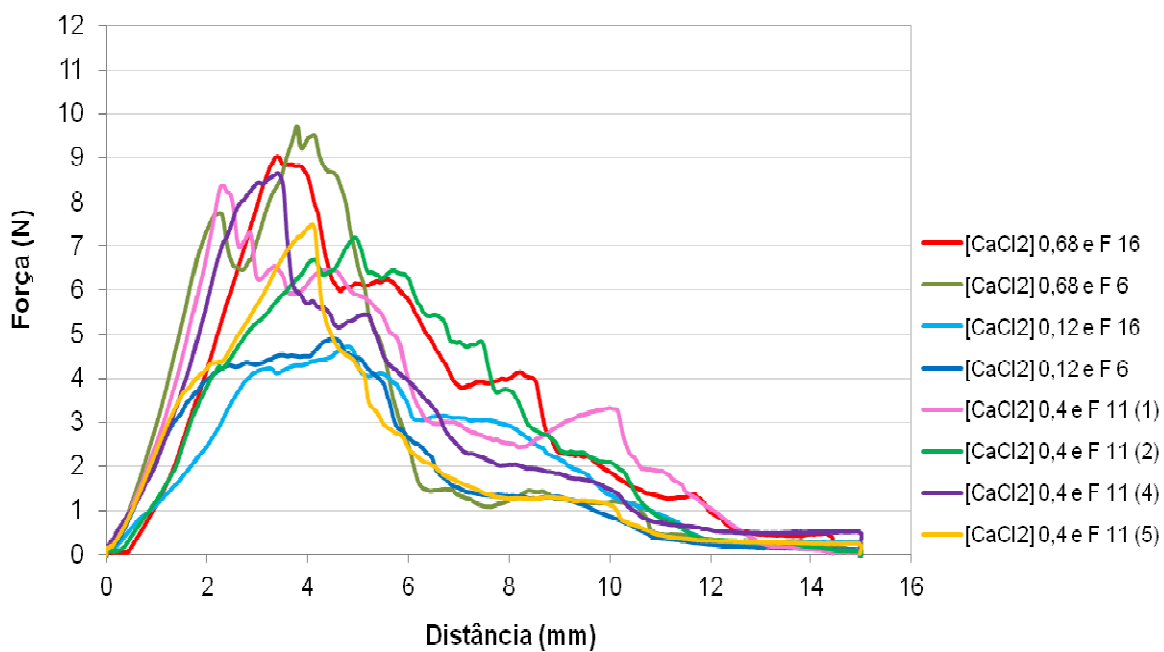


Figura 47: Curvas força versus deformação do feijão para os demais ensaios de compressão e extrusão com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e valor F_0

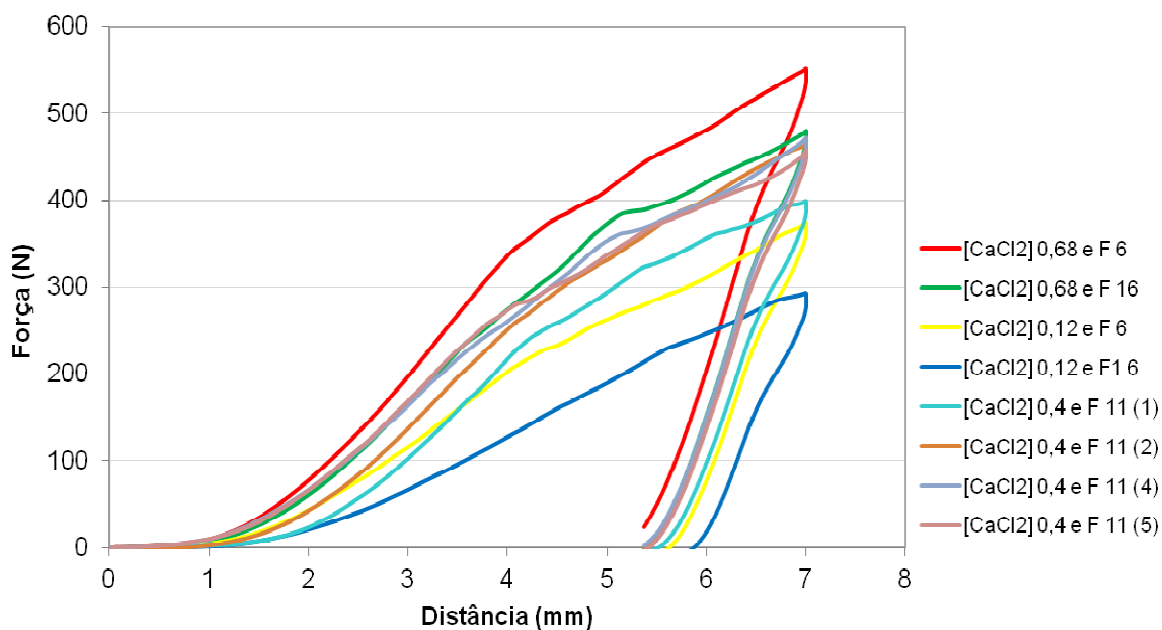


Figura 48: Curvas de força versus deformação da soja para os demais ensaios de punção com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e valor F_0

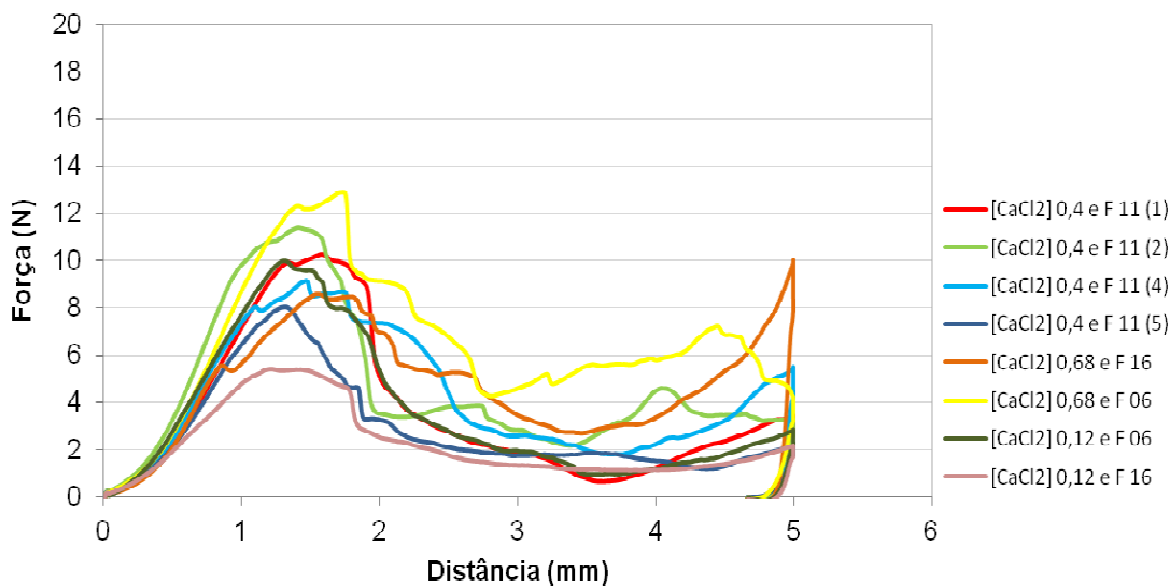


Figura 49: Curvas força versus deformação da soja para os demais ensaios de cisalhamento com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e valor F

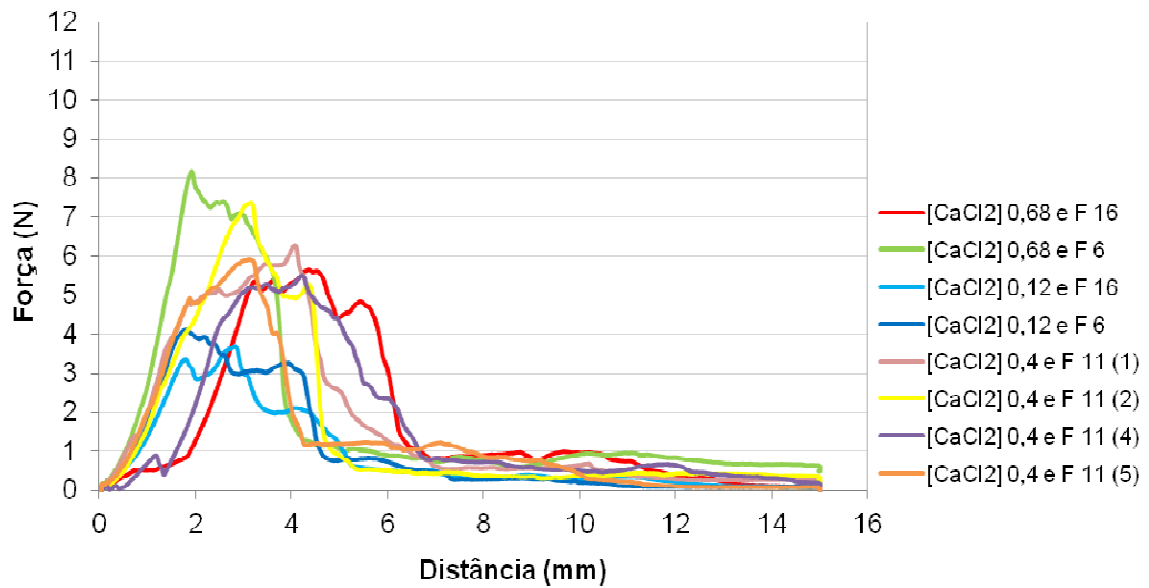
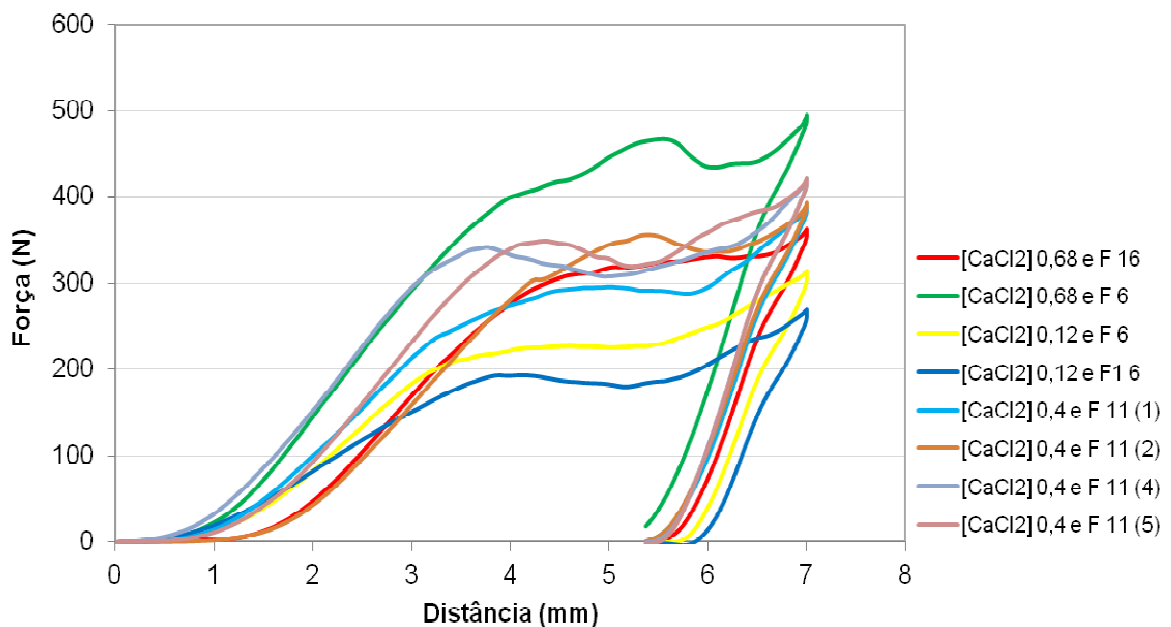


Figura 50: Curvas força versus deformação da soja para os demais ensaios de compressão e extrusão com diferentes concentrações de cloreto de cálcio e valor F



Flávia Abonizio Vaini

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela UNESP Campus São José do Rio Preto (2008). Ingressou em 2012 no Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível mestrado, área de concentração em Química e Tecnologia de Alimentos, para desenvolver pesquisa sobre os efeitos das condições de hidratação e esterilização nas propriedades de textura do feijão Carioca e da soja submetidos ao processamento térmico em embalagens flexíveis esterilizáveis, sob orientação do Prof. Dr. Roger Darros Barbosa. O tema investigado contribuiu para complementar conhecimentos para o planejamento e condução de experimentos envolvendo variáveis independentes, com análise estatística por meio de superfície de resposta, bem como em análise instrumental de textura. Atua em Pesquisa e Desenvolvimento para indústria frigorífica, onde desenvolve produtos alimentícios comercialmente estéreis em embalagens flexíveis, principalmente produtos cárneos, pratos prontos com carne, molho e vegetais, dimensionando tratamentos térmicos e padronizando produtos, e no desenvolvimento de novas tecnologias e fornecimentos alternativos relacionados aos ingredientes para a indústria de produtos cárneos, com interação direta com as áreas de Garantia de Qualidade, Suprimentos, Planejamento de Produção e Comercial. Atua também com Boas Práticas de Fabricação, Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle, Normas BRC e ISO 9001:2000, e, foi professora em cursos técnicos profissionalizantes na área de alimentos no Instituto Americano de Lins.

TERMO DE REPRODUÇÃO XEROGRÁFICA

Autorizo a reprodução xerográfica do presente Trabalho de Conclusão, na íntegra para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, ____/____/____

Assinatura do autor