



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VERA DE TOLEDO BENASSI

**SELEÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO
DE TOFU, DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS, QUÍMICAS, NUTRICIONAIS E SENSORIAIS DO
PRODUTO**

Londrina
2011

VERA DE TOLEDO BENASSI

**SELEÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO
DE TOFU, DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS, QUÍMICAS, NUTRICIONAIS E SENSORIAIS DO
PRODUTO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos como pré-requisito à obtenção de título de Doutor em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Helena Prudêncio

Londrina
2011

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B456s Benassi, Vera de Toledo.

Seleção de cultivares de soja para produção de tofu, de acordo com as características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais do produto / Vera de Toledo Benassi. – Londrina, 2011.
184 f. : il.

Orientadora: Sandra Helena Prudêncio.

Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Alimentos – Avaliação sensorial – Teses. 2. Queijo de soja – Levantamentos nutricionais – Teses. 3. Soja – Cultivo – Teses. 4. Eletroforese – Teses. I. Prudêncio, Sandra Helena. I I. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDU 641.002.61

VERA DE TOLEDO BENASSI

**SELEÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO DE TOFU,
DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS,
NUTRICIONAIS E SENSORIAIS DO PRODUTO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos como pré-requisito à obtenção de título de Doutor em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sandra Helena Prudêncio
UEL – Londrina – PR

Profa. Dra. Mercedes Concórdia Carrão
Panizzi.
EMPRAPA – Londrina- PR

Profa. Dra. Ilana Felberg
UFRJ – Rio de Janeiro - RJ

Profa. Dra. Elza Louko Ida
UEL – Londrina - PR

Profa. Dra. Josemeyre Bonifácio da Silva
UEL – Londrina - PR

Londrina, 06.setembro de.2011

DEDICO

*À Marina, filha amada, minha maior fonte de motivação.
À minha família e meus amigos, que sempre acreditaram em mim e
torceram pela concretização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA que, por meio de seu programa de aperfeiçoamento de pessoal, possibilitou-me o afastamento das atividades profissionais para a realização do trabalho de doutorado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da UEL, que ministraram cursos sérios e bem estruturados, colaborando para minha formação profissional.

À minha orientadora, Profa. Dra. SANDRA HELENA PRUDENCIO, por sua dedicação meticulosa e, principalmente, por sua paciência e compreensão, durante a orientação deste trabalho.

Aos pesquisadores da Embrapa Soja, que de alguma maneira sempre me acompanharam e incentivaram na realização do trabalho. De maneira especial, ao colega de sala e amigo JOSÉ MARCOS GONTIJO MANDARINO, por partilhar tempo e conhecimento em discussões sobre o cotidiano do trabalho; também à querida colega MERCEDES CONCÓRDIA CARRÃO PANIZZI, pela orientação na escolha das cultivares de soja.

Aos colegas e estagiários da Embrapa Soja que fizeram parte da equipe sensorial, meus provadores muito queridos, cujo comprometimento incondicional me permitiu realizar a contento a Análise Descritiva Quantitativa dos tofus.

Às funcionárias da Cozinha Experimental da Embrapa Soja IVONE CHOUCINO e MARIA DO CARMO CLEMENTE, que exercendo suporte constante e afetuoso, me ajudaram na produção dos tofus e na realização da análise sensorial.

Ao analista da Embrapa Soja RODRIGO DOS SANTOS LEITE, bem como aos seus estagiários, pela inestimável ajuda em toda a parte de análises físico-químicas e cromatográficas.

Ao técnico agrícola da Embrapa Soja CLEVERSON URRUTIA, que zelou pela produção das cultivares de soja no campo. Ao assistente de pesquisa da Embrapa Soja ADAIR CARNEIRO, pelo espírito de cooperação demonstrado na tomada e manipulação de fotos digitais.

À Profa. Dra. GENI DA SILVA VARÉA, do Depto. de Bioquímica e Biotecnologia da UEL, pela orientação segura na separação das frações protéicas das cultivares por eletroforese, mas sobretudo pelo carinho e amizade desenvolvidos durante o trabalho; e ao estagiário da Embrapa Soja RENAN

AUGUSTO RIBEIRO, pela ajuda na quantificação das citadas frações protéicas.

À minha irmã e professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UEL, MARTA DE TOLEDO BENASSI, cujos argumentos lúcidos e objetivos me levaram a considerar a possibilidade de voltar a estudar.

Ao meu cunhado e professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UEL, FÁBIO YAMASHITA, pela colaboração no planejamento dos experimentos e na elaboração do artigo sobre delineamento fatorial.

À colega do doutorado, MICHELE ROSSET, que generosamente me introduziu à arte de fazer tofu.

Ao meu noivo, MIGUEL ÁNGEL DUMETT CANALES, pelo suporte profissional e emocional; neste último ano, seu amor, calma e companheirismo constituíram apoio incomensurável em meus momentos de fraqueza.

À Marina, minha filha amada, por ser a motivação para este trabalho.

Pedindo adiantadamente desculpas por algum injusto esquecimento, quero expressar minha enorme gratidão a todos os citados. Que Deus lhes devolva em dobro o bem dedicado a mim!

"... Dedicai-vos àquilo que a vós mesmos e aos outros possa trazer proveito.

... Segurai-vos com firmeza à corda dos meios materiais, pondo vossa inteira confiança em Deus, o Provedor de todos os meios. Quando alguém se ocupa em um ofício ou uma profissão, a própria ocupação é considerada, aos olhos de Deus, um ato de adoração; e isso não é senão sinal de Sua infinita generosidade, que a tudo abrange."

Bahá'u'lláh, profeta revelador da Fé Bahá'í

BENASSI, Vera de Toledo. **Seleção de cultivares de soja para produção de tofu, de acordo com as características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais do produto.** 2011. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

RESUMO

O tofu, também conhecido como “queijo de soja” é um produto não fermentado obtido a partir da coagulação do extrato de soja. Existem diversos tipos de tofu no mercado, que diferem principalmente quanto à textura, a qual é influenciada pelas condições de processo e pelas características da cultivar utilizada. Conhecer a composição química e as características físicas dos grãos de soja não é suficiente para julgar a adequação de uma cultivar para produção de tofu. A avaliação do potencial de cultivares é dificultada pela escassez de métodos confiáveis para a produção de tofu em pequena escala. Este trabalho buscou desenvolver um método para obtenção de tofu em condições de laboratório, de modo a comparar o potencial de oito cultivares brasileiras de soja (BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267, BRSMG 790A). As condições de processamento foram definidas a partir de um delineamento experimental fatorial, com cinco variáveis em dois níveis, utilizando a cultivar BRS 267. Os grãos das cultivares de soja foram analisados quanto às características químicas (composição centesimal e mineral, teor de isoflavonas e das diferentes frações protéicas), físicas (tamanho de grãos, cor da casca e hilo, conteúdo de cascas) e tecnológicas (rendimento e capacidade de absorção de água). Os tofus foram analisados quanto às suas características químicas (composição centesimal e mineral, teor de isoflavonas), físicas (cor e textura) e sensoriais (aparência, aroma, sabor e textura), sendo também submetidos a um teste de consumidor (aceitação de atributos). Os delineamentos experimentais utilizados foram o inteiramente casualizado para a produção de tofu e análises químicas e físicas, blocos incompletos casualizados para a análise sensorial descritiva e blocos completos casualizados para a análise sensorial de aceitação. Os dados obtidos foram tratados pelas técnicas estatísticas adequadas a cada situação (ANOVA, teste de comparação de médias de Tukey, teste F, teste Fajustado, teste t, análise de correlação de Pearson, Mapa de Preferência Interno e Análise de Componentes Principais). Os resultados mostraram que as cultivares de soja, embora com diferentes características físicas e químicas, resultaram em rendimento semelhante no processo de obtenção de tofu. Apesar de apresentarem diferenças em sua composição química, cor e textura instrumental e características sensoriais de aparência, aroma e textura, os tofus não foram diferentes no sabor. Todas as cultivares de soja estudadas podem ser usadas para produção de tofu e todos os produtos obtidos foram igualmente aceitos, porém observou-se uma segmentação do público consumidor em relação à preferência, baseada mais no sabor que na textura, formando-se três grupos de consumidores: aqueles que gostaram dos tofus BRS 267 e MG 790A; os que gostaram dos tofus BRS 155 e 258; e consumidores que gostaram dos tofus BRS 216, 232, 257 e 262.

Palavras-chave: Eletroforese. Perfil de textura. Descritores. ADQ. MDPREF. ACP.

BENASSI, Vera de Toledo. **Soybean cultivar selection for tofu production, according to physical, chemical, nutritional and sensory characteristics of the product.** 2011. 184 p. Doctoral (Thesis in Food Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, 2011.

ABSTRACT

Tofu, also known as "soybean cheese", is a non-fermented product obtained from soymilk coagulation. There is a diversity of commercial tofu types that differ mainly in texture, which is influenced by processing conditions and characteristics of the soybean cultivar utilized. Knowing chemistry composition and physical characteristics of soybean grains is not enough to judge soybean cultivar adequacy for tofu production. It is difficult to evaluate cultivar potential due to the shortage of reliable methods for small scale tofu production. This investigation aimed to develop a method to obtain tofu under laboratory conditions, in order to compare potential of eight Brazilian soybean cultivars (BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267, BRSMG 790A). Processing conditions were set up from a factorial experimental design, with five variables in two levels, utilizing soybean cultivar BRS 267. Soybean grains of these cultivars were analyzed according to several chemical characteristics (proximate and mineral composition, isoflavones and protein fractions contents), physical characteristics (grain size, seedcoat and hilum color, seedcoat content) and technological characteristics (water absorption capacity and tofu yield). Tofu samples were investigated with respect to their chemical characteristics (proximate and mineral composition, isoflavone content), physical characteristics (color and texture) and sensory characteristics (appearance, aroma, flavor and texture), being also subjected to a consumer test (attributes acceptance). The experimental design utilized were entirely randomized for tofu production and chemical/physical analysis, incomplete randomized blocks for descriptive sensory analysis and complete randomized blocks for acceptance sensory analysis. Data obtained were treated by appropriate statistical techniques (ANOVA, F-test, Fadjusted test, Tukey mean comparison test, t-test, Pearson correlation analysis, Internal Preference Mapping and Principal Component Analysis). Output of these tests indicated that soybean cultivar, even though with different physical and chemical characteristics, had similar tofu yield. Tofu from soybean cultivars displayed differences in chemical composition, color and texture measurements and in the sensory characteristics appearance, aroma and texture, however tofu did not differ in flavor. All soybean cultivars investigated can be utilized for tofu production and all products were equally accepted, even though it was observed a consumer segmentation in relation to preference, based more on flavor than texture, where three consumer groups were formed: those who liked tofu BRS 267 and MG 790A; those who liked tofu BRS 155 and 258; and consumers who liked tofu BRS 216, 232, 257 and 262.

Keywords: Electrophoresis. Texture profile. Descriptors. QDA. MDPREF. PCA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Produção de soja dos cinco países maiores produtores mundiais	19
Figura 1 – Estrutura das 12 formas químicas de isoflavonas encontradas na soja	36
Quadro 2 – Condições para processamento do <i>momen</i> tofu	41
Figura 2 – Mecanismo de formação de gel durante o processo de coagulação das proteínas de soja na presença de GDL ou CaSO_4	43
Figura 3 – Esquema do sistema para fotografia	60
Figura 4 – Esquema de amostragem para leitura de cor em um conjunto de grãos de soja	60
Artigo 2	
Figura 1 – Mapas de Preferência Interno para sabor, textura e aceitação global de tofus obtidos de diferentes cultivares de soja.....	95
Artigo 3	
Quadro 1 – Atributos, definições e referências para a avaliação sensorial (ADQ) de tofus.....	117
Figura 1 – Eletroforese em condições dissociantes e gradiente de 8 a 16% de concentração de acrilamida	118
Figura 2 – Gráficos obtidos na Análise de Componentes Principais da ADQ de tofus de cultivares brasileiras de soja	121
Resumo expandido	
Figura 1 – Esquema do sistema para fotografia	145
Figura 2 – Esquema de amostragem para leitura de cor em um conjunto de grãos de soja	145
Figura 3 – Grãos das cultivares de soja	149
Anexo I	
Quadro 1 – Planejamento fatorial fracionário 2^{5-1} para produção de tofu	171
Quadro 2 – Características dos tofus comerciais e experimentais	171

Quadro 3 – Efeitos das variáveis de processo sobre as variáveis de resposta	172
Quadro 4 – Respostas calculadas pelos modelos polinomiais para as condições de processo selecionadas	172
Figura 1 – Etapas de processamento do tofu	173

Anexo II

Quadro 1 – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da UEL	175
Quadro 2 – Questionário de recrutamento dos julgadores (ADQ)	176
Quadro 3 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido dos julgadores (ADQ)	178
Quadro 4 – Ficha para Levantamento de Terminologia Descritiva	179
Quadro 5 – Atributos, definições e referências para a avaliação sensorial (ADQ) de tofus	180
Quadro 6 – Ficha de avaliação dos tofus	181
Quadro 7 – Protocolo para avaliação das amostras	182

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Table 1 – Momen tofu production conditions employed in several studies.....	70
Table 2 – Fractional factorial design 2^{5-1} for tofu production.....	71
Table 3 – Characteristics of commercial and experimental tofu	74
Table 4 – Effects of independent variables on dependent variables	76
Table 5 – Mathematical simulation and modeling validation results	79

Artigo 2

Tabela 1 – Composição centesimal dos grãos de soja	89
Tabela 2 – Peso e dimensões de grãos de cultivares de soja.....	90
Tabela 3 – Conteúdo de cascas nos grãos de soja e relação entre massa e área das cascas	90
Tabela 4 – Rendimento em tofu e água absorvida na maceração dos grãos	91
Tabela 5 – Composição centesimal de tofus de cultivares de soja	93
Tabela 6 – Valores de dureza instrumental e notas hedônicas de atributos sensoriais de tofus de cultivares de soja	94
Tabela 7 – Aceitação global de tofus de diferentes cultivares para os grupos de consumidores do Mapa de Preferência Interno	96

Artigo 3

Tabela 1 – Valores estimados das frações protéicas β -conglucina e glicinina em cultivares brasileiras de soja.....	118
Tabela 2 – Parâmetros de cor de tofus de cultivares brasileiras de soja no sistema CIE Lab	119
Tabela 3 – Perfil de textura de tofus de cultivares brasileiras de soja.....	119
Tabela 4 – Intensidade média de atributos sensoriais de tofus de cultivares brasileiras de soja.....	120
Tabela 5 – Correlações significativas entre os resultados de análises sensoriais, químicas e físicas de tofus de cultivares brasileiras de soja.....	120

Artigo 4

Tabela 1 – Composição mineral de grãos e tofus de cultivares brasileiras de soja.....	137
---	-----

Tabela 2 – Isoflavonas presentes em grãos e tofus das cultivares brasileiras de soja.....	138
Tabela 3 – Material inicial e final no processamento e quantidades de alguns componentes de interesse nutricional	139
Tabela 4 – Impactos do processamento sobre a retenção de compostos de interesse nutricional no tofu.....	140
Tabela 5 – Quantidade de minerais em uma porção de tofu, ingestão diária recomendada de minerais e percentual da ingestão diária fornecida por uma porção de tofu.....	140
Resumo expandido	
Tabela 1 – Parâmetros de cor da casca e do hilo de grãos de cultivares brasileiras de soja.....	146
Tabela 2 – Parâmetros de cor de tofus de diferentes cultivares brasileiras de soja.....	146
Anexo II	
Tabela 1 – Avaliação do poder de discriminação de amostras de cada julgador em relação a cada atributo.....	183
Tabela 2 – Avaliação da repetibilidade de cada julgador em relação a cada atributo	183
Tabela 3 – Avaliação da concordância de cada julgador com a equipe	184

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO	18
3.1	Generalidades sobre a Soja e seus Derivados na Alimentação Humana	18
3.1.1	Histórico da cultura da soja	18
3.1.2	A soja como alimento	19
3.1.3	Melhoramento genético de cultivares	20
3.1.4	Avaliação do potencial de cultivares de soja para a produção de alimentos	22
3.1.5	A soja como alimento funcional	23
3.2	Tofu	25
3.2.1	Características gerais	25
3.2.2	Produção de tofu	28
3.3	Fatores que Afetam Rendimento e Qualidade do Tofu	29
3.3.1	Características da matéria-prima	29
3.3.1.1	Grãos de soja	29
3.3.1.1.1	<i>Características físicas e sensoriais</i>	30
3.3.1.1.2	<i>Características químicas</i>	32
3.3.1.2	Agentes coagulantes	37
3.3.2	Método de obtenção de tofu	39
3.3.2.1	Mecanismo de formação do gel protéico	42
3.3.2.2	Perdas no processamento	44
3.4	Avaliação das Características do Tofu	45
3.4.1	Composição química	45
3.4.2	Determinação instrumental de cor e textura	46
3.4.3	Análise sensorial	47
4	MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1	Material	50
4.1.1	Cultivares de soja	50
4.1.2	Tofus experimentais	50
4.1.3	Amostras comerciais de tofu	51
4.1.4	Agente coagulante	51
4.1.5	Reagentes químicos	51
4.2	Métodos	51
4.2.1	Produção dos tofus experimentais	51
4.2.1.1	Delimitação experimental para definição das condições de processamento	51
4.2.1.2	Protocolo do procedimento para obtenção de tofu	53
4.2.1.3	Parâmetros avaliados no processamento	54
4.2.2	Análises físico-químicas dos grãos de soja e tofus	55
4.2.2.1	Composição centesimal dos grãos e tofus	55
4.2.2.2	Determinação de minerais dos grãos de soja e tofus	55
4.2.2.3	Determinação de isoflavonas dos grãos de soja e tofus	56

4.2.2.4	Extração, separação e quantificação de frações protéicas dos grãos de soja.....	56
4.2.2.5	Tamanho dos grãos de soja.....	57
4.2.2.6	Determinação da quantidade de cascas dos grãos de soja.....	58
4.2.3	Análise Instrumental.....	58
4.2.3.1	Perfil de Textura Instrumental (TPA) dos tofus.....	58
4.2.3.2	Determinação de cor dos grãos de soja e tofus.....	59
4.2.3.2.1	<i>Determinação de cor dos tofus</i>	59
4.2.3.2.2	<i>Determinação de cor dos grãos</i>	59
4.2.4	Análise Sensorial dos tofus.....	60
4.2.4.1	Teste de Aceitação de Atributos.....	61
4.2.4.2	Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) dos tofus.....	61
4.2.5	Delineamento experimental e metodologia de análise estatística.....	62
5	RESULTADOS	64
	ARTIGO 1.....	65
	ARTIGO 2.....	81
	ARTIGO 3.....	100
	ARTIGO 4.....	122
	RESUMO EXPANDIDO.....	141
	RESUMO 1.....	150
	RESUMO 2.....	152
6	CONCLUSÕES	154
	REFERÊNCIAS	156
	ANEXO I	170
	ANEXO II	174

1 INTRODUÇÃO

Em função da expansão e diversificação na cadeia da soja, o melhoramento genético de cultivares tem deixado de considerar apenas o desempenho agrônômico, para ocupar-se também de outras características dos grãos, a fim de disponibilizar matérias-primas com maior potencial de uso na alimentação humana. As cultivares de soja desenvolvidas com esta finalidade devem apresentar características especiais, resultando em produtos de melhor qualidade para o consumidor e com retorno financeiro para o agricultor, o comerciante e a indústria (EVANS et al., 1997; CARRÃO-PANIZZI, 2000; DA SILVA, 2009).

O tofu é um produto tradicional não fermentado, nutritivo, de fácil digestão e baixo custo, produzido a partir da coagulação do extrato de soja. Tem sido uma importante fonte de proteínas na dieta da população asiática, há séculos (MESSINA et al., 1994; SHIH et al., 1997).

Para os fabricantes de tofu, o rendimento é importante do ponto de vista econômico, assim como a qualidade do produto, na qual a textura tem papel preponderante (SHEN, 1991). A textura do tofu é principalmente influenciada pelo processo e pelas características da cultivar de soja utilizada e a preferência quanto ao seu grau de dureza varia segundo o hábito cultural e o gosto pessoal do consumidor (CUI et al., 2004). Além da cultivar e do processamento, outros fatores também contribuem para a textura do tofu, como a concentração das frações protéicas 11S e 7S, cuja variação pode, inclusive, servir como critério de seleção de cultivares de soja para tofu (EVANS, 1997).

A avaliação do potencial de cultivares de soja para produção de extrato e de tofu, exige método padronizado e de pequena escala, que permita uma comparação confiável. Vários pesquisadores (EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; MULLIN et al.; 2001) buscaram desenvolver métodos para discriminar o desempenho comparativo de cultivares e linhagens de soja.

O processamento do tofu pode variar conforme o fabricante, mas as etapas básicas são: maceração dos grãos; trituração com água; filtração; adição de um ou mais coagulantes ao extrato de soja; segue-se o aquecimento, para facilitar a coagulação (CUI, 2004). Corte e dessoragem do coágulo são opcionais, realizadas quando se deseja obter uma textura mais firme (PRABHAKARAN et al., 2006; FENNEMA, 1996).

As características do tofu obtido dependem basicamente da matéria-prima e do método de fabricação empregado. Embora o tofu possa ser obtido a partir de qualquer cultivar, os fabricantes preferem grãos grandes e com alto teor de proteína, que geralmente proporcionam maior rendimento (POYSA; WOODROW, 2002). Cultivares de soja consideradas excelentes para a produção de tofu são aquelas capazes de fornecer alto rendimento no processamento e resultar em produtos com sabor agradável, alto teor de proteínas e propriedades de textura adequadas ao tipo de tofu produzido (CAI et al., 1997).

Na produção do tofu, a coagulação é a etapa mais importante e mais difícil de ser controlada porque envolve muitas variáveis, como o tipo e concentração de coagulante, o tratamento térmico do extrato de soja e as condições de tempo e temperatura para coagulação (HOU, 1997). A formação do gel protéico envolve duas etapas: primeiramente, ocorre a desnaturação da proteína pelo calor e, em seguida, a coagulação hidrofóbica promovida por um coagulante (KOHYAMA et al., 1995; NOH, 1995). No processamento, podem também ocorrer perdas de componentes químicos, por solubilização e arraste na fase aquosa, nas etapas de maceração dos grãos, de separação entre o extrato e resíduo da soja e na dessoragem (TSAI et al., 1981).

A aceitação de um alimento depende de características que podem ser avaliadas diretamente pelos sentidos humanos, por meio de testes sensoriais, bem como pela utilização de instrumentos que permitam medir, diferenciar e comparar alguns de seus atributos. Desta forma, o objetivo deste estudo foi identificar as características físicas e químicas de cultivares de soja apropriadas para produção de tofu com características nutricionais e sensoriais desejáveis.

2 OBJETIVOS

Geral

Identificar as características físicas e químicas de cultivares de soja apropriadas para produção de tofu com características nutricionais e sensoriais desejáveis.

Específicos

Desenvolver um protocolo de procedimento apropriado para a produção de tofu em escala de laboratório.

Determinar características físicas e químicas de oito cultivares brasileiras de soja e seus respectivos tofus.

Determinar o perfil sensorial por meio da Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) dos tofus obtidos de oito cultivares de soja.

Estabelecer relações entre as características físicas, químicas e sensoriais dos tofus e investigar os efeitos do processamento e das características originais dos grãos sobre os produtos.

Determinar a aceitação sensorial dos tofus das cultivares e a segmentação do público consumidor.

3 REVISÃO

3.1 Generalidades sobre a Soja e seus Derivados na Alimentação Humana

3.1.1 Histórico da cultura da soja

As evidências geográficas e históricas indicam que a soja foi primeiramente cultivada no noroeste da China, por volta do século XI a.C. e seu nome aparece citado em um dos livros clássicos chineses, cujos versos foram escritos entre os séculos XI e VII a.C. (LIU, 1999b). Segundo os historiadores chineses, o imperador Sheng-Nun mencionou a soja em um livro escrito há quase cinco mil anos atrás, chamando-a de uma das cinco culturas sagradas (junto com o arroz, trigo, cevada e milho), essenciais para a civilização chinesa. A soja espalhou-se gradualmente para outros países asiáticos, não tendo chegado ao Japão até o século VIII d.C. (MESSINA et al., 1994).

Foi introduzida na Europa por um botânico alemão, aproximadamente em 1712 e, mais tarde, recebeu do botânico sueco Lineu o nome científico de *Glycine max* (LIU, 1999b). Tendo sido iniciados estudos da soja como fonte de óleo e nutriente animal por pesquisadores europeus, no final do século XVIII a soja chegou aos EUA, embora a introdução oficial como cultura comercial não tenha ocorrido antes do início do século XX. A partir do final da Primeira Guerra Mundial, em 1919, a soja passou a ter destaque efetivamente internacional e, em 1921, foi criada uma associação para cuidar dos interesses de toda a cadeia da soja nos EUA, a *American Soybean Association* (MESSINA et al., 1994).

No Brasil, foi cultivada pela primeira vez em 1901, na Estação Agropecuária de Campinas; foi trazida também pelos primeiros imigrantes japoneses em 1908 e sua introdução oficial foi em 1914, no Rio Grande do Sul. Porém, sua expansão aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional (A SOJA, 2007).

A produtividade brasileira que, nas últimas 20 safras, havia ultrapassado por cinco vezes a americana (nos anos 2000, 2001, 2003, 2004 e 2008), superou, no ciclo 2010/11, o recorde internacional. O recorde anterior era dos EUA, de 2.958 kg/ha, em 2009/10, tendo o Brasil alcançado o valor de 3.115 kg/ha (ROCHER, 2011).

O Quadro 1 contém a produção dos dez países maiores produtores mundiais de soja em 2011 (USDA, 2011).

	País	Produção (milhões t)
1	Estados Unidos	90,6
2	Brasil	75,5
3	Argentina	49,0
4	China	15,1
5	Índia	9,6
6	Paraguai	8,3
7	Canadá	4,3
8	Ucrânia	1,7
9	Uruguai	1,5
10	Bolívia	1,6
Produção Mundial		263,9

Fonte: USDA, 2011.

Quadro 1. Produção de soja dos dez países maiores produtores mundiais

3.1.2 A soja como alimento

Ao ser introduzida no Ocidente, a soja já era cultivada há 5000 anos na China e já tinha sido transformada em vários tipos de alimentos. Devido ao seu alto teor de proteínas e óleo, os alimentos tradicionais de soja nutriram os chineses ao longo de todo esse tempo. As formas de processamento dos grãos foram sendo desenvolvidas e introduzidas em diversos países vizinhos, causando o aparecimento de produtos próprios em cada um deles, que foram incorporados à cultura e tradição dessas regiões. Hoje, os alimentos de soja e suas técnicas de preparação estão difundidos por todo o mundo. As inovações em termos de processamento e de embalagem modernizaram os métodos tradicionais, com aumento no rendimento e na qualidade dos produtos e redução nos custos de produção, resultando no aumento da popularidade desses produtos (LIU, 1999b).

Um problema que, historicamente, limitou a expansão do uso de produtos de soja no Ocidente são os sabores indesejáveis que podem ocorrer durante o processamento, principalmente o *beany flavor*. Quando as lipoxigenases presentes na soja oxidam os ácidos graxos poliinsaturados (PUFA), são gerados compostos carbonílicos voláteis, como aldeídos, cetonas e alcoóis, muitos deles com aroma ou sabor indesejável (ROBINSON, 1995). De acordo com a literatura, o n-hexanal é o composto formado em maior quantidade e o que mais contribui para o aparecimento

do sabor conhecido como *beany* (LIU, 1999a), ou em português, feijão cru. Carrão-Panizzi et al. (1999a) verificaram, em extrato e grãos cozidos de soja, que a presença de *beany flavor* provocava um mascaramento ou reduzia a percepção de sabor amargo ou adstringência pelos provadores. Da Silva (2009) comenta o fato de que, pela dificuldade em descrever e quantificar os sabores e odores presentes na soja, há pesquisadores que adotam o termo *beany flavor* para representar, de maneira geral, o sabor da soja.

No tofu, a ação das lipoxigenases sobre os lipídios é decorrente da maceração a frio a que os grãos são submetidos no início do processamento. A ação enzimática pode ser reduzida pela trituração dos grãos em água à temperatura superior a 70°C, porém isto traz a desvantagem de reduzir a solubilidade da proteína e o rendimento do tofu (CUI et al., 2004). Além do mais, o tratamento térmico implica gastos para a indústria de alimentos e pode gerar sabores indesejáveis como ‘tostado’ e ‘cozido’ (LIU, 1999b).

Dependendo do processamento e da cultivar utilizada, os alimentos à base de soja podem apresentar outras características de sabor indesejáveis. As isoflavonas e saponinas são compostos que podem trazer gosto amargo aos produtos de soja, assim como sensação oral de adstringência e/ou gredosidade (FUKUSHIMA, 2001). A partir do momento em que a proteína de soja foi aprovada como funcional, com alegação de saúde, pelo órgão americano que controla medicamentos e alimentos, o *Food and Drugs Administration* (FDA), em 1999, a aceitação dos produtos de soja cresceu enormemente; naqueles segmentos de mercado em que os consumidores estão mais atentos às possíveis propriedades funcionais dos alimentos, eventuais efeitos negativos sobre o sabor (das isoflavonas, por exemplo) podem até vir a ser ignorados (CUI et al., 2004).

3.1.3 Melhoramento genético de cultivares

O melhoramento genético de cultivares de soja sempre esteve voltado primordialmente para o desempenho agrônômico, tratando a soja como uma *commodity*, voltada para o objetivo de produzir óleo e farelo para ração animal. O comércio de sementes de soja está baseado principalmente em cultivares selecionadas pelo alto rendimento ou resistência no campo e não por serem mais adequadas para a produção de alimentos (EVANS et al., 1997). Também na

comercialização do grão as indústrias avaliam a matéria-prima baseando-se mais em fatores quantitativos (peso, umidade, percentual de grãos danificados e de impurezas), de rendimento do processo, do que na qualidade do grão. Porém, a cadeia da soja vem mudando e tem crescido o interesse pelas características tecnológicas, nutricionais, funcionais e sensoriais dos grãos, a fim de disponibilizar matérias-primas com maior potencial de uso na alimentação humana, que resultem em produtos de melhor qualidade para o consumidor e com melhor retorno financeiro para o agricultor, o comerciante e a indústria (SBARDELOTTO; LEANDRO, 2008).

As cultivares de soja desenvolvidas para uso na alimentação humana devem apresentar características especiais em termos tecnológicos (capacidade de absorção de água e tempo de cozimento adequados, ausência de enzimas lipoxigenases), de aparência (grãos grandes ou pequenos, cor mais clara ou mais escura) e de composição (diminuição do teor de óleo ou fatores antinutricionais, aumento no teor de proteínas, minerais, açúcares e outros compostos de interesse), de modo a atender a uma cadeia cada vez mais exigente de consumidores, produtores, processadores de alimentos e exportadores (CARRÃO-PANIZZI, 2000).

De maneira geral, a utilização de cultivares de soja mais ricas em proteínas pode colaborar para a obtenção de alimentos com valor nutricional elevado, possivelmente com maior rendimento no processo. O desenvolvimento de cultivares livres de enzimas lipoxigenases também é uma alternativa viável para a produção de alimentos de soja com melhores características sensoriais (LIU, 1999a). Mais especificamente, se um geneticista visa o desenvolvimento de uma cultivar para tofu, poderia levar em consideração fatores como: teor de proteína e de açúcares, tamanho do grão, cor do hilo, propriedades de formação de gel e cor do tofu (CUI, 2004).

O Centro Nacional de Pesquisa de Soja – Embrapa Soja, localizado em Londrina/PR e integrante da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, tem desenvolvido cultivares de soja diferenciadas em seu programa de melhoramento genético, seja pelo seu alto teor de proteínas, tamanho especial (grande ou pequeno), tegumento e hilo claros, características sensoriais superiores às convencionais (ausência de lipoxigenases, teor mais elevado de sacarose e alguns aminoácidos), visando atender à indústria processadora de alimentos de soja e obter melhor aceitação por parte dos consumidores (CARRÃO-PANIZZI, 2000).

Paralelamente ao melhoramento genético de cultivares, a Embrapa Soja tem desenvolvido, desde 1985, um programa para divulgação sistemática e incentivo à utilização de soja na alimentação humana (EMBRAPA SOJA, 2011)

3.1.4 Avaliação do potencial de cultivares de soja para a produção de alimentos

A determinação da composição química dos grãos e suas características físicas não são suficientes para julgar a adequação de uma cultivar de soja para produção de extrato e tofu. É necessário preparar estes produtos e determinar seu rendimento, composição, teor de sólidos e textura (MULLIN et al., 2001).

A avaliação do potencial de cultivares (e linhagens) de soja para produção de extrato e de tofu, exige método padronizado e de pequena escala, que permita uma comparação confiável entre as matérias-primas. Vários pesquisadores, citados a seguir, buscaram desenvolver métodos para discriminar o desempenho comparativo de cultivares e linhagens de soja a serem utilizadas na produção de tofu ou outros produtos de soja.

Os métodos manuais, de laboratório, por dependerem mais da habilidade do manipulador, dificilmente fornecem resultados reprodutíveis, conforme relatado por Cai e Chang (1998), que comentam que a avaliação do potencial de uma cultivar para produção de tofu requer uma escala de produção maior e automatizada. Hou et al. (1997) afirmaram que os métodos em escala de laboratório, usando quantidades pequenas (80-150g) de grãos de soja, geralmente são difíceis de padronizar e obter boa reprodutibilidade. Estas percepções são confirmadas pelo estudo de Cai et al. (1997) que, comparando os dois tipos de métodos, mostraram que o automatizado era mais adequado para testar cultivares comerciais de soja para uso em processos industriais, enquanto o método de batelada, em menor escala, era útil para avaliação de cultivares e linhagens em desenvolvimento, quando a quantidade de grãos disponível é pequena. Evans et al. (1997) testaram um método descontínuo comparativo com grande número de cultivares, observando diferenças significativas no rendimento do extrato e na eficiência de recuperação da proteína e de sólidos da soja no tofu, bem como em sua textura. Mullin et al. (2001) também procuraram desenvolver um procedimento rápido e reprodutível de obtenção de tofu tipo *silken*, para avaliação de cultivares, tendo por objetivo padronizar um método para

comparações interlaboratoriais.

Sabe-se que nenhum dos métodos desenvolvidos pode alcançar aceitação universal, uma vez que os fabricantes utilizam processos ligeiramente diferentes uns dos outros (EVANS et al.,1997). O importante é que ele seja o mais padronizado possível, de acordo às condições existentes.

Modelos para prever o rendimento de uma cultivar, baseados nas características do grão ou do extrato de soja, podem ter grande interesse para os fabricantes de tofu assim como para os melhoristas de soja, uma vez que eles podem usar esta informação na seleção de cultivares e no controle de processo, em ambos os casos com a finalidade de otimizar o rendimento do tofu (LIM, 1990).

3.1.5 A soja como alimento funcional

O FDA aprovou, em 1999, a alegação de que o consumo diário de 25 g de proteína de soja, como parte de uma dieta pobre em gorduras saturadas, pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares; não incluía nenhum papel significativo das isoflavonas da soja nos efeitos sobre o colesterol. Em 2006, a *American Heart Association* (AHA) decidiu reavaliar a evidência com base nos estudos que se desenvolveram, desde 2000, sobre proteína de soja e isoflavonas. O relatório (SACKS et al., 2006) apresentou as seguintes conclusões: o efeito das isoflavonas sobre LDL ou outros fatores de risco para doenças cardiovasculares foi considerado nulo; a eficácia e segurança das isoflavonas na prevenção ou tratamento de câncer de mama e próstata não ficaram estabelecidas, assim como a possibilidade de aumentar riscos de câncer de endométrio (por medida de precaução, o uso de suplementos não foi recomendado); as isoflavonas apresentaram efeito similar ao placebo sobre as ondas de calor no climatério e os resultados foram não conclusivos em relação à diminuição da velocidade da osteoporose após menopausa; em relação à proteína da soja, o efeito (direto) médio relatado foi de 3% de diminuição no LDL-colesterol, considerado muito baixo para uma ingestão média de 50 g diárias; não foram observados efeitos sobre HDL, triglicérides, lipoproteínas e pressão sanguínea. Por outro lado, foi reconhecido que muitos produtos de soja apresentam baixo conteúdo de gorduras saturadas e alto conteúdo de poliinsaturadas, além de fibras, vitaminas e minerais, e foi afirmado que o uso desses produtos para substituir alimentos com

proteína animal, que contém gordura saturada e colesterol, pode ser benéfico para a saúde geral e cardiovascular (efeito indireto).

A aprovação do FDA em 1999 deu grande impulso ao consumo dos alimentos de soja e também à pesquisa científica sobre soja na alimentação em todo o mundo. Desde o ano de 1994 é realizado o *International Symposium on the Role of Soy in Health Promotion and Chronic Disease Prevention and Treatment*, cuja oitava edição ocorreu em 2008, em Tóquio. O relatório sobre o simpósio (MESSINA et al., 2009) comentou que, em 2007, baseando-se no parecer da AHA, o FDA anunciou estar reavaliando a evidência que suportava a alegação de saúde da proteína de soja; descreveu também as numerosas pesquisas sobre proteínas de soja e isoflavonas apresentadas na ocasião e concluiu que seus possíveis efeitos benéficos à saúde permanecem sendo investigados. O relatório informou também que toda uma sessão do simpósio abordou a “hipótese do equol”, segundo a qual, a variabilidade de resultados observados, atribuída a diferenças entre os sujeitos participantes dos estudos clínicos, depende da capacidade do indivíduo produzir ou não equol, como metabólito da daidzeína, capacidade que varia em frequência nas diferentes populações.

A nona edição do simpósio foi realizada em Washington, em 2010 e o relatório sobre o evento não foi publicado até o momento. Em relato feito por Garton (2011), nutricionista que escreve sobre saúde, foi apresentada uma perspectiva bastante otimista para a soja como alimento funcional, relatando resumidamente palestras e trabalhos apresentados por pesquisadores de diversos países. O Dr James Anderson, da Universidade de Kentucky, autor da meta-análise de 1995, cujos resultados influenciaram a aprovação pelo FDA, apresentou uma atualização daquele trabalho, incorporando estudos mais recentes; ele relatou que, para um consumo médio diário de 30 g proteína de soja, a média de redução no LDL-colesterol foi de 5%, além de redução de 9,8% nos triglicérides e aumento de 3,2% no HDL-colesterol. A combinação dos efeitos positivos sobre todas as frações lipídicas levou o citado pesquisador a concluir que 15 a 25 g de proteína de soja por dia poderiam reduzir o risco de doenças cardiovasculares em 20-24%. Este resultado está alinhado com outra meta-análise realizada por Dr Janice Harland, do Reino Unido, para a *European Food Safety Agency*.

Segundo o mesmo relato (GARTON, 2011), os trabalhos apresentados sobre isoflavonas investigaram, basicamente, seu efeito sobre as ondas de calor da

menopausa (*hot flushes/flushes*) e sobre a segurança do uso da soja por mulheres com alto risco para câncer de mama. Prof. Kurzer, da Universidade de Minnesota, realizou uma revisão sistemática e uma meta-análise de estudos clínicos que mediram frequência e/ou intensidade de *hot flushes* (e cujos resultados haviam sido anteriormente considerados inconsistentes) e encontrou que a ingestão de isoflavonas da soja, em doses diárias de 30-100 mg, resultaram em efeito semelhante ao placebo. Este pesquisador considerou que, sendo estes efeitos somados, representariam cerca de 50% de redução na frequência e severidade dos episódios, constituindo uma melhoria significativa na qualidade de vida das mulheres em menopausa. Os trabalhos apresentados sobre a relação entre isoflavonas e câncer de mama indicaram, resumidamente, que: modelos animais para avaliação da segurança da ingestão de soja são inadequados, uma vez que o metabolismo das isoflavonas ocorre de modo diferente no homem e nos animais; que os alimentos de soja não interferiram com os tratamentos tradicionais com medicamentos (tamoxifen ou anastrozol); que doses relativamente altas de isoflavonas não afetaram mulheres saudáveis com alto risco de câncer de mama; e que o consumo de 15g/dia de alimentos de soja foi seguro para pacientes com câncer de mama.

3.2 Tofu

3.2.1 Características gerais

O tofu é um produto não fermentado, nutritivo, de fácil digestão e baixo custo, produzido a partir da coagulação do extrato de soja (SHIH et al., 1997). É constituído por uma rede tridimensional de gel, formado pela proteína, contendo lipídios e outros componentes do grão retidos dentro dele (KOHYAMA et al., 1995; SAOWAPARK et al., 2008).

Provavelmente desenvolvido por monges budistas, por volta de 164 d.C., o tofu rapidamente tornou-se um alimento básico da cozinha chinesa. Os missionários budistas levaram o tofu para o Japão, onde tornou-se um item popular. Tem sido uma importante fonte de proteínas na dieta da população asiática, há séculos. O consumo *per capita* no Japão foi estimado em cerca de 22 kg de tofu por ano (MESSINA et al., 1994).

O consumo de derivados da soja cresceu na América do Norte, devido ao aumento da imigração asiática e maior aceitação do sabor pela população em geral (LIM et al., 1990). O aumento na presença do tofu na dieta ocidental se deve, em grande parte, à tendência atual de reduzir a ingestão de gordura saturada e de produtos de origem animal (EVANS et al., 1997; POYSA et al., 2006).

Existem diferentes tipos de tofu no mercado. Baseando-se no conteúdo de água e propriedades de textura, o tofu é geralmente classificado em macio, firme e extra-firme (LIU, 1999b). Todos são produzidos pela coagulação do extrato de soja com agentes coagulantes, usados individualmente ou em combinação, os quais dão características específicas de textura e sabor ao tofu (EVANS et al., 1997).

Devido ao sabor quase neutro deste produto, as propriedades de textura do tofu têm importante papel na qualidade e na aceitação pelo consumidor (LIM et al., 1990; KAO, 2004). O tofu apresenta textura semelhante à de um queijo branco macio ou de um iogurte firme; deve ser coesa, lisa e firme, mas não dura ou borrachenta (EVANS et al., 1997; MIN et al., 2005).

A textura do tofu é principalmente influenciada pelo processo e pelas características da cultivar de soja utilizada e a preferência quanto ao seu grau de dureza varia segundo o hábito cultural e o gosto pessoal do consumidor (CUI et al., 2004). Por exemplo, os chineses preferem o tofu firme, conhecido também como *Chinese style* (TSAI et al., 1981).

Há duas grandes categorias de tofu, *silken* e *momen*, conhecidos no Japão como *kinugoshi* e *momengoshi* tofu. *Silken* tofu é formado pela coagulação do extrato de soja na própria embalagem de consumo. *Momen* tofu é obtido pela quebra do coágulo, seguida pela pressão em uma forma, para remoção de parte do soro; por isso é um produto mais firme que o *silken* e de textura menos homogênea, uma vez que o coágulo é quebrado e depois reformatado sob pressão (EVANS et al., 1997). Nos tofus prensados, quanto maior a pressão aplicada sobre o tofu, maior será sua firmeza. Na produção de *silken* tofu, o coágulo formado deve apresentar textura macia, mas firme o suficiente para conservar sua forma quando cortado (LIU, 1999b).

Além da cultivar de soja e do processamento, outros fatores também contribuem para a textura do tofu. Sabe-se que a concentração das frações protéicas 11S e 7S variam bastante nas cultivares de soja, assim como a composição das subunidades de ambas. Alterações no quociente entre β -conglucina e glicina (11S/7S) resultam

em mudanças na textura do produto. Estes critérios de seleção podem ser acrescentados na avaliação de cultivares para tofu (EVANS, 1997).

A dureza é a característica de textura mais importante para a classificação comercial do tofu e é uma medida frequentemente reportada nos trabalhos sobre a qualidade deste produto (LU, 1980; EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; ABD KARIM et al., 1999; POYSA; WOODROW, 2002; MUJOO et al., 2003; KAO et al., 2003; MIN et al., 2005; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; YUAN; CHANG, 2007). Os valores de dureza encontrados na literatura situam-se em uma faixa bastante ampla. A grande variabilidade entre os dados não pode ser justificada apenas pelas cultivares de soja e pelas condições de processamento do tofu empregadas por diferentes autores. Há também diferenças nos métodos de determinação de dureza, pois foram utilizados equipamentos distintos, operando sob condições não padronizadas, as quais foram definidas para cada estudo. Também há variação no formato e dimensões da amostra a ser medida, assim como no local de tomada da medição (parte externa e/ou interna do produto). Sendo assim, Sun e Breene (1991) e Min et al. (2005) encontraram valores próximos a 1N, enquanto Lu et al. (1980) observaram tofu com 11,5 N e Cai et al. (1997) obtiveram produtos com dureza variando entre 14 e 37N. Apesar da discrepância encontrada entre os dados publicados, a maioria dos trabalhos apresentou valores compreendidos entre 2,5 e 7,3 N (HOU et al., 1997, CAI et al., 1998, KAO et al., 2003, CIABOTTI, 2004, PRABHAKARAN et al., 2006, ROSSET, 2007).

Quanto a outros parâmetros de textura, em vários trabalhos são encontrados valores para a mastigabilidade (ABD KARIM et al., 1999; KAO et al., 2003; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; ROSSET, 2007). Porém Yuan e Chang (2007), baseados em Szczesniak e Bourne (1995), chamaram a atenção para o fato de que a mastigabilidade é própria de alimentos sólidos e não de um produto semi-sólido como o tofu, geralmente melhor descrito pelo parâmetro gomosidade. Já a fraturabilidade é raramente mencionada (EVANS et al., 1997) na literatura sobre tofu.

3.2.2 Produção de tofu

No Oriente, a produção de tofu tem sido considerada uma arte, pois sem um mínimo de experiência não se consegue obter um produto de boa qualidade. Mesmo com o conhecimento atual sobre a química de proteínas, é difícil produzir tofu com consistente qualidade e rendimento, uma vez que são muitos os fatores envolvidos (LIU, 1999b). Sabe-se que há uma interação complexa entre vários componentes, que podem afetar o rendimento e qualidade do tofu (LIM et al., 1990; NOH et al., 2005; YUAN; CHANG, 2007). Assim, embora não seja uma tecnologia nova e pouco se tenha alterado no processamento do tofu por mais de 2000 anos, produzir tofu com excelente qualidade tecnológica e sensorial continua sendo um desafio (SHEN et al., 1991; HOU, 1997; LIU et al., 2004).

O processamento do tofu pode variar conforme o fabricante, mas as etapas básicas são: maceração dos grãos; trituração com água; filtração; adição de um ou mais coagulantes ao extrato de soja; segue-se o aquecimento, para facilitar a coagulação (CUI, 2004). A dessoragem do coágulo é opcional, feita quando se deseja obter uma textura mais firme (PRABHAKARAN et al., 2006). O corte do coágulo também é uma etapa opcional no processamento de tofu; o rompimento da rede tridimensional do coágulo por um meio físico propicia a saída de água retida por capilaridade em seus poros (FENNEMA, 1996).

O rendimento do processo é muito importante do ponto de vista econômico. É expresso como a relação entre a massa de tofu produzida e a massa inicial de grãos. Na literatura, são encontrados resultados que variam desde 169 g tofu/100 g grãos (LU et al., 1980) até 552 g/100 g grãos (CAI et al., 1997). Valores intermediários foram observados por vários autores, como Lim et al. (1990), Sun e Breene (1991), Hou et al. (1997), Cai et al. (1998), Kao et al. (2003), Min et al. (2005) e Prabhakaran et al. (2006). A grande diversidade de resultados se deve às diferentes condições utilizadas em cada experimento, seja em termos das cultivares de soja como dos parâmetros de processamento (Quadro 2). Trabalhando com cultivares brasileiras, Ciabotti (2004), obteve rendimento de 275 g tofu/100 g grãos (BRS 133) e 287 g tofu/100 g grãos (BRS 213), enquanto Rosset (2007) obteve 217 g tofu/100 g grãos (BRS 267).

3.3 Fatores que Afetam Rendimento e Qualidade do Tofu

As características do tofu dependem basicamente da matéria-prima e do método de fabricação empregado.

3.3.1 Características da matéria-prima

As matérias-primas fundamentais para a produção de tofu são os grãos de soja e os agentes coagulantes.

3.3.1.1 Grãos de soja

Cor, composição, textura e rendimento do tofu podem ser influenciados pela cultivar de soja utilizada como matéria-prima (LIM et al., 1990; MUJOO et al., 2003; MIN et al., 2005). Os países produtores de soja têm demonstrado considerável interesse em identificar e direcionar as cultivares mais adequadas para cada uso específico, tanto para a comercialização interna como exportação (EVANS et al., 1997; FUKUSHIMA, 2001; POYSA; WOODROW, 2002).

Cultivares de soja consideradas excelentes para a produção de tofu são aquelas capazes de fornecer alto rendimento no processamento e resultar em produtos com sabor agradável, alto teor de proteínas e propriedades de textura adequadas ao tipo de tofu produzido. Também são desejáveis cultivares que resultem em tofu de qualidade constante (CAI et al., 1997).

Após a colheita, os grãos de soja precisam ter sua umidade reduzida abaixo de 14%, de modo a preservar a qualidade, prevenir a germinação e evitar o desenvolvimento de microrganismos (LIU, 1999a). Segundo Cui et al. (2004), os cuidados na pós-colheita e condicionamento do grão parecem ter efeito maior sobre o rendimento do tofu do que a escolha da cultivar. Grãos frescos e não danificados apresentam maior absorção de água durante a maceração, maior proporção de matéria seca recuperada no extrato e um rendimento mais alto em tofu. O armazenamento inadequado pode também prejudicar a propriedade de coagulação da proteína, mesmo se ela foi convenientemente extraída do grão. Uma diretriz prática a ser seguida é que tudo o que diminui o potencial de germinação também propicia a redução de rendimento do tofu.

3.3.1.1.1 *Características físicas e sensoriais*

Os atributos sensoriais de aparência dos grãos de soja podem ser requisitos importantes na escolha de uma cultivar para o processamento de alimentos. Em derivados onde o grão se apresenta inteiro ou em metades descascadas, o tamanho do grão tem grande influência sobre a aparência do produto e sua aceitação pelo consumidor. O tamanho dos grãos de soja é frequentemente determinado pela massa de uma amostra de 100 grãos. Os grãos podem ser classificados de acordo com o seguinte critério: grandes ≥ 20 g, pequenos ≤ 10 g e intermediários entre 10 e 20g/100 grãos (YOKOMIZO et al., 2000).

Quando se trata de um produto moído ou homogeneizado, o tamanho dos grãos se torna menos importante que as cores do tegumento (casca) e do hilo; quanto maior a diferença entre as cores do cotilédone, casca e hilo, mais heterogêneo será o produto, podendo prejudicar sua aparência. Normalmente, os grãos de soja apresentam tegumento ou casca completamente liso, ligeiramente lustroso e até brilhante, devido à presença de ceras em sua superfície. Rossini et al. (1995) relatam que a maioria das cultivares de soja é de coloração amarela, porém a cor da casca pode apresentar outras tonalidades como verde, marrom e preto. A cor do hilo (ponto de fixação do grão na vagem) é uma característica usada na identificação de cultivares; de acordo com Verneti (1982), o hilo pode ser classificado em sete categorias de cores: cinza, amarelo, marrom claro rosado, marrom, marrom avermelhado, preto e preto imperfeito.

Quanto ao teor de casca nos grãos de soja, em cultivares com peso de 100 grãos próximo a 20 g costuma ser próximo a 5-7%; para cultivares maiores, o tamanho influencia menos que outros tratamentos culturais (CUI et al., 2004). A casca da soja é resistente e impermeável, protegendo o cotilédone e o hipocótilo (germe) de danos, de forma a preservar a capacidade de germinação da semente. Os grãos de diferentes cultivares de soja tem capacidade distinta de embeber água e inchar, capacidade esta importante para tornar certos processos industriais mais rápidos e econômicos (LIU, 1999b).

Para os fabricantes de tofu, o rendimento é importante do ponto de vista econômico, assim como a qualidade do produto, na qual a textura tem papel preponderante (SHEN, 1991). Embora o tofu possa ser obtido a partir de qualquer cultivar, os fabricantes preferem grãos grandes e com alto teor de proteína, que geralmente

proporcionam maior rendimento (POYSA; WOODROW, 2002).

Cultivares de soja com grãos grandes e redondos geralmente têm maior teor de sólidos solúveis que cultivares de grãos pequenos, devido a sua relação superfície/volume ser mais favorável, por reduzir a quantidade de casca presente no processo; isto é vantajoso, pois a casca é insolúvel e fica praticamente toda retida no resíduo sólido ou *okara* (CUI et al., 2004). Shen et al. (1991) também relataram que os grãos pequenos contêm maior área de casca por unidade de peso que os grãos grandes. POYSA et al. (2002) encontraram correlação positiva entre o tamanho do grão e o rendimento do tofu. No entanto, Lim et al. (1990) e Shen et al. (1991), estudando a produção de tofu a partir de nove cultivares com grande variação de tamanho, não encontraram correlações entre tamanho de grãos e rendimento.

Lim et al. (1990) comentam que as cultivares de soja que apresentam grãos de tamanho grande e uniforme, hilo claro, casca fina e alto teor de proteínas são preferidas para fazer extrato e tofu. As cultivares de casca e hilo claros simplificam o processo e dão cor melhor ao produto; cultivares com hilo escuro podem também produzir tofu de boa qualidade, porém recomenda-se que os grãos sejam previamente descascados ou que o extrato seja cuidadosamente filtrado (CUI et al., 2004).

A cor é um fator importante em produtos de soja, sendo preferida a cor branca. Extrato de soja e tofu tornam-se mais amarelos com o passar do tempo, então cultivares de soja que resultam em produtos mais amarelos não são interessantes, principalmente para exportação para o Japão. Cultivares livres de lipoxigenase, principalmente L₂ e L₃, podem reduzir bastante os sabores indesejáveis; porém estas cultivares produzem extrato e tofu com cor mais amarela que quaisquer outras, como verificou Evans et al. (1997) para uma linhagem derivada da Century.

Quanto ao sabor, na maioria das cultivares de soja coexistem nos grãos ácidos graxos poliinsaturados (particularmente o linolênico) e enzimas lipoxigenases, que catalisam a oxidação destes ácidos em aldeídos, cetonas e álcoois. Muitos destes componentes, como o hexanal, têm aroma e/ou sabor indesejável, responsável pelo sabor *beany* associado com vários produtos à base de soja (ROBINSON et al., 1995). O sabor *beany* costuma desagradar à população ocidental e é descrito como assemelhado ao de grama, feijão verde ou ranço; no entanto, é normalmente aceito em países tradicionalmente consumidores de soja (CUI et al., 2004).

Alto conteúdo de isoflavonas e saponinas podem estar associados a sabores indesejáveis em produtos de soja, como gosto amargo e sensações orais de adstringência ou gredosidade (FUKUSHIMA, 2001). As linhagens de soja desenvolvidas para *edamame* (soja verde cozida na vagem), selecionadas por seu sabor agradável, geralmente apresentam baixo teor de isoflavonas, além de outros diferenciais, como o perfil de aminoácidos (GLU e ALA), teores de sacarose e amido (MASUDA, 1991).

3.3.1.1.2 Características químicas

A composição do grão de soja e a proporção entre suas partes estruturais depende de muitos fatores, entre eles a cultivar, a localização geográfica, a época de plantio e as condições ambientais. De maneira geral, o grão de soja é constituído por 8% de casca, 90% de cotilédones e 2% de hipocótilo. Em termos de composição química, cerca de 60% do peso seco do grão é formado pela soma entre as quantidades de óleo e proteína (generalizando, 20% de óleo e 40% de proteína), 35% de carboidratos e 5% de fibras (LIU, 1999b).

Proteínas

A proteína é o componente bioquímico presente em maior quantidade no grão de soja e é o que mais influencia a textura do tofu, uma vez que, durante o processamento, o extrato de soja é aquecido para causar a dissociação da proteína e um coagulante é adicionado para dar origem à matriz protéica responsável pela textura do produto (POYSA et al., 2004).

O conteúdo de proteína no grão também influencia o rendimento do tofu, segundo alguns autores (CAI et al., 1997; POYSA; WOODROW, 2002; MIN et al. , 2005). No entanto, Lim et al. (1990) e Shen et al. (1991) verificaram que o alto teor de proteínas nos grãos não garante rendimento mais alto do tofu. Wang et al. (1983) também não encontraram correlação entre o conteúdo de proteínas do grão e o rendimento do tofu, embora tenham verificado diferença significativa entre os rendimentos obtidos por diferentes cultivares de soja. Min et al. (2005) observaram que o conteúdo de proteína do tofu estava mais intimamente relacionado com a proteína do extrato de soja do que com a proteína do grão, uma vez que a proteína presente no extrato pode ser completamente coagulada na forma de tofu.

Além da quantidade de proteínas, é também importante sua qualidade. Dependendo de sua função biológica na planta, as proteínas dos grãos são classificadas em dois tipos: metabólicas (que têm atividade celular) e de reserva (fonte de nitrogênio e carbono para o desenvolvimento da planta); de acordo com o padrão de solubilidade, são divididas em albuminas (solúveis em água) e globulinas (solúveis em soluções salinas). Na soja, predominam as proteínas de reserva, sendo a maioria delas globulinas. As globulinas das leguminosas são classificadas em leguminas e vicilinas que, na soja, são comumente conhecidas como glicinina e conglicinina (LIU, 1999b)

A funcionalidade da proteína de soja é parcialmente dependente da proporção entre as frações protéicas majoritárias, glicinina e β -conglicinina. Estas frações apresentam coeficientes de sedimentação 11S e 7S, respectivamente. Glicinina e β -conglicinina são responsáveis por várias propriedades físicas, químicas e tecnológicas importantes para aplicações em alimentos (FUKUSHIMA, 2001). Juntas, representam 70-80% das proteínas do grão de soja (KITAMURA; KAIZUMA, 1981; TSUKADA; 1986; TAKAHASHI et al., 1994; FUKUSHIMA et al., 2001).

A proporção entre glicinina e β -conglicinina afeta as características de formação de gel e a textura do tofu. Segundo Riblett et al. (2001), a fração 7S possui maior capacidade emulsificante, enquanto 11S é melhor formadora de gel. Cui et al. (2004) relatam que o coágulo obtido a partir da glicinina é significativamente mais firme que o da β -conglicinina e a coesividade e elasticidade são ligeiramente mais altas no coágulo com alta proporção de glicinina. Estes autores compilaram dados obtidos para cultivares de soja japonesas e americanas em nove diferentes estudos e os valores encontrados para a relação 11S/7S variaram largamente, desde 0,3 até 4,9. Cultivares de soja que apresentam maior concentração de glicinina em relação à β -conglicinina são mais adequadas como matéria-prima na fabricação de tofu, pois favorecem as características de formação de gel e a textura do tofu. A relação que ocorre no grão é a mesma verificada no extrato e no tofu (CUI et al., 2004). Estes autores ressaltam também que as subunidades da fração 7S têm distinta capacidade de formação de gel e que, portanto, não apenas a quantidade total de β -conglicinina, mas também a variação no teor de suas subunidades influi nos resultados de textura.

Minerais

O conteúdo de minerais nos grãos de soja é influenciado pela cultivar, pelas condições de cultivo e aplicação de fertilizantes. Os grãos de soja possuem aproximadamente 5% de cinzas (minerais), com predomínio de potássio, fósforo, magnésio, enxofre, cálcio, cloretos e sódio (em média, variando de 0,2 a 2,1%); os micronutrientes incluem silício, ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio, flúor, cromo, selênio, cobalto, cádmio, chumbo, arsênico, mercúrio e iodo, com teores médios de 0,01 a 140 ppm (LIU, 1999b).

Os artigos referentes ao conteúdo de minerais em grãos e tofu (TSAI et al., 1981; LIM et al., 1990; SUN; BREENE, 1991; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; ROSSET, 2007; DA SILVA et al., 2009) fornecem principalmente dados dos macronutrientes (Ca, Mg, P e K) expressos em base seca. Nos grãos, apresentam valores variando entre 160 e 410 mg/100 g para Ca; 190-330 mg/100 g para Mg; 360-770 mg/100 g para P e 1910-2040 mg/100 g para K. A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006) também apresenta teores de minerais nos grãos, cujos valores estão dentro das faixas citadas nos trabalhos internacionais.

O teor de cálcio merece especial atenção, pois derivados de soja, como o extrato e o tofu tem sido usados em substituição ao leite e ao queijo, respectivamente, tanto por indivíduos que restringem alimentos de origem animal em sua dieta como por aqueles com intolerância à lactose ou alergia à proteína do leite. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006), em 100 g de matéria seca, o queijo frescal contém 40 g de proteína e 1316 mg de cálcio, enquanto o tofu (não especificado o coagulante) contém 49 g de proteína e 604 mg de cálcio. Este exemplo mostra que, em termos protéicos, a substituição pode ser adequada ou até mesmo vantajosa, porém o teor de cálcio é menor nos alimentos de soja do que nos lácteos.

O leite bovino e seus derivados são as maiores fontes de cálcio e com maior biodisponibilidade, ou seja, aquelas em que o cálcio se apresenta com maior capacidade de ser absorvido ou utilizado pelo organismo. De maneira geral, aproximadamente 30% do cálcio dietético está biodisponível nos alimentos. Sua absorção ocorre no intestino, seja por transporte ativo (mediado pela vitamina D), como passivo (por difusão) e são muitas as variáveis que influem em sua biodisponibilidade (BUZINARO et al., 2006). No caso da soja e seus derivados,

alguns componentes que podem afetar a absorção do cálcio são as isoflavonas e fitatos (ZHAO et al., 2005).

Na fortificação de bebidas à base de soja, geralmente com fosfato tricálcio ou carbonato de cálcio, um problema adicional a ser considerado é a dispersibilidade do mineral em produtos líquidos, que pode impedir que o cálcio adicionado seja satisfatoriamente ingerido (HEANEY; RAFFERTY, 2006).

Casé et al. (2005) estudaram a adição de diferentes sais de cálcio a extratos de soja, posteriormente submetidos ao tratamento térmico, verificando as alterações na quantidade de cálcio, ocorrência de precipitação ou separação de fases, assim como a aceitação sensorial dos produtos obtidos; chegaram à conclusão de que o cálcio quelato, embora ocasione sabor estranho (facilmente mascarado por adição de aromas), era o sal mais adequado para fortificação de extrato de soja, devido a sua alta solubilidade. O lactato de cálcio, sal que apresentou menor perda no processamento, não se mostrou conveniente para uso em bebidas por ter causado separação de fases e precipitação, devido à coagulação das proteínas.

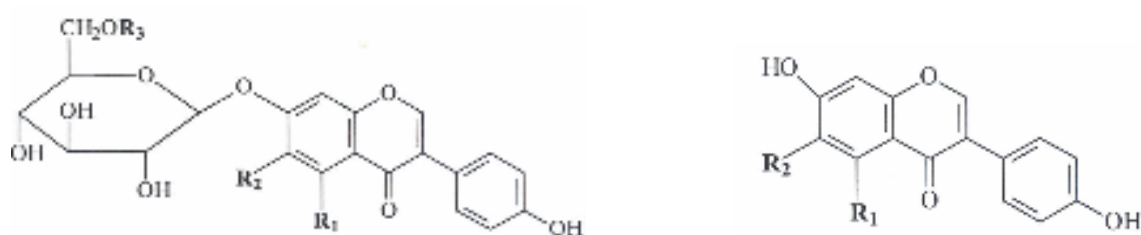
Titchenal e Dobbs (2007) forneceram valores de conteúdo de cálcio total e biodisponível (considerando 31% de absorção) em diferentes tipos de tofu. Os valores mais baixos foram observados para o tofu *silken* elaborado com glucona- δ -lactona (GDL) (25 mg Ca total ou 10 mg de Ca disponível em cada 100 g de produto *in natura*); os valores mais altos, foram encontrados no tofu de textura intermediária elaborado com sulfato de cálcio (344 mg Ca total ou 107 mg de Ca disponível em cada 100 g de produto *in natura*). Isto confirma o comentário de Liu (1999b), a respeito da vantagem nutricional de se utilizar os sais de cálcio em lugar de GDL como agente coagulante para a produção de tofu.

Isoflavonas

As isoflavonas são um grupo de compostos fenólicos que ocorrem nos grãos de soja, em 12 diferentes formas: três agliconas (daidzeína, genisteína e gliciteína), três formas glicosídicas (daidzina, genistina e glicitina) e as seis respectivas formas conjugadas acetil- ou malonil-glicosídicas, que podem ser visualizadas na Figura 1 (LIU, 1999b). A distribuição entre estas formas varia em cada produto de soja, dependendo da cultivar que lhe deu origem e das condições de processamento, durante o qual pode ocorrer uma interconversão entre as diferentes formas de isoflavonas. Na matéria-prima (grãos), predominam os malonil- β -glicosídeos, os

quais são instáveis e podem ser degradados a acetil- β -glicosídeos por calor seco (tostagem ou extrusão), ou diretamente a β -glicosídeos e agliconas, pela ação de calor e enzimas (β -glicosidases), respectivamente (Coward et al., 1998), Barbosa et al., 2006).

As formas agliconas são mais rapidamente assimiláveis pelo organismo que as glicosídicas, que requerem uma hidrólise inicial do açúcar pelas enzimas β -glicosidases intestinais antes de serem absorvidas e passarem à circulação sanguínea (HARON et al., 2009). A estes compostos têm sido atribuídos vários benefícios à saúde, especialmente às agliconas, cujas propriedades antioxidantes podem proteger as células dos radicais livres que causam o envelhecimento e resultam em várias doenças crônicas e degenerativas; além disso, apresentam efeitos sobre a proliferação, crescimento e maturação de células e, como fitoestrógenos, podem exercer papel agonista ou antagonista ao estrogênio humano, possibilitando uma possível atuação sobre sintomas da menopausa, osteoporose e tipos de câncer dependentes de hormônios (JACKSON et al., 2002; BROUNS, 2002). Porém, embora estudadas há quase 20 anos, quando chamaram a atenção sobre a soja como alimento funcional, a comprovação dos efeitos das isoflavonas e a elucidação de seus mecanismos de atuação ainda demandam mais pesquisas (MESSINA et al., 2009).



Glicosídeos	R ₁	R ₂	R ₃
Daidzina	H	H	H
Genistina	OH	H	H
Glicitina	H	OCH ₃	H
6"-O-Acetildaidzina	H	H	COCH ₃
6"-O-Acetilgenistina	OH	H	COCH ₃
6"-O-Acetilglicitina	H	OCH ₃	COCH ₃
6"-O-Malonildaidzina	H	H	COCH ₂ COOH
6"-O-Malonilgenistina	OH	H	COCH ₂ COOH
6"-O-Malonilglicitina	H	OCH ₃	COCH ₂ COOH

Agliconas	R ₁	R ₂
Daidzeína	H	H
Genisteína	OH	H
Gliciteína	H	OCH ₃

Figura 1. Estrutura das 12 formas químicas de isoflavonas encontradas na soja (JACKSON et al., 2002).

Em discussão sobre as isoflavonas e o sabor da soja e de seus derivados, Da Silva (2009) comenta que vários pesquisadores verificaram relação entre as agliconas e o desenvolvimento de gosto amargo mais intenso. Porém Carrão-Panizzi et al. (1999b) mencionam estudos em que as isoflavonas são mais relacionadas à sensação de adstringência que ao sabor amargo (que poderia ser primordialmente atribuído às saponinas), além do fato de que o *beany flavor*, quando presente, reduz a percepção de quaisquer outros sabores.

O conteúdo de isoflavonas na soja depende não apenas da genética mas também do ano e local de cultivo, sendo o efeito do ano maior que o do local (WANG; MURPHY, 1994b). Carrão-Panizzi et al. (1998 e 1999b) analisando cultivares brasileiras de soja, confirmaram que o teor das isoflavonas é influenciado por fatores ambientais, além da genética.

Encontra-se na literatura uma alta variabilidade no teor de isoflavonas, devido a matérias-primas e metodologias de determinação diferente; também a forma de expressar os resultados (em termos das isoflavonas totais ou em equivalentes de agliconas) pode diferir de um autor a outro, dificultando a comparação entre os valores. KAO et al. (2004) reportaram, para uma cultivar de soja chinesa, um total de isoflavonas de 681 mg/100 g matéria seca e JACKSON et al. (2002), obtiveram 133 mg em uma cultivar canadense. CIABOTTI et al. (2006), DA SILVA et al. (2009) e BENEDETI (2010) analisaram grãos de cultivares brasileiras; os dois primeiros autores encontraram um total de isoflavonas ao redor de 200 mg/100 g de matéria seca, enquanto o último, quase 300 mg. Carrão-Panizzi et al. (2009c), analisando grãos de 233 cultivares brasileiras plantadas em um mesmo local, encontraram ampla variação no total de isoflavonas, desde 12 mg/100 g até 461 mg/100 g de matéria seca.

3.3.1.2 Agentes coagulantes

Entre os sais utilizados como agentes coagulantes, o sulfato de cálcio (CaSO_4) é o mais antigo, obtido na China pela moagem de uma pedra branca denominada *gypsum*. Entre os cloretos, se incluem o cloreto de cálcio (CaCl_2) e o *nigari*, que é uma mistura de sais (com predominância do cloreto de magnésio, MgCl_2) obtida a partir da água do mar, após extração de todo o cloreto de sódio (NaCl , sal de cozinha). Outros sais podem também ser usados, como o sulfato de magnésio (MgSO_4 , conhecido como sal amargo), acetatos e lactatos (LIU, 1999b).

O coagulante mais utilizado na produção de tofu é o sulfato de cálcio, podendo ser utilizado no preparo de vários tipos de tofu. Devido a sua habilidade de incorporar água ao tofu, o uso deste coagulante resulta em rendimento superior ao obtido pelo uso de *nigari*, porém com menor consistência. A suspensão aquosa deve ser preparada logo antes de ser adicionada ao extrato, pois sua eficiência como coagulante diminui com o passar do tempo (LIU, 1999b). A baixa solubilidade do sulfato de cálcio em água pode dificultar sua homogeneização e prejudicar a uniformidade do produto, exigindo condições de processamento adequadas (LU, 1980; KAO, 2003).

O uso de *nigari* propicia a obtenção de sabor e aroma adocicados, bastante apreciados. O processo de coagulação ocorre de forma rápida e, por isso, é recomendado que se adicione o coagulante de forma lenta, em várias vezes. Não se recomenda o uso deste coagulante no preparo de tofu tipo *silken*. Os tofus preparados no Japão são, em grande maioria, produzidos a partir de *nigari* em combinação com GDL ou sulfato de cálcio (LIU, 1999b).

GDL (glucona- δ -lactona) é o agente coagulante ácido mais comum; quando dissolvido em água, é lentamente hidrolisado a ácido glucônico. Este pó cristalino, fino, branco e sem aroma é um produto da oxidação da glicose (, obtido industrialmente a partir da fermentação do amido de milho), que foi primeiramente usado na produção de tofu nos anos 60, no Japão. Outros ácidos que podem ser usados são o láctico e outros de grau alimentício, bem como o vinagre e vários sucos cítricos, principalmente o de limão(LIU, 1999b).

Em escala comercial, o *silken* tofu é frequentemente produzido com GDL, devido à praticidade; o coagulante e o extrato de soja são misturados a frio e colocados em recipiente selado, o qual é aquecido (80-95°C) para que ocorra a coagulação protéica. Também é comum a utilização de uma mistura de GDL com sais de cálcio, pela vantagem nutricional da adição de cálcio (LIU, 1999b).

A textura e a microestrutura do coágulo de soja são grandemente influenciadas pelo tipo e quantidade do coagulante utilizado. A coagulação produzida por GDL e CaSO_4 resulta em uma estrutura mais fina e uniforme do que a obtida por outros sais (KAO, 2003). Os resultados destes autores mostraram que cloretos são mais rápidos na coagulação, mas os respectivos sulfatos, por serem mais lentos, resultaram em melhor rendimento (mais umidade e menos perda de soro) e maior retenção de isoflavonas na rede protéica (ligações cruzadas) formada (PRABHAKARAN, 2006).

A quantidade de coagulante requerida para precipitar as proteínas do extrato de soja está relacionada com a porcentagem de sólidos no extrato. Existe uma concentração ideal, em cada situação, acima da qual passa a prejudicar o rendimento do processo. Tanto Sun e Breene (1991) como Prabhakaran et al. (2006) atribuíram este fato a um aumento na sinérese e perda de soro do coágulo, uma vez que a maior concentração de íons cálcio intensifica as interações proteína-proteína pela formação de maior quantidade de pontes salinas, tornando a matriz mais densa e compacta; nestes trabalhos, esta hipótese foi corroborada pelo aumento na dureza dos tofus produzidos. Com o aumento na quantidade de coagulante de 0,4 para 0,5% (p/v), Prabhakaran et al. (2006) obtiveram diminuição no rendimento de 3,6 g/100 g (cerca de 3%) e aumento de 0,4 N na dureza (8,9%).

Observações ao microscópio eletrônico de varredura mostraram que tofu feito com 0,4% de CaSO_4 apresentou a microestrutura mais uniforme e contínua, podendo reter mais eficientemente as proteínas da soja e a água no gel, o que aumenta o rendimento (KAO, 2003). Prabhakaran et al. (2006) também relataram que CaSO_4 , na concentração de 0,4%, produz um tofu firme, mas não duro, com rendimento mais elevado e maior retenção de isoflavonas.

3.3.2 Método de obtenção de tofu

Os métodos tradicionais usados na produção de extrato de soja e de tofu são dois: os chineses costumavam triturar os grãos previamente macerados e lavados, com filtração da massa para separação entre o extrato e o resíduo (*okara*) de soja, seguida do aquecimento do extrato; os japoneses modificaram este método, realizando a trituração dos grãos, seguida do cozimento da massa obtida e posterior filtração. A modificação foi introduzida com o objetivo de melhorar a extração das proteínas, porém dificulta a filtração e aumenta ligeiramente o gasto de energia (LIU, 1999b). Sabe-se que o rendimento em proteínas, óleo e sacarídeos é pouco afetado pela temperatura, porém a quantidade de glicosídeos no extrato aumenta no segundo método, enquanto o conteúdo de n-hexanal diminui, pois a atividade de lipoxigenases é menos intensa; isto traz a vantagem de diminuir o *beany flavor* do extrato e do tofu, propiciando um sabor mais suave e mais agradável ao paladar ocidental (LIM, 1990; TODA, 2007).

Há outras variáveis importantes a serem definidas no processamento de tofu. Na maceração, a proporção entre grãos de soja e água, tempo e temperatura de maceração; na desintegração dos grãos, a quantidade e temperatura da água, velocidade e tempo de trituração; na extração das proteínas solúveis, se a filtração será realizada antes ou depois do tratamento térmico e qual a combinação de tempo e temperatura de aquecimento; na coagulação, tipo e quantidade de coagulante, modo de homogeneização da mistura, tempo e temperatura de coagulação; na dessoragem (quando há), a realização ou não de corte do coágulo e as condições de prensagem (tempo e pressão) (CAI et al., 1997).

As condições utilizadas por diferentes pesquisadores para obtenção de tofu tipo *momen* estão resumidas no Quadro 2.

Nesta gama de estudos, publicados de 1980 a 2007, pode ser observada uma grande variabilidade em termos de condições de processo. O tempo de maceração variou desde 5 h a 16 h; a proporção entre água e grãos de soja usada na trituração foi de 2,5 a 10 partes de água, para cada parte de grão (p/p), tendo sido utilizada tanto água à temperatura ambiente como em ebulição; a separação entre extrato e *okara* foi realizada de diferentes maneiras, desde a simples filtração em tecido de nylon fino (com uso de vácuo ou não, seguida de torção manual ou não) até a utilização de equipamentos especiais (extratores, centrífuga). O tratamento térmico do extrato de soja foi realizado em variadas combinações de tempo e temperatura; geralmente em temperatura próxima ou igual à de ebulição, por tempos variados, desde um minuto (em processo com aplicação de vapor direto) até 25 min. Os estudos selecionados foram aqueles que utilizaram sulfato de cálcio, com exceção do trabalho de Ciabotti et al. (2006), único que empregou GDL associado à dessoragem do tofu. As concentrações utilizadas foram expressas em p/p (peso de coagulante/peso inicial de grãos, variando de 2 a 2,5%) ou p/v (peso de coagulante/volume de extrato, o qual variou de 0,2 a 0,9%); o tempo de coagulação foi de 10 a 20 min e a temperatura empregada foi de 70 a 87°C (única exceção foi Lim et al., 1990, que usou 20°C). Dois autores utilizaram o corte do coágulo antes da dessoragem. Os tempos de dessoragem variaram de 10 min a 3 h, período no qual os tofus foram prensados; esta prensagem foi expressa por alguns autores em termos da força aplicada sobre o produto (0,2 a 0,9N) e, por outros, em termos da pressão exercida (quociente força/área), de 1 a 294 kPa.

Autor(es)	Ano	Condições maceração	Proporção água/grão	Separação extrato/okara	Condições tratamento térmico	Coagulante	Condições coagulação	Condições dessora
Lu et al.	1980	T _{amb} , 12h	2,5:1 (água a T _{amb})	filtração em nylon fino	20 min a 95-100°C	CaSO ₄ 0,3% (p/v)	70°C	2 - 3 h / 0,2 N
Lim et al.	1990	T _{amb} , 16h	6:1 (água a T _{amb} na 1 ^a etapa e água em ebulição na 2 ^a etapa)	extrator de suco, filtração em nylon fino	ebulição	CaSO ₄ 0,9% (p/v)	20°C, 15 min	15 min / 1,54kPa
Sun et al.	1991	T _{amb} , 12h	10:1	filtração em nylon fino	ebulição, 15 min	CaSO ₄ 2,5% (p/p)	70°C, 10 min (banho)	2 h / 0,98 kPa
Cai et al.	1997	T _{amb} , 9h	4,5:1 (água a T _{amb})	filtração em nylon fino, com torção manual	até ebulição com agitação cte + 5 min a 94-96°C	CaSO ₄ 2% (p/p)	87°C, 8 min	10 min / 2,14 kPa 10 min / 4,27 kPa 15 min / 6,41 kPa
Hou et al.	1997	T _{amb} , 8h	5:1 (água a T _{amb})	moedor com extrator	20 min a 95°C (placa elétrica c/ agitação) + 5 min a 95°C	CaSO ₄ 0,3% (p/v)	82°C p/ adição coagulante + 10 min a 75-80°C	10 min / 2,14 kPa 10 min / 4,27 kPa 15 min / 6,41 kPa
Cai et al.	1998	T _{amb} , 9h	6:1 (água a T _{amb})	sistema automatizado	1 min a 98°C (vapor direto)	CaSO ₄ 0,3 a 0,4% (p/v)	87°C, 10 min	10 min / 98 kPa 10 min / 196 kPa 15 min / 294 kPa
Kao et al.	2003	T _{amb} , 9h	10:1 (água a T _{amb})	moedor com extrator	5 min a 98°C	CaSO ₄ 0,4% (p/v)	73°C, 20 min	10 min / 2,14 kPa 10 min / 4,27 kPa 15 min / 6,41 kPa
Ciabotti	2004	T _{amb} , 12h	10:1 (água a T _{amb})	filtração em nylon fino, com torção manual	5 min a 95-98°C	GDL 2% (p/p)	75-80°C, 10 min	1,5 h / 0,9 N (corta coágulo)
Min et al.	2005	T _{amb} , 16h	10:1 (água em ebulição)	filtração em nylon fino	ebulição, 10 min	Ca SO ₄ 0,2% (p/v)	75°C, 10 min	2 h / 1,32 kPa
Prabhakaran et al.	2006	T _{amb} , 5h	4:1 (água a T _{amb})	separador centrífugo	ebulição, > 15 min	CaSO ₄ 0,4 e 0,5% (p/v)	80°C, 20 min	1 h / 2,74 kPa (corta coágulo, drena 10 min)
Rosset	2007	T _{amb} , 16h	8:1 (água em ebulição)	filtração à vácuo	ebulição, 10 min	CaSO ₄ 2,4% (p/p)	75°C, 10 min	2 h / 0,7 N

Quadro 2. Condições para processamento do *momen* tofu, empregadas em diferentes estudos

3.3.2.1 Mecanismo de formação do gel protéico

Na produção do tofu, a coagulação é a etapa mais importante e mais difícil de ser controlada (HOU, 1997). Muitas variáveis afetam a coagulação do extrato de soja. As diferentes cultivares de soja podem requerer diferentes condições de coagulação, para maximizar o rendimento e a qualidade do tofu. Para a produção de tofu em larga escala, as variáveis de coagulação podem ser modificadas para ajustar/compensar as diferenças físico-químicas entre as cultivares de soja (CAI et al., 1998).

Em primeiro lugar, é necessário entender o mecanismo de formação do gel protéico que constitui o tofu. Sabe-se que a formação deste gel envolve um processo de 2 etapas, o qual está representado na Figura 2 (KOHYAMA et al., 1995). Primeiramente, ocorre a desnaturação da proteína pelo calor, fazendo resíduos hidrofóbicos das proteínas, que estavam voltados para o interior da molécula, voltarem-se para fora; segue-se a coagulação hidrofóbica promovida por um coagulante (NOH, 1995).

A etapa de aquecimento do extrato de soja durante o processamento do tofu é realizada para redução da flora microbiana, inativação de compostos anti-nutricionais e desnaturação protéica. Para a formação de gel protéico, a desnaturação é o fenômeno mais importante e imprescindível. O aquecimento provoca o desdobramento da estrutura nativa globular das proteínas da soja, com conseqüente exposição de grupos funcionais (-SH, S-S e cadeias laterais de aminoácidos hidrofóbicos) anteriormente voltados para o interior da molécula. A adição de um agente coagulante possibilita interações entre as cadeias protéicas, formando uma matriz com estrutura de rede tridimensional, responsável pelas características de textura do tofu. Um tratamento térmico insuficiente não proporciona as condições mínimas para formação do gel, e um tratamento muito enérgico, que cause desnaturação excessiva da proteína, também não é benéfico à formação de uma estrutura tridimensional, propiciando a formação de um precipitado insolúvel, devido à grande ocorrência de interações entre as cadeias protéicas desenroladas, em detrimento das ligações proteína-água. Do equilíbrio entre as interações proteína-proteína e proteína-água, depende a formação da rede tridimensional que constitui o gel (DAMODARAN, 1997; FENNEMA, 1996; KOHYAMA et al., 1995; LIU et al., 2004; OAKENFULL et al., 1997).

A Figura 2 mostra como, na segunda etapa, os grupos SH (carregados negativamente) são neutralizados pelos prótons do GDL ou cátions do sulfato de cálcio; deste modo, as interações hidrofóbicas das moléculas protéicas neutralizadas tornam-se predominantes, conduzindo à coagulação. O gel é formado a partir da agregação destas moléculas e se torna denso quando ocorre próximo ao ponto isoelétrico, que é atingido com a queda do pH durante a adição do coagulante (KOHYAMA et al., 1995).

O tipo de gel formado por uma proteína é, principalmente, influenciado por sua composição em aminoácidos, embora condições do meio (pH, força iônica) também influenciem. Proteínas que contêm mais que 31,5% de resíduos de aminoácidos não polares por mol tendem a formar géis opacos e irreversíveis, do tipo coágulo, como é o caso das proteínas da soja; proteínas com conteúdo inferior a este, ou seja, mais ricas em resíduos polares, formam géis translúcidos (DAMODARAN, 1997; FENNEMA, 1996; OAKENFULL et al., 1997).

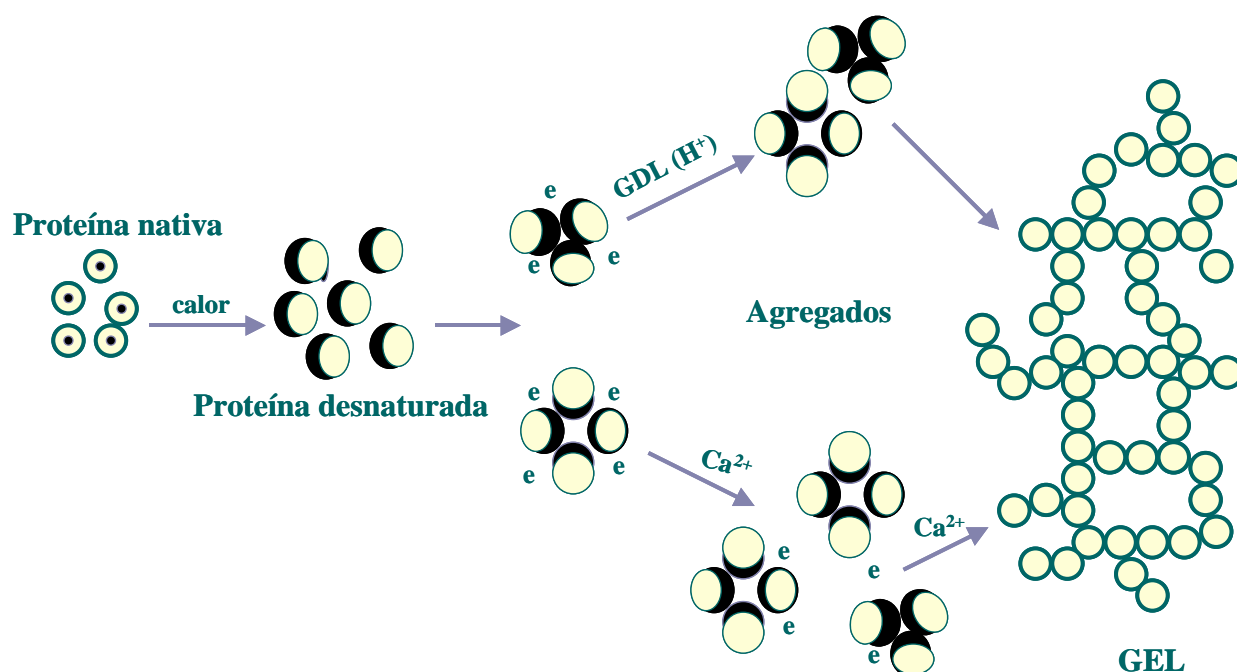


Figura 2. Mecanismo de formação de gel durante o processo de coagulação das proteínas de soja na presença de GDL ou CaSO₄. Círculos: moléculas de proteínas; áreas em preto: regiões hidrofóbicas (KOHYAMA et al., 1995)

3.3.2.2 Perdas no Processamento

Podem ocorrer perdas de componentes químicos no processamento, como é o caso das isoflavonas. Estas perdas podem se dar nas etapas de maceração dos grãos e de filtração da massa triturada, para separar extrato e *okara* (resíduo); quando se executa a dessoragem, compostos hidrossolúveis podem ser perdidos na fração líquida (soro) (TSAI et al., 1981). Kao et al. (2004) comprovaram que, após a maceração, a concentração das formas glicosídicas nos grãos de soja havia diminuído e a das formas agliconas aumentado, tanto mais quanto mais longo o processo e mais elevada a temperatura da água. Prabhakaran et al. (2006) também encontraram cerca de 10 mg isoflavonas/100 g no soro liberado. Jackson et al. (2002) quantificaram as isoflavonas nos materiais intermediários, em várias etapas do processamento do tofu, e observaram que, do total de isoflavonas existente nos grãos, 36% foram retidas no tofu, enquanto 4% foram perdidas na água de maceração, 31% na *okara* (durante a filtração) e 18% no soro (durante a prensagem). Por outro lado, a etapa de aquecimento do extrato de soja não acarreta perdas, apenas favorece a conversão das formas glicosídicas em agliconas.

O processamento afeta significativamente a retenção e a interconversão das formas químicas de isoflavonas. Liu (1999b) relata que Wang e Murphy (1996), monitorando as formas individualmente e as isoflavonas totais em produtos de soja, durante cada etapa do processamento do tofu, encontraram que a maior perda de isoflavonas ocorreu na etapa de coagulação, devido ao descarte do soro; a observação de que a separação de extrato e *okara* não causou perda significativa de isoflavonas, sugere que estas estão mais associadas com as proteínas solúveis, que com os carboidratos insolúveis. Jackson et al. (2002), por sua vez, encontraram maior perda de isoflavonas na *okara* (etapa de filtração) do que no soro (etapa de coagulação/dessoragem); atribuíram esta contradição com o estudo anterior às diferenças na preparação do tofu, como o tipo de coagulante utilizado.

A influência do coagulante sobre os teores de isoflavonas na produção de tofu foi comprovada por Kao et al. (2004), que trabalharam com sulfato e cloreto de cálcio, em três concentrações. Observaram que o sulfato de cálcio, em sua concentração mais baixa (0,3 g/100 g de extrato), resultou na menor perda de isoflavonas.

3.4. Avaliação das Características do Tofu

3.4.1 Composição química

O conteúdo de proteína dos tofus é relatado por vários autores (LIM et al., 1990; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; POYSA; WOODROW, 2002; POYSA et al., 2006; ROSSET, 2007; DA SILVA, 2009), com variações que vão desde 4,5 g proteína /100 g tofu (ROSSET, 2007) a 12,2 g /100 g (LIM et al., 1990), tendo sido encontrados valores intermediários por Lu et al. (1980), Cai et al. (1997), Cai et al. (1998) e Min et al. (2005).

Vários trabalhos relatam conteúdo de minerais em grãos de soja e tofu (TSAI et al., 1981; LIM et al., 1990; SUN; BREENE, 1991; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; ROSSET, 2007; DA SILVA et al., 2009). São encontrados, principalmente, dados de macronutrientes (Ca, Mg, P e K), expressos em base seca. No tofu, são encontrados valores nas seguintes faixas: Ca entre 1070 e 1870 mg/100 g; Mg, 150-490 mg/100 g; P, 590-1100 mg/100 g e 1810 mg/100 g para K. A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006) apresenta, para o tofu, teores de minerais inferiores aos mencionados.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabeleceu em suas Portarias nº 27 e 31 de 1998 (que regulamentam as características de qualidade de alimentos que utilizam a informação nutricional complementar e alimentos adicionados de nutrientes essenciais) que o alimento sólido que forneça no mínimo 15% da IDR de referência em 100 g de produto pronto para o consumo pode ser designado “fonte de...”, enquanto que os que fornecem mínimo de 30% da IDR, podem ser designados “rico” ou “alto teor” de determinado mineral (ou vitamina).

Titchenal e Dobbs (2007) classificaram alimentos segundo seu conteúdo de cálcio absorvível. Segundo o critério utilizado por estes autores, para que um alimento seja considerado “fonte” de cálcio, uma porção padrão deste alimento (ou uma porção contendo menos de 100 kcal) deve conter ao menos 30 mg de cálcio absorvível. Assim, tanto os grãos de soja cozidos, como o extrato de soja e os tofus do tipo *silken* não preenchem este critério; já os tofus do tipo *momen* obtidos com os coagulantes cloreto ou sulfato de cálcio, independentemente de sua textura (macia, regular ou firme), podem ser considerados “boas fontes” de cálcio.

Quanto ao conteúdo de isoflavonas em tofu, Prabhakaran et al. (2006) determinaram o total de isoflavonas em tofus elaborados com ácido acético e diversos sais coagulantes e encontraram valores variando entre 128 e 142 mg/100 g de matéria seca. Jackson et al. (2002), em tofu coagulado com GDL, encontraram 455 mg isoflavonas/100 g de matéria seca. Genovese e Lajolo (2002), analisando isoflavonas em alimentos de soja no Brasil, encontraram em tofu *silken* coagulado com CaSO_4 , um total de 7 mg/100 g de tofu in natura (87,8% de umidade) ou 57 mg/100 g de matéria seca, valores estes expressos em equivalentes de agliconas. Genovese e Lajolo (2002) relataram também que o perfil de isoflavonas no tofu *silken* se caracterizava pela predominância de β -glicosídeos (49%) e malonil-glicosídeos (38%), seguido pelas agliconas (10%).

3.4.2. Determinação instrumental de cor e textura

A cor do tofu pode variar desde branca até amarela pálida, por influência da cultivar de soja e das condições ambientais no cultivo e na estocagem dos grãos. Porém, o envelhecimento também exerce efeito sobre a cor do extrato de soja e do tofu, que tornam-se mais amarelos com o passar do tempo. Esta coloração, portanto, não é considerada atrativa nestes produtos, por sugerirem um possível estado envelhecido (CUI et al., 2004).

A determinação da textura é muito importante para a caracterização do tofu. A dureza é a característica de textura usada na classificação comercial do tofu e é uma medida frequentemente reportada nos trabalhos sobre a qualidade deste produto (LU, 1980; EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; ABD KARIM et al., 1999; POYSA; WOODROW, 2002; MUJOO et al., 2003; KAO et al., 2003; MIN et al., 2005; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; YUAN; CHANG, 2007). Já a fraturabilidade é um parâmetro raramente mencionado (EVANS et al., 1997) na literatura sobre tofu. Em vários trabalhos podem ser encontrados valores para o parâmetro mastigabilidade (ABD KARIM et al., 1999; KAO et al., 2003; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; ROSSET, 2007). Porém Yuan e Chang (2007), baseados em Szczesniak e Bourne (1995), chamaram a atenção para o fato de que a mastigabilidade é própria de alimentos sólidos e não de um produto semi-sólido como o tofu, geralmente melhor descrito pelo parâmetro gomosidade.

É difícil estabelecer comparação entre os resultados de textura encontrados na literatura citada, uma vez que, em cada estudo, são utilizadas amostras distintas de tofu e diferentes condições de análise, tanto em termos de método, como de equipamento, o que ocasiona uma grande variabilidade nos resultados. Uma análise de dureza realizada por Benassi et al. (2011) com tofus comerciais de diferentes tipos, mostrou que existem no mercado brasileiro produtos em uma faixa relativamente larga, variando desde 3 N até 7 N, faixa que pode ser considerada aceita pelos consumidores brasileiros.

3.4.3 Análise sensorial

As características sensoriais de um alimento são importantes para sua aceitação e podem ser avaliadas diretamente pelos sentidos humanos, bem como pela utilização de instrumentos que permitam medir, diferenciar e comparar alguns de seus atributos. Características de cor e textura de grãos de soja e de tofu podem ser medidas por instrumentos, de maneira objetiva. Porém, as características de sabor e aroma dependem dos sentidos humanos para serem detectadas, descritas e quantificadas.

Os testes sensoriais afetivos têm por objetivo obter a resposta pessoal (preferência ou aceitação) de consumidores ou potenciais consumidores sobre um determinado produto e os resultados obtidos são geralmente avaliados por análise de variância (ANOVA) univariada e teste de médias (MEILGAARD et al., 2007). Quando a média do grupo é assumida para o produto, não são consideradas as características individuais dos julgadores, mas sim que todos têm o mesmo comportamento (REIS et al, 2006). Isto pode encobrir a existência de categorias de consumidores com preferências opostas, quando as respostas de um grupo cancelam as de outro (OLIVEIRA et al., 2004).

Dentre as técnicas utilizadas em testes de consumidor, destaca-se o Mapa de Preferência, que utiliza técnicas de estatística multivariada para fazer uma representação das diferenças de aceitação entre produtos, permitindo a identificação de cada indivíduo e suas preferências (CALEGUER et al., 2006). A técnica foi desenvolvida para comparar preferências e relacioná-las com as características de qualidade do produto, auxiliando na segmentação do mercado em grupos definidos de consumidores. Esta ferramenta permite introduzir um produto no segmento

correto do mercado ou adequá-lo para atender a preferência de um determinado grupo consumidor (REIS et al, 2006). O Mapa de Preferência Interno, especificamente, é construído sobre dados de aceitação/preferência gerados a partir de testes afetivos, alocando os produtos em um mapa ou espaço vetorial (MEILGAARD et al., 2007).

Os testes sensoriais descritivos envolvem a detecção e a descrição qualitativa e/ou quantitativa de aspectos sensoriais de um produto, por uma equipe de julgadores treinados. Dentre as técnicas de Análise Sensorial Descritiva destaca-se a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), método que pode avaliar múltiplos produtos, utilizando um número limitado de julgadores (10 a 12), previamente selecionados e treinados. Envolve o desenvolvimento de uma terminologia descritiva para a completa descrição (quantitativa) das propriedades sensoriais de um produto (aparência, odor, sabor e textura), com repetição de provas e a utilização de testes estatísticos para avaliar os resultados finais (STONE; SIDEL, 2004). Os resultados da ADQ podem ser tratados por meio de análise de variância, teste de comparação de médias e Análise de Componentes Principais (ACP).

A ACP é uma técnica de transformação dos dados onde, a partir do conjunto inicial de variáveis se constrói um novo conjunto menos numeroso, que resume adequadamente a informação original. Por meio de combinações lineares das variáveis originais, o espaço das variáveis é reduzido a dois eixos, ortogonais entre si, para evitar redundância de informação. Essas combinações são chamadas de Componentes Principais (CP), sendo a CP1 (Primeira Componente Principal) é aquela que contém a maior quantidade de informações importantes, a CP2 (Segunda Componente Principal) a que contém a segunda maior quantidade de informações importantes e assim sucessivamente (FERREIRA, 2008). A técnica de ACP permite a análise global dos resultados, mostrando as relações existentes entre as amostras e evidenciando os atributos que melhor caracterizam cada amostra (MEILGAARD et al., 2007).

Com relação à análise sensorial de tofu, alguns autores mencionados a seguir publicaram resultados de testes sensoriais descritivos, utilizando painel treinado (5 a 20 julgadores) para avaliar amostras de tofu. Os atributos utilizados para avaliação foram definidos por cada painel e incluíram termos como: cor, odor, *beany flavor*, sabor, aroma, sensação bucal, firmeza, maciez, mastigabilidade e qualidade global.

Cai e Chang (1998) compararam as características de tofus produzidos a partir de duas cultivares (Proto e Vinton), cujo extrato foi coagulado com CaSO_4 (em dois níveis de concentração) e submetido a diferentes condições de homogeneização; os julgadores perceberam diferenças de cor entre as amostras (Vinton era mais amarelada) e também diferenças na textura, evidenciando que os requerimentos de uma cultivar em relação à velocidade e tempo de homogeneização de extrato e coagulante, não eram os mesmos que para a outra cultivar.

Kim et al. (2007) estudaram tofus elaborados com coagulante MgCl_2 , adicionado de diferentes níveis (0 a 0,2%) de CaCO_3 ; este composto, obtido de conchas, apresenta poder bactericida e foi usado visando aumentar a vida de prateleira do tofu. Os tofus obtidos com adição de 0,05 e 0,1% de CaCO_3 não apresentaram diferença daquele preparado apenas com MgCl_2 e sua vida de prateleira aumentou 2 dias.

Noh et al. (2005) avaliaram amostras de tofu coagulado com CaSO_4 , obtido a partir de extratos de soja elaborados com grãos de soja previamente congelados e não congelados, de modo a verificar o efeito do congelamento sobre o processo de coagulação. Os resultados indicaram que o congelamento dos grãos afetou positivamente o processamento e o produto final: intensificou a taxa de coagulação do extrato e os tofus apresentaram alguns atributos sensoriais melhorados, como a sensação bucal e o aroma.

Shin et al. (2010) avaliaram amostras de tofu tratadas com isotiocianatos extraídos de rábano silvestre, que foram estocadas sob refrigeração por até 10 dias; a efetividade da adição de 200 ppm de isotiocianato ficou comprovada tanto pelo controle do crescimento microbiano e menor diminuição do pH durante a estocagem como pelas características sensoriais (cor, sabor, aroma e mastigabilidade) dos produtos tratados, consideradas melhores que as do controle.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na Cozinha Experimental da Embrapa Soja e em laboratórios da Embrapa e dos departamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos e de Biotecnologia e Bioquímica da UEL, localizados em Londrina, Paraná, Brasil.

4.1 Material

4.1.1 Cultivares de soja

As cultivares de soja BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267 e BRSMG 790A, desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da Embrapa Soja, Londrina/PR, foram produzidas em Londrina e Ponta Grossa, com exceção da BRS MG 790A, proveniente do Triângulo Mineiro. Foram obtidas na safra 2007/2008 e mantidas em câmara fria (10°C e 68% UR) até o momento de utilização.

O critério de escolha das cultivares de soja para o experimento visou proporcionar uma gama de amostras com características diversificadas. As principais características, previamente conhecidas (CULTIVARES, 2005; CULTIVARES, 2008; Carrão-Panizzi et al., 2009a; Carrão-Panizzi et al., 2009b), que justificaram a escolha de cada cultivar foram:

- BRS 155 - teor reduzido (1/3 do normal) de inibidor de tripsina;
- BRS 216 - grãos pequenos, alto teor de proteínas e de isoflavonas;
- BRS 232 - grãos grandes;
- BRS 257 - ausência de enzimas lipoxigenases (L₁, L₂ e L₃);
- BRS 258 - descendente da cultivar BR36, bastante usada na alimentação humana;
- BRS 262 - hilo preto e alto teor de isoflavonas;
- BRS 267 - grãos de tamanho acima da média e sabor considerado suave;
- BRS MG 790A - casca alaranjada e sabor considerado bom;

4.1.2 Tofus experimentais

Os tofus foram produzidos a partir das cultivares de soja citadas, segundo procedimento descrito no item 4.2.1.

4.1.3 Amostras comerciais de tofu

As amostras de tofu adquiridas no comércio local foram designados de acordo com as informações do rótulo: amostra 1 = tofu extra soft (tipo *silken*, coagulado com sulfato de cálcio), amostra 2 = tofu soft (tipo *momen*, produzido com GDL), amostra 3 = tofu artesanal 1 (macio) e amostra 4 = tofu artesanal 2 (firme), as duas últimas produzidas com sulfato de magnésio (sal amargo).

4.1.4 Agente coagulante

Para produção de tofu, foi utilizado o sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), da marca Wako, Japão.

4.1.5 Reagentes químicos

Foram utilizados reagentes em grau de pureza adequado a cada análise realizada.

4.2 Métodos

4.2.1 Produção dos tofus experimentais

4.2.1.1 Delineamento experimental para definição das condições de processamento

As condições de processamento foram estabelecidas a partir dos dados da literatura. Algumas variáveis foram fixadas *a priori*, enquanto para outras foi necessária uma investigação experimental adicional, devido à grande variação nos métodos empregados pelos diferentes autores.

As variáveis independentes (ou fatores) selecionadas foram: o tratamento térmico do extrato de soja, a concentração do agente coagulante, o tempo de coagulação, o corte (ou não) do coágulo e o tempo de dessoragem. Cada um dos fatores foi testado em dois diferentes níveis, codificados como +1 (máximo) e -1 (mínimo). As variáveis dependentes (ou respostas) cuja avaliação foi considerada importante para o presente experimento foram: dureza, rendimento, teor de sólidos totais e de proteínas do tofu.

O delineamento experimental escolhido foi o fatorial. Para cinco variáveis independentes, o modelo obtido para cada variável dependente foi um polinômio do tipo: $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5$ (Y é a variável resposta; x_1 a x_5 são as variáveis independentes e x_1x_2 a x_4x_5 são as interações entre os fatores, dois a dois; o coeficiente b_0 (termo independente) é o valor médio obtido nos experimentos para a resposta Y e os demais coeficientes b_n são uma medida da influência de cada fator sobre a resposta).

Um planejamento com cinco fatores testados em dois níveis representaria um total de 2^5 , ou seja, 32 experimentos. Optou-se pela realização de um fatorial fracionário 2^{5-1} , com 16 tratamentos, uma vez que este planejamento incompleto proporcionava resolução de nível V, ou seja, permitia analisar com segurança os efeitos primários das variáveis e os de segunda ordem (ou interações binárias). O delineamento experimental utilizado está no Quadro 1 do Anexo I.

A partir das respostas obtidas para os tofus experimentais (Quadro 2, do Anexo I), foram obtidos modelos polinomiais ($R^2 \geq 0,99$) por meio do módulo “Experimental Design” do software Statistica 5.0 (Statsoft, 1995), o qual calculou os efeitos das variáveis independentes e os respectivos níveis de significância (p), conforme o Quadro 3 (Anexo I).

A interpretação da importância relativa desses efeitos, conjuntamente com as faixas de valores desejadas para cada resposta, possibilitou a escolha das condições de processamento mais adequadas. Dentre as respostas estudadas, a textura instrumental foi considerada prioritária, por ser a única relacionada com a aceitação sensorial do produto. Não existe um valor ideal de dureza, por isso a dureza dos produtos comerciais serviu como balizamento para os produtos experimentais, sendo considerados aceitáveis valores intermediários aos apresentados pelos tofus comerciais e, de preferência, acima da média de dureza obtida nos experimentos. O rendimento em tofu, sendo um parâmetro de interesse para o fabricante (tanto do ponto de vista tecnológico como econômico), é desejável que seja o mais alto possível, desde que não comprometa outras características de qualidade do produto. A possibilidade de perda de componentes sólidos durante o processamento torna importante considerar a retenção de sólidos (principalmente proteínas) no tofu; deseja-se que os teores de sólidos e de proteínas sejam os mais altos possíveis, pois impactam o rendimento e o valor nutricional do produto.

Os quatro modelos polinomiais gerados, que descreviam cada uma das respostas, foram utilizados em uma simulação, na qual os valores da variável x foram substituídos por +1 ou -1, em todas as combinações possíveis ($2^5=32$), colocando-se em ordem crescente os resultados obtidos. Foram escolhidos os tratamentos (A, B, C e D, no Quadro 4 do Anexo I) que melhor atendiam, conjuntamente, aos requisitos estabelecidos para a dureza dos produtos, seu rendimento e seus teores de sólidos e proteínas, nesta ordem de prioridade.

O tratamento A foi escolhido como o melhor pois resultaria (teoricamente) em valores quase 20% superiores aos valores médios obtidos nos experimentos, tanto para rendimento como para sólidos totais e teor de proteínas; para a dureza, o valor seria aproximadamente 10% acima da média, estando dentro da faixa aceita pelo consumidor, conforme valores obtidos pelos produtos comerciais (Quadro 2 do Anexo I).

Os resultados da simulação matemática foram validados por duas repetições do tratamento A com a cultivar BRS 267, onde os resultados reais (Quadro 4 do Anexo I) foram inferiores aos valores calculados; a diferença foi considerada aceitável, uma vez que o planejamento fatorial não foi usado com o objetivo de otimizar o processo, mas sim de escolher e definir, dentre as condições disponíveis, aquelas mais adequadas para o processamento do tofu.

Desta forma, as condições consideradas mais adequadas para o processamento de tofu em escala de laboratório foram: tratamento térmico longo (após a ebulição, aquecer por mais 10 min, em banho-maria), 3 g de coagulante sulfato de cálcio diidratado, 10 min de coagulação, corte do coágulo e 30 min de dessora. O processamento adotado para todas as cultivares, em todos os passos subseqüentes do experimento, está descrito em todos os seus detalhes no item 4.2.1.2.

4.2.1.2 Protocolo do procedimento para obtenção de tofu

Grãos de soja (150g) foram macerados à temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$) por 16 horas em 500 mL de água destilada. Os grãos foram drenados e pesados, determinando-se a quantidade de água absorvida.

Água destilada aquecida à 90°C foi adicionada aos grãos macerados; considerando-se a água previamente absorvida pelos grãos, a quantidade de água quente adicionada foi suficiente para completar 1200 mL, alcançando a proporção final de 1:8 (grãos:água). A trituração a quente (90°C) foi realizada em liquidificador

doméstico, durante 3 min em velocidade média-alta (velocidade 3, numa escala de 1 a 4; liquidificador marca Arno, modelo Performa Magiclean, Brasil).

O extrato de soja foi separado do resíduo (*okara*) por filtração à vácuo, por 10 min, em frasco de kitasato de 2L e funil de Büchner (diâmetro interno 15 cm) forrado com tecido fino de náilon (“tunil”). Uma alíquota de 760 mL do extrato foi tratada termicamente, em panela tampada e aquecida diretamente na chama do fogão a gás (marca Dako semi-industrial, modelo Couraçado, Brasil). Após atingir a fervura, a panela foi colocada em banho-maria em ebulição por mais 10 min. O extrato aquecido foi transferido para um béquer plástico de 4L e deixado esfriar até atingir aproximadamente 75°C, temperatura apropriada para a coagulação. Preparou-se uma solução do agente coagulante, dissolvendo-se CaSO₄ diidratado em 40 mL de água destilada a 50°C. O extrato de soja e a solução de coagulante foram homogeneizados (manualmente, com auxílio de um bastão de vidro) em um béquer de vidro de 2L e deixados em descanso por 10min.

O corte do coágulo foi feito por um cortador doméstico em formato de lira, realizando-se dois movimentos lentos e perpendiculares, indo de um lado a outro do béquer. Para enformagem, foram utilizados recipientes plásticos perfurados, com volume aproximado de 500 mL e formato trapezoidal, cuja área superior era de aproximadamente 85 cm². As formas foram forradas com “tunil”, preso à borda externa por elástico.

O coágulo foi colocado dentro da forma e coberto com uma tampa plástica perfurada, apoiando-se sobre a mesma uma outra forma (não perfurada, mas de igual formato) contendo um peso de 1Kg. Esta força de 9,8 N foi aplicada igualmente sobre toda a superfície do produto, produzindo uma pressão de 1,15 kPa, a qual foi mantida por 30 min para dessoragem do coágulo. O tofu foi colocado por 30min em geladeira e depois cuidadosamente retirado da forma, imergindo-o em um recipiente com água para conservação em geladeira.

O fluxograma (Figura 1 do Anexo I) permite melhor visualização de cada etapa e do processo como um todo.

4.2.1.3 Parâmetros avaliados no processamento

O processamento dos grãos de soja para obtenção do tofu foi realizado em três repetições, com pesagem da massa inicial de grãos, massa de grãos macerados e

massa de tofu obtido), para determinação da absorção de água na maceração e do rendimento em tofu para cada uma das cultivares de soja.

A capacidade de absorção de água pelos grãos foi determinada pela diferença entre a massa de grãos macerados e a massa inicial de grãos, sendo expressa em g de água absorvida/100 g grãos.

O rendimento em tofu foi determinado pela relação entre a massa do tofu e a massa inicial de grãos, sendo expresso em g tofu/100 g grãos. Considerando-se que foi utilizado um volume fixo de extrato de soja (760 mL), a equação a seguir realiza esta correção, expressando a relação entre o tofu e a massa inicial de grãos correspondente ao volume parcial de extrato utilizado:

$$\text{Rendimento} = (m_{\text{tofu}} / m_{\text{grãos}}) \times (m_{\text{extrato}} / 760) \times 100$$

4.2.2 Análises físico-químicas dos grãos de soja e tofus

Os grãos das diferentes cultivares de soja foram triturados em moinho com sistema de refrigeração (Tecnal, modelo TE 631/2, Brasil). As amostras de tofu foram liofilizadas para realização de todas as determinações, com exceção da umidade.

As amostras moídas foram acondicionadas em copos plásticos descartáveis com tampa e mantidas à temperatura ambiente, até serem usadas nas determinações descritas a seguir.

4.2.2.1 Composição centesimal dos grãos e tofus

Os conteúdos de umidade, proteínas, lipídios e cinzas foram determinados nas amostras de grãos de soja e de tofu por métodos padrão (AOAC, 1995), com três repetições. O teor de nitrogênio foi determinado por Kjeldahl, usando um equipamento automático (FOSS, Tecator 2400, Dinamarca) para destilação e titulação; o fator 6,25 foi empregado para cálculo do teor de proteína. O conteúdo de carboidratos foi calculado por diferença. Os resultados foram expressos em base seca, com exceção do teor de umidade.

4.2.2.2 Determinação de minerais dos grãos de soja e tofus

Amostras de grãos moídos e de tofu liofilizado foram incineradas em mufla (EDG Equipments, modelo FI-1s) a 550°C por 3h. Os teores de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn)

foram determinados por espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado - ICP-OES (Perkin Elmer, modelo Optima 3300 DV, USA), com três repetições. Os resultados foram expressos em base seca.

4.2.2.3 Determinação de isoflavonas dos grãos de soja e tofus

O perfil e o teor de isoflavonas foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), utilizando equipamento da marca Waters (EUA), com bomba modelo W600, injetor W717 e detector PDA modelo W996. A extração das amostras e a metodologia de análise foram baseadas em Berhow (2002) Carrão-Panizzi et al. (2002).

Amostras de 100 mg de material moído (grãos e tofu), previamente desengorduradas com n-hexano, foram colocadas em tubos para extração das isoflavonas; foram adicionados 4 mL etanol 70% acidificado (ácido acético) e realizada agitação em vórtex a cada 15 min, durante 1h, seguindo-se ultrassonificação por 30 min. Foram transferidos 1,5 mL do sobrenadante para eppendorfs e centrifugados a 21.000 g por 15 min a 4°C. As alíquotas foram filtradas em membrana de 0,45 µm e transferidas para os tubos de injeção do equipamento. Foram injetados 20 µL de cada amostra, sob fluxo de arraste de 1,0 mL/min. A fase móvel foi constituída por um gradiente de metanol e água acidificados (ácido trifluoroacético), que variou linearmente desde a proporção 20:80 até 90:10 (metanol/água) em 35 min. Foi utilizada coluna C18 (YMC, EUA) de 250mmx4,6mmx5µm.

Para identificação dos picos, foram determinados os tempos de retenção de padrões (Sigma) das 12 formas químicas de isoflavonas, solubilizados em metanol (grau HPLC). O limite de detecção (LD=0,5 ppm) e o limite de quantificação (LQ=1,5 ppm) do equipamento foram determinados com os padrões de daidzeína e genisteína. A quantificação das 12 formas se deu por padronização externa (área dos picos), utilizando como referência as curvas padrão construídas para cada forma química. Os teores de isoflavonas foram determinados em três repetições e expressos em mg/100 g de amostra em base seca.

4.2.2.4 Extração, separação e quantificação de frações protéicas dos grãos de soja

A extração das proteínas dos grãos das cultivares de soja foi realizada em amostras finamente trituradas em moinho com sistema de refrigeração (Tecnal, modelo TE

631/2, Brasil) e passadas por peneira de 0,25 mm (*mesh* 60). Adicionaram-se a 1 g de amostra 15 mL de tampão Tris-HCl 0,2M (pH 8) com β -mercaptoetanol (β ME, 0,1M), agitando por 1 hora a temperatura ambiente. Seguiu-se centrifugação a 10.000 g, 5°C, por 10 min (centrífuga Eppendorf, modelo 5417R, Alemanha). O conteúdo de proteínas do sobrenadante foi quantificado pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976); a curva padrão foi construída com diferentes concentrações (50 a 250 μ g/ mL) de soroalbumina bovina e a a leitura das amostras foi realizada em triplicata e em espectrofotômetro a 595 nm.

Alíquotas de extrato protéico (sobrenadante) das cultivares de soja, contendo 25 μ g de proteína, foram tratadas termicamente (10 min em banho-maria à ebulição), com adição de sódio dodecil sulfato (SDS) e β ME para dissociação das proteínas e seus polipeptídeos. Estas alíquotas foram analisadas por eletroforese dissociante em SDS-PAGE, com gradiente de 8 a 16% de concentração de acrilamida em mini-gel (120x80x0,7 mm), seguindo-se metodologia utilizada por Carrão-Panizzi et al. (2008). As frações protéicas foram separadas usando voltagem de 100V, com incrementos de 50V a cada 30 min até completar 2h.

A revelação das bandas protéicas foi feita com solução de corante Coomassie Blue R-250 em metanol e água. Os pesos moleculares das frações foram estimados por comparação com um *pool* de marcadores com pesos moleculares entre 6 e 180 KDa (Bench Mark™ Pre-stained Protein Ladder, Invitrogen).

As frações protéicas de interesse para este estudo são as lipoxigenases, a glicinina (11S) e a β -conglucina (7S), cuja quantificação foi feita por meio do software BioNumerics (Applied Mathematics, Bélgica, v. 1.50), usando como *input* uma imagem do gel revelado; a densidade ótica das bandas foi medida e relacionada com as quantidades conhecidas de uma curva padrão de proteína construída com cinco diferentes concentrações (entre 5 e 15 μ g) de inibidor de tripsina (Sigma).

4.2.2.5 Tamanho dos grãos de soja

O tamanho dos grãos de soja foi expresso em termos de massa e de dimensões.

Para o peso de 100 grãos, amostras de 100 grãos foram constituídas por duas porções de 50 grãos, escolhidos com o auxílio de uma placa de madeira contendo cavidades em formato de meia esfera, onde os grãos de soja de quaisquer tamanhos podem se encaixar. As amostras, com nove repetições para cada cultivar, foram pesadas em balança semi-analítica (Bel Engineering, Mark 2200, Brasil). Os

resultados foram expressos em g/100 grãos. Os grãos foram classificados de acordo com o seguinte critério: grandes ≥ 20 g, pequenos ≤ 10 g e intermediários entre 10 e 20 g/100 grãos (YOKOMIZO et al., 2009).

Considerando-se que o grão de soja tem o formato aproximado de uma esfera, o diâmetro (d) dos grãos foi medido com auxílio de um paquímetro digital (Mitutoyo, modelo CD-S6"C, Japão), ajustado na região mediana do grão, no eixo transversal que passa pelo hilo. Foram realizadas 20 repetições para cada cultivar de soja. Com o valor do raio (r) da esfera ($r = d/2$, em mm), foram calculados o volume aproximado dos grãos ($V = 4/3 \pi r^3$, em mm^3) e sua área superficial ($A = 4\pi r^2$, em mm^2), para cada cultivar.

4.2.2.6 Determinação da quantidade de cascas dos grãos de soja

Amostras de grãos de soja foram desidratadas em liofilizador (Liobrás, Liotop L101, Brasil), para permitir a retirada das cascas. Cada alíquota foi pesada em balança analítica (Mettler Toledo, modelo AT-201, Suíça) e embalada em filme plástico (aproximadamente 3 cm x 3 cm), perfurado com auxílio de uma agulha. As amostras das oito cultivares foram acondicionadas em prato de inox posicionado na bandeja central do liofilizador e submetidas a 24 h de desidratação ($T = -55^\circ\text{C}$, pressão de 60-80 μHg). As amostras foram retiradas do liofilizador e colocadas em um dessecador. Cada uma das amostras foi retirada do invólucro plástico, o peso de seus grãos registrado e, com auxílio de luvas e pinça, os grãos foram descascados um a um, pesando-se posteriormente as cascas. A quantidade de cascas foi expressa em g casca/100 g grãos. Foram realizadas nove repetições do processo.

Uma relação entre massa e área superficial das cascas dos grãos de soja das cultivares, expressa em mg/cm^2 , foi calculada pela fórmula seguinte:

$$\text{Relação massa/área} = \frac{10 \times \text{Conteúdo cascas} \times \text{Peso 100 grãos}}{\text{Área superficial}}$$

4.2.3 Análise Instrumental

4.2.3.1 Perfil de Textura Instrumental (TPA) dos tofus

O perfil de textura das amostras de tofu foi determinado em texturômetro (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Inglaterra), utilizando sensor cilíndrico de alumínio de 35 mm de diâmetro (P35), para comprimir amostras cilíndricas de tofu (3 cm diâmetro x 2,2

cm altura) até 73% de deformação. As velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram, respectivamente, de 2,0, 2,0 e 4,0 mm/s (ROSSET, 2007). Foram realizadas seis repetições para cada tofu e os resultados foram expressos em Newton (N).

4.2.3.2 Determinação de cor dos grãos de soja e tofus

Grãos de soja e tofus necessitam métodos diferentes para medida de cor, devido às diferenças em suas características geométricas. A superfície lisa e uniforme das amostras de tofu permite a realização de leituras diretas com o colorímetro, enquanto a superfície dos grãos, por ser bastante heterogênea (inclui os espaços intersticiais), adapta-se melhor a um método que utilize imagens digitais (OLIVEIRA et al., 2003; ROMÃO et al., 2006).

4.2.3.2.1 Determinação de cor dos tofus

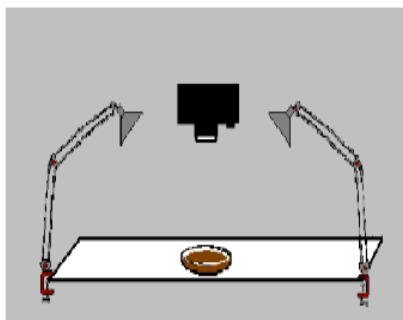
A avaliação de cor dos tofus *in natura* foi realizada com colorímetro (Color Reader CR13, Minolta, Japão), sendo as 12 repetições executadas diretamente sobre a superfície dos produtos, após calibração com o padrão branco (placa) fornecido. Foram medidos os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente verde-vermelho) e b^* (componente amarelo-azul). A partir dos parâmetros L^* a^* b^* , também podem ser calculados h^* (tonalidade cromática) por $h^* = \arctang(b^*/a^*)$ e C^* (croma) por $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$.

4.2.3.2.2 Determinação de cor dos grãos

Para determinação da cor, por meio de imagens digitais, os grãos foram colocados em uma placa de Petri (diâmetro 14,5 cm), regularizando-se o nível superior com auxílio de uma régua. Para tomada das imagens, cada amostra foi posicionada sobre uma plataforma especial, contendo dois suportes laterais articulados para colocação das lâmpadas e um suporte em posição central, com distância regulável, para fixação da câmera fotográfica digital (Figura 3). A iluminação foi proporcionada pelo uso de lâmpadas com temperatura de cor 6500K (Philips Essencial 15W Electronic).

Foi utilizada câmera digital Canon 300D (lente 18-55 mm, diafragma 8, velocidade 1/15) e os arquivos foram registrados em formato RAW. As imagens digitais foram processadas no software Photoshop Lightroom® (Adobe, versão 2.7), padronizando-se o branco com ajuste em 6.500K em todas elas. Em seguida, os arquivos RAW

foram convertidos ao formato JPG. Com auxílio do software MS PAINT® (Microsoft, versão 5.1), cada imagem foi recortada em quatro regiões periféricas e uma central (Figura 4), sendo cada uma das regiões registrada em formato BMP.



Fonte: Oliveira et al. , 2003.

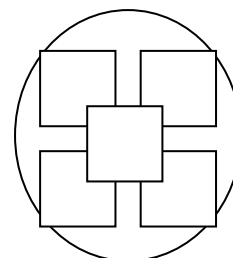


Figura 3. Esquema do sistema para fotografia

Figura 4. Esquema de amostragem para leitura de cor em um conjunto de grãos de soja

A cor da casca e do hilo foram medidas separadamente. Em cada uma das cinco regiões, foram escolhidos quatro grãos que mostravam apenas a casca e não o hilo, selecionando sua área para leitura. Da mesma maneira, em cada região foram identificados quatro hilos que apareciam inteiros e em posição vertical ou horizontal, selecionando-se a área.

As áreas selecionadas (20 repetições) tiveram a cor média medida e expressa no sistema RGB, utilizando-se o software “Conversor em cor média RGB para imagens BPM” (SACHS, 2001), que determina a cor média por leitura pixel a pixel. Os valores médios em RGB foram convertidos para o sistema CIELAB pelo software Munsell Conversion (COLORPRO, versão 4.01), para obtenção dos parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul), relativos à cor da casca e do hilo de cada uma das cultivares.

4.2.4 Análise Sensorial dos tofus

A análise sensorial foi conduzida após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina (parecer No. 216/07, Quadro 1 do Anexo II). Os questionários de recrutamento dos

juízes e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido estão, respectivamente, nos Quadros 2 e 3 do Anexo II.

4.2.4.1 Teste de Aceitação de Atributos

Os tofus produzidos foram avaliados, em ordem aleatória, por um teste de Aceitação de Atributos, em duas sessões, com quatro amostras de tofu em cada uma delas. As amostras, codificadas com números de três algarismos, foram apresentadas monadicamente aos juízes, que avaliaram os atributos sabor, textura e aceitação global (STONE; SIDEL, 2004), utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos, ancorada nos extremos e no meio, onde: 9=gostou extremamente, 5=nem gostou, nem desgostou, 1=desgostou extremamente.

A equipe de juízes foi formada por 71 indivíduos não treinados (37 homens e 34 mulheres), com idades entre 16 e 54 anos (sendo mais numerosa a faixa de 21 a 30 anos, com 44%) e grau de instrução variado (50% com nível universitário e pós-graduação).

Para participação no teste, não era necessário que o indivíduo fosse um consumidor habitual de tofu, porém 83% afirmaram consumir produtos de soja, com diferente frequência (destes, as respostas “esporadicamente” e “frequentemente” somaram 68%); para os 17% que declararam não consumir produtos de soja, a ideia de introduzir a soja e seus derivados na alimentação foi considerada boa (41%) ou muito boa (24%). Entre os alimentos de soja que já consumiu ou consome, o tofu foi indicado por 42% do total de juízes.

4.2.4.2 Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) dos tofus

Os 21 candidatos a participar da equipe de juízes treinados foram submetidos a diversos testes: reconhecimento de gostos básicos (doce, salgado, ácido, amargo, umami) e sensação oral de adstringência, onde o candidato tinha que identificar corretamente pelo menos uma das amostras de cada gosto ou sensação para ser aprovado; reconhecimento de odores (limão, canela, mel, ketchup, pó de café, queijo parmesão, vinagre de vinho, cebola, etanol, mostarda, chocolate, cravo, orégano, acetona), cujo critério para aprovação foi 65% de acerto; e teste de ordenação de intensidade de dureza (4 amostras de tofu, variando entre 2,2 e 6,5N), no qual o candidato tinha que ter 100% de acerto. Do total inicial, foram aprovados 15 candidatos; porém, uma pessoa teve que deixar o grupo antes de iniciar o treinamento

e outras duas, durante o mesmo, restando então 12 julgadores que seguiram até o final do processo.

Os descritores/atributos levantados pela equipe selecionada, usando Método de Rede (MOSKOWITZ, 1983), conforme ficha apropriada (Quadro 4 do Anexo II) foram: cor amarelada, cor creme, uniformidade de superfície, aroma e sabor de soja, gosto amargo, adstringência, dureza, suculência e textura granulosa. Em consenso, foram elaboradas definições dos descritores, escolhidas amostras de referência para os extremos da escala de cada descritor a ser utilizado no treinamento (Quadro 5 do Anexo II) e definida a ficha de avaliação (Quadro 6 do Anexo II), cuja escala foi a não estruturada de 9 cm, ancorada com termos de intensidade a 0,5 cm de cada extremidade.

A equipe foi submetida a seis sessões de treinamento, seguindo-se a seleção final de julgadores, onde foram avaliadas, em três repetições, quatro amostras de tofus (uma comercial e três produzidas com as próprias cultivares de soja em estudo) conforme delineamento de blocos completos. Os dados foram tratados por ANOVA e Teste F. Os critérios de seleção final dos julgadores foram: poder de discriminação (p de $F_{amostra} < 0,5$), repetibilidade (p de $F_{repetição} > 0,05$) e concordância de cada julgador com a equipe, esta última por meio da comparação das médias das amostras obtidas para cada julgador com as médias da equipe, para cada atributo (Tabelas 1 a 3 do Anexo II).

Os julgadores que foram considerados aprovados no treinamento (aprovação: máximo de dois atributos não aprovados nos critérios), avaliaram as amostras de tofu das oito cultivares de soja, de acordo com delineamento experimental descrito no item 4.2.5, utilizando a ficha de avaliação (Quadro 6, do Anexo II) de acordo com o protocolo de avaliação (Quadro 7, do Anexo II).

4.2.5 Delineamento experimental e metodologia de análise estatística

Os experimentos relacionados com a produção do tofu e as análises físico-químicas e instrumentais foram conduzidos de acordo com delineamento inteiramente casualizado. O número de repetições das análises estão descritos nos respectivos itens da metodologia. Os resultados foram tratados por ANOVA, teste de Tukey e

correlação linear de Pearson (5%) utilizando o programa STATISTICA versão 6.0 (STATSOFT, 2001).

Para o teste sensorial de aceitação, o delineamento foi de blocos completos casualizados. Os resultados foram tratados por ANOVA, teste de Tukey (5%) e Mapa de Preferência Interno - MDPREF (software SENSTOOLS, versão 2.3) (OP&P PRODUCT RESEARCH, 1998).

Para o ADQ, o delineamento foi de blocos incompletos casualizados, com $t=8$ (n° de tratamentos), $k=3$ (n° tratamentos por sessão), $r=3$ (n° repetições), $b=8$ (n° sessões) e $\lambda=1$ (n° vezes que dois tratamentos aparecem juntos numa mesma sessão). Os resultados foram tratados por Análise de Componentes Principais, ANOVA, teste F, teste $F_{ajustado}$, teste de comparação de médias de Tukey, análise de correlação de Pearson e teste t. O nível de significância empregado foi de 5%.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho foram organizados na forma de quatro artigos e três resumos apresentados em eventos científicos (sendo um deles, um resumo expandido).

O artigo 1 relata o estudo que estabeleceu o protocolo para produção de tofu em escala de laboratório. Utilizando uma cultivar de soja e partindo de um delineamento experimental fatorial, testaram-se cinco variáveis do processo, em dois diferentes níveis. As condições de processo estabelecidas compuseram o protocolo que foi usado nas etapas subseqüentes do trabalho.

O artigo 2 descreve o rendimento em tofu obtido no processamento de oito cultivares de soja, mostra os resultados de determinações físicas e químicas realizadas nas amostras de grãos e de tofus e os resultados da análise sensorial de aceitação.

O artigo 3 mostra os resultados da determinação das frações protéicas nos grãos das cultivares, da determinação de cor e textura instrumental dos tofus e da Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) dos tofus.

O artigo 4 relata os conteúdos de proteínas, minerais e isoflavonas determinados nos grãos das cultivares de soja, verificando o efeito do processamento por meio de sua retenção no tofu.

O resumo expandido investiga a influência da cor dos grãos de oito cultivares brasileiras de soja sobre a cor dos tofus produzidos.

Os resumos apresentam resultados de caracterização sensorial dos tofus, seja a descrição dos produtos como a aceitação pelo consumidor.

ARTIGO 1

Título: A statistical approach to define some tofu processing conditions

Autores: Vera de Toledo Benassi; Fábio Yamashita; Sandra Helena Prudencio

Status: aceito pela revista Ciência e Tecnologia de Alimentos

São Carlos, Segunda-feira 08 de Novembro de 2010.

CERTIFICADO

Declaramos que o trabalho intitulado: "**Definition of Tofu Processing Conditions**", dos autores: *Vera Toledo Benassi, Fabio Yamashita, Sandra Helena Prudencio*; Categoria "Contribuição original (Artigo)" e Área "Produtos de origem vegetal" , foi aceito para publicação na Revista **Ciência e Tecnologia de Alimentos**.

Suzana Caetano da Silva Lannes.

A STATISTICAL APPROACH TO DEFINE SOME TOFU PROCESSING CONDITIONS

ABSTRACT

The aim of this work was to make tofu from soybean cultivar BRS 267 in different processing conditions in order to evaluate the influence of each treatment on the product quality. A fractional factorial 2^{5-1} design was used, in which independent variables (thermal treatment, coagulant concentration, coagulation time, curd cutting, draining time) were tested at two different levels. The response variables studied were hardness, yield, total solids and protein content of tofu. Polynomial models were generated for each response. To obtain tofu with desirable characteristics (hardness ~4 N, yield 306 g tofu/100 g soybeans, 12 g proteins/100 g tofu and 22 g solids/100 g tofu), the following processing conditions were selected: heating until boiling plus 10 min in water bath, 2% dihydrated CaSO_4 w/w, 10 min coagulation, curd cutting, and 30 min draining time.

Keywords: soybeans (*Glycine max*), hardness, dihydrated calcium sulfate, yield, gelation, draining.

UMA ABORDAGEM ESTATÍSTICA PARA DEFINIR ALGUMAS CONDIÇÕES PARA PROCESSAMENTO DE TOFU

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi produzir tofu a partir da cultivar de soja BRS 267 utilizando diferentes condições de processamento e avaliar a influência dos tratamentos sobre a qualidade do produto. Utilizou-se um planejamento experimental do tipo fatorial fracionário 2^{5-1} , onde as variáveis independentes (tratamento térmico, concentração de coagulante, tempo de coagulação, corte do coágulo e tempo de dessoragem) foram testadas em dois diferentes níveis. As variáveis resposta analisadas foram dureza, rendimento, teor de sólidos totais e de proteínas do tofu, sendo obtidos modelos polinomiais para cada uma delas. As condições de processamento escolhidas para a obtenção de tofu com as características desejadas (~4 N de dureza, rendimento de 306 g tofu/100 g grãos, 12 g proteínas/100 g tofu e 22 g sólidos/100 g tofu) foram: tratamento térmico longo (após a ebulição, aquecer por mais 10 min, em banho-maria), 2% p/p de coagulante sulfato de cálcio diidratado, 10 min de coagulação, corte do coágulo e 30 min de dessoragem.

Palavras-chave: soja (*Glycine max*), dureza, sulfato de cálcio diidratado, rendimento, formação de gel, dessoragem.

1. Introduction

Tofu is a white-to-pale yellow-colored product with a texture like that of soft white cheese or firm yogurt (EVANS et al., 1997). It is a protein coagulum obtained from soymilk.

Tofu processing has changed little in the last 2000 years (HOU et al., 1997). The processing techniques may vary according to the manufacturer, but the basic steps include soybean soaking and grinding, soymilk boiling and the addition of one or more coagulants (CUI et al., 2004). The ground soybean material or the soymilk obtained after filtration is heated in order to denature the proteins. Next, a coagulant is added to form the protein matrix that gives the product the appropriate texture (POYSA et al., 2004).

Soymilk heating for tofu production aims to decrease the microbial flora, deactivate anti-nutritional compounds, and denature the protein. Denaturation is an essential phenomenon in the formation of the protein gel. Heating causes the globular native structure of soybean protein to unfold, thus exposing functional groups formerly hidden inside the molecule, and allowing for protein-protein and protein-water interactions to take place; the three-dimensional network that makes up the gel depends on balance among these interactions (DAMODARAN, 1997; FENNEMA, 1996; KOHYAMA et al., 1995; LIU et al., 2004; OAKENFULL et al., 1997).

The type of gel formed by proteins is mainly influenced by the amino acid composition, although the medium conditions (pH, ionic force) also play a role. Proteins containing over 31.5% non-polar amino acid residues per mol tend to form opaque and irreversible coagulum-type gels, as occurs with soybean proteins; proteins with a high content of polar residues form translucent gels (DAMODARAN, 1997; FENNEMA, 1996; OAKENFULL et al., 1997).

Another requirement for the formation of gels is the presence of coagulants. Tofu is usually produced by coagulating soybean soymilk with either salts (CaSO_4 or MgCl_2) or acids (usually gluconic- δ -lactone, GDL). The coagulants are used either alone or in combination to obtain specific tofu texture and flavor characteristics (EVANS et al., 1997, CUI et al., 2004). Important variables in tofu processing include soybean soaking time and temperature, soybean-to-water ratio during soaking, soybean grinding method, filtration before or after heating, thermal treatment time and temperature, coagulation time and temperature, coagulant type and concentration, stirring time and speed before coagulation, and draining time and pressure (CAI et al., 1997). Some conditions that have been employed by researchers worldwide are described in Table 1.

The two main types of tofu are called *silken* and *momen*. *Silken* tofu is formed by the coagulation of soymilk in the product package itself, while *momen* tofu is obtained by cutting curd and then pressing it into a mold to partially drain whey. Depending on the amount of

they drained, the resulting tofu may be more or less firm; however, *momen* tofu is always firmer than *silken* tofu and has a less homogeneous texture, since the curd is cut and reshaped under pressure (EVANS et al., 1997, CUI et al., 2004). Consumer preferences for tofu type and texture vary according to cultures and personal tastes. The Chinese, for example, prefer firm tofu that can be cut into pieces, which is known as Chinese-style tofu (TSAI et al., 1981).

Considering that there are important sensory, nutritional, and technological features that affect the acceptance of tofu, the objective of this work was to produce tofu from soybean cultivar BRS 267 by different processing conditions and assess the influence of experimental variables on hardness, protein content, total solids, and tofu yield using a fractional factorial design 2^{5-1} .

2. Material and Methods

2.1 Material

Soybean cultivar BRS 267 was harvested in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil in 2006/2007 and used to produce tofu. This cultivar was developed by the Embrapa Soybean Genetic Improvement Program and has several desirable characteristics for the production of tofu, such as large-sized beans (22-25 g/100 beans), a light-colored seed coat and hilum, and a mild and pleasant flavor (CULTIVARES, 2008).

Dihydrated CaSO_4 from Wako (Japan) was used as a coagulant.

Commercial tofu samples were purchased at stores in Londrina, Paraná, Brazil. Two samples purchased from the same industrialized brand had the following information on their package labels: extra soft tofu (*silken* type) coagulated with calcium sulfate and soft tofu (*momen* type) produced using GDL. The other two commercial products were handmade using magnesium sulfate (Epsom salt) and were labeled “handmade 1” (soft) and “handmade 2” (firm).

The experiments were carried out at the Embrapa Soybean laboratories and the Food Sci.&Tech. Department of the University of Londrina, Paraná, Brazil.

Table 1. Momen tofu production conditions employed in several studies

Author(s)	Year	Soaking conditions	Water:beans (or °Brix)	Soymilk extraction and okara separation	Thermal treatment conditions	Coagulant type and concentration	Coagulation conditions	Whey draining conditions
Lu et al.	1980	T _{room} , 12 h	2.5:1	blender + filter cloth	20 min at 95-100 °C	CaSO ₄ 0.3% (w/v)	70 °C	2-3 h / 0.2 N
Lim et al.	1990	T _{room} , 16 h	6:1	blender + centrifugal extractor + filter cloth	boiling	CaSO ₄ 0.9% (w/v)	20 °C, 15 min	15 min / 1.54 kPa
Sun & Breene	1991	T _{room} , 12 h	10:1	blender + filter cloth	boiling, 15 min	CaSO ₄ 2.5% (w/w)	70 °C, 10 min (bath)	2 h / 0.98 kPa
Cai et al.	1997	T _{room} , 9 h	8:1	blender + filter cloth + hand wringing	boiling under constant stirring + 5 min at 94-96 °C	CaSO ₄ 2% (w/w)	87 °C, 8 min	10 min / 2.14 kPa 10 min / 4.27 kPa 15 min / 6.41 kPa
Hou et al.	1997	T _{room} , 8 h	soymilk 12°Brix	grinder/extractor with 0.05 mm screen	20 min at 95 °C (electric hotplate under stirring) + 5 min at 95 °C	CaSO ₄ 0.3% (w/v)	82 °C at coagulant addition + 10 min at 75-80 °C	10 min / 2.14 kPa 10 min / 4.27 kPa 15 min / 6.41 kPa
Cai & Chang	1998	T _{room} , 9 h	6:1	automated system	1 min at 98 °C (direct vapor)	CaSO ₄ 0.26 at 0.37% (w/v)	87 °C, 10 min	10 min / 98 kPa 10 min / 196 kPa 15 min / 294 kPa
Kao et al.	2003	T _{room} , 9 h	10:1	grinder + centrifugal filter	5 min at 98 °C	CaSO ₄ 0.4% (w/v)	73 °C, 20 min	10 min / 2.14 kPa 10 min / 4.27 kPa 15 min / 6.41 kPa
Ciabotti	2004	T _{room} , 12 h	10:1	blender + filter cloth + hand wringing	5 min at 95-98 °C	GDL 2% (w/w)	10 min	1.5 h / 0.9 N (curd cutting)
Min et al.	2005	T _{room} , 16 h	10:1	blender + filter cloth	boiling, 10 min	Ca SO ₄ 0.2% (w/w)	75 °C, 10 min	2 h / 1.32 kPa
Prabhakaran et al.	2006	T _{room} , 5 h	soymilk 12°Brix	grinder + centrifugal separator	boiling, >15 min	CaSO ₄ 0.4 e 0.5% (w/v)	80 °C, 20 min	1 h / 2.74 kPa (curd cutting, 10-min draining)
Rosset	2007	T _{room} , 16 h	8:1	blender + vacuum filtration	boiling, 10 min	CaSO ₄ 2.4% (w/w)	75 °C, 10 min	2 h / 0.7 N

2.2 Methods

2.2.1 Experimental design:

A 2-level factorial experimental design with five factors was used to obtain polynomial models as follows:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{15}X_1X_5 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{25}X_2X_5 + b_{34}X_3X_4 + b_{35}X_3X_5 + b_{45}X_4X_5$$

where: Y is the dependent variable (or response), x_1 to x_5 are independent variables (or factors), x_1x_2 to x_4x_5 are two-way interactions, b_n are coefficients, and b_0 (independent term) is the mean experimental value for the response. A 2^{5-1} fractional factorial experimental design has been carried out, affording resolution V and accuracy in the analysis of the first and second order effects (or two-way interactions).

Soaking and grinding conditions, coagulant type, coagulation temperature and whey draining pressure were established according to data in the literature (Table 1) and preliminary unpublished trial data. Thermal treatment conditions, coagulant concentration, coagulation time, curd cutting (or not) and draining time were selected as independent variables in the present experiment. Each of these variables was tested at two different levels, being coded as +1 (maximum) and -1 (minimum). Tofu hardness, yield, total solids, and protein content were chosen as dependent variables (or responses). The experimental design comprised 16 previously randomized runs, as given in Table 2.

Table 2. Fractional factorial design 2^{5-1} for tofu production with uncoded and coded variables values

Run	Thermal treatment ⁽¹⁾		Coagulant concentration ⁽²⁾ (%)		Coagulation time (min)		Curd cutting		Draining time (min)	
1	short	(-1)	2.0	(-1)	10	(-1)	no	(-1)	60	(+1)
2	long	(+1)	2.0	(-1)	10	(-1)	no	(-1)	30	(-1)
3	short	(-1)	2.5	(+1)	10	(-1)	no	(-1)	30	(-1)
4	long	(+1)	2.5	(+1)	10	(-1)	no	(-1)	60	(+1)
5	short	(-1)	2.0	(-1)	20	(+1)	no	(-1)	30	(-1)
6	long	(+1)	2.0	(-1)	20	(+1)	no	(-1)	60	(+1)
7	short	(-1)	2.5	(+1)	20	(+1)	no	(-1)	60	(+1)
8	long	(+1)	2.5	(+1)	20	(+1)	no	(-1)	30	(-1)
9	short	(-1)	2.0	(-1)	10	(-1)	yes	(+1)	30	(-1)
10	long	(+1)	2.0	(-1)	10	(-1)	yes	(+1)	60	(+1)
11	short	(-1)	2.5	(+1)	10	(-1)	yes	(+1)	60	(+1)
12	long	(+1)	2.5	(+1)	10	(-1)	yes	(+1)	30	(-1)
13	short	(-1)	2.0	(-1)	20	(+1)	yes	(+1)	60	(+1)
14	long	(+1)	2.0	(-1)	20	(+1)	yes	(+1)	30	(-1)
15	short	(-1)	2.5	(+1)	20	(+1)	yes	(+1)	30	(-1)
16	long	(+1)	2.5	(+1)	20	(+1)	yes	(+1)	60	(+1)

⁽¹⁾ "short" means that soymilk was heated to boiling and "long" means that after boiling, soymilk was heated for another 10 min in a water bath. ⁽²⁾ calculated on the initial soybeans weight.

2.2.2 Statistical analysis:

Responses (tofu hardness, yield, total solids, and protein content) were analyzed using the “Experimental Design” module of Statistica 5.0 software (Statsoft, 1995). The effects of coded independent variables (+1, -1) and the respective significance levels (p) were calculated. Variance analysis of physical and chemical results was carried out using the “ANOVA” module of the Statistica software.

2.2.3 Tofu production and yield:

Soybeans (150 g) were soaked at room temperature for 16 h in 500 mL of distilled water. The beans were then drained and weighed to assess the amount of absorbed water.

Distilled water at 100°C was added to the soaked beans, giving a final beans to water ratio of 1:8 (w/w). The amount of water added was enough to make up 1200 mL; the water absorbed during soaking was also taken into account. Hot grinding was performed with a domestic blender (Arno, Performa Magiclean model, Brazil) for 3 min at speed 3 on a scale of 1 to 4. Soymilk and residue (*okara*) were separated by vacuum filtration for 10 min in a 2-L Kitasato flask and Büchner funnel (15 cm i.d.) lined with a thin nylon fabric (cheesecloth). The fractions were weighed to assess the soymilk yield.

Next, an 8200-mL aliquot of soymilk was thermally treated in a covered aluminum pot directly heated on a semi-industrial butane stove (Dako, Couraçado model, Brazil). After heating, the soymilk was transferred to a 4-L plastic beaker and allowed to cool to about 75 °C, the suitable coagulation temperature.

The soymilk and the coagulant were homogenized in a 2-L glass beaker and then placed in a Dubnoff water bath at 30°C (Nova Técnica, Brazil). The coagulant was prepared in advance by dissolving dihydrated CaSO₄ in 40 mL of distilled water at 50°C.

The curd was cut using a lyre-shaped domestic cutter in two slow cross movements.

Trapezoidal plastic molds with approximate volume of 500 mL and top area of about 85 cm² were used to shape the curd. The molds had perforations on sides and bottom and were lined with cheesecloth, which was fixed onto the outer rim with an elastic band. A 9.8-N force was uniformly applied on the whole surface of the product, thus producing a pressure of 1.15 kPa.

The tofu yield was calculated according to the following equation, which gives the tofu to soybean mass ratio corrected to the partial volume of soymilk employed:

$$\text{Tofu yield (g tofu/100 g beans)} = \frac{m_{\text{tofu}}}{m_{\text{soybeans}}} \times \frac{m_{\text{soymilk}}}{820} \times 100$$

2.2.4 Assessment of experimental and commercial tofu:

Tofu hardness (expressed in Newtons) was measured in a TA.XT2i texturometer (Stable Micro Systems, England) using a 35-mm diameter cylindrical aluminum probe (P35) and cylindrical samples (30-mm diameter x 22-mm height) compressed up to 73% deformation. The pre-test, test, and post-test speeds used were 2.0, 2.0, and 4.0 mm/s, respectively (ROSSET, 2007).

Total solids and protein content in tofu were assessed by standard methods (AOAC, 1995). One gram of tofu was dried in an oven heated to 105°C until constant weight was reached (about 16 h) and total solids were expressed as g solids/100 g tofu. Protein content, expressed in g protein/100 g tofu (*as is*) was calculated by multiplying the nitrogen content by a correction factor of 6.25. Tofu nitrogen was measured by Kjeldahl method, using an automated apparatus (FOSS, Tecator 2400 model, Denmark) for distillation and titration.

3. Results and Discussion

3.1 Comparison of experimental and commercial tofu

Tofu yield varied with experimental runs, ranging from 173 to 308 g tofu/100 g beans (Table 3). The literature reports results from 169 g/100 g beans (LU et al, 1980) to 552 g/100g beans (CAI et al., 1997). Intermediate values were found by several authors, such as LIM et al. (1990), SUN & BREENE (1991), HOU et al. (1997), CAI & CHANG (1998), KAO et al. (2003), MIN et al. (2005) and PRABHAKARAN et al. (2006).

The wide diversity of results is due to the different conditions employed by researchers, ranging from soybean cultivars to processing parameters. The experimental values were close to those found for Brazilian cultivars. Cultivars BRS 133 and BRS 213, according to CIABOTTI (2004), yielded 275 and 287 g tofu/100 g beans, respectively. Using BRS 267, ROSSET (2007) obtained 217 g tofu/100 g beans.

Experimental tofu hardness varied from 1.8 to 5.6 N (Table 3), while for commercial tofu, it ranged from 3.2 to 7.1 N (Table 3). With the exception of run 5, all treatments resulted in hardness values similar to those of commercial tofu, which indicates that the texture of experimental tofu would probably be accepted by potential consumers.

Table 3. Characteristics of commercial and experimental tofu

Samples	Yield (g tofu /100 g beans)	Hardness (N)	Protein content (g/100 g tofu)	Total solids (g/100 g tofu)
Commercial⁽¹⁾				
Extra soft	-	3.2 ± 0.2	6.7 ± 0.3	15.1 ± 0.6
Soft	-	3.7 ± 0.2	8.3 ± 0.0	15.3 ± 0.6
Handmade 1	-	4.3 ± 1.3	9.5 ± 0.3	18.3 ± 0.5
Handmade 2	-	7.1 ± 0.4	10.9 ± 0.1	21.5 ± 0.3
Experimental⁽²⁾				
1	237.5	3.5 ± 0.2	11.2 ± 0.1	20.4 ± 2.2
2	282.3	3.7 ± 0.2	8.0 ± 0.4	18.4 ± 1.3
3	249.3	3.9 ± 0.3	9.8 ± 0.2	17.4 ± 0.1
4	172.7	3.5 ± 0.2	8.7 ± 0.3	17.3 ± 0.2
5	294.1	1.8 ± 0.2	5.5 ± 0.8	14.4 ± 0.5
6	260.2	3.9 ± 0.7	7.0 ± 0.1	13.1 ± 0.4
7	258.4	3.3 ± 0.3	9.8 ± 1.2	18.7 ± 1.1
8	279.9	3.7 ± 0.3	9.9 ± 0.7	20.1 ± 1.0
9	258.3	5.6 ± 0.6	12.3 ± 1.5	20.1 ± 0.1
10	255.1	4.3 ± 0.3	9.5 ± 2.8	19.4 ± 1.9
11	255.4	4.5 ± 0.3	9.5 ± 0.8	20.5 ± 0.9
12	277.7	4.3 ± 0.3	10.2 ± 0.2	18.9 ± 0.5
13	239.7	4.6 ± 0.3	11.1 ± 1.1	17.9 ± 0.4
14	308.2	3.8 ± 0.2	10.6 ± 1.1	18.5 ± 0.8
15	247.1	4.6 ± 0.2	8.2 ± 0.2	16.2 ± 0.0
16	235.2	5.1 ± 0.4	10.5 ± 0.7	20.4 ± 0.3

⁽¹⁾ data for hardness, protein content and total solids are means + SD of five, two, and two repetitions, respectively.

⁽²⁾ data for hardness, protein content and total solids are means + SD of four, two and two repetitions, respectively.

Hardness values in literature varied widely. This variability cannot be attributed only to cultivars and the different tofu processing conditions employed by the several authors. The hardness assessment methods also varied, since equipment operating conditions were not standardized and were study-specific. The shape and size of the samples varied, as did the measurement sites (outer or inner parts of the product). SUN & BREENE (1991) and MIN et al. (2005) found values close to 1 N, whereas LU et al. (1980) reported 11.5 N and CAI et al. (1997) obtained products with hardness ranging from 14 to 37 N. Despite the discrepancies found in the literature, most studies reported values from 2.5 to 7.25 N (HOU et al., 1997; CAI & CHANG, 1998; KAO et al., 2003; CIABOTTI, 2004; PRABHAKARAN et al., 2006; ROSSET, 2007), which are close to the values obtained for both experimental and commercial tofu samples.

Experimental tofu solids varied from 13.1 to 20.5 g/100 g, while the commercial sample values were between 15.1 and 21.5 g/100 g (Table 3). With the exception of assays 5 and 6, the values found for all the treatments fell within the commercial product ranges. Lim et al. (1990) obtained tofu with 23.8 g solids/100 g, in agreement with the current results. However, values as low as 10.1 g/100 g (CAI & CHANG, 1998) have also been reported. Other authors such as LU et al. (1980), CAI et al. (1997), KAO et al. (2003), MIN et al. (2005), PRABHAKARAN et al. (2006), and ROSSET (2007) found intermediate results.

Experimental tofu protein content varied from 5.5 to 12.3 g/100 g, while commercial tofu values ranged from 6.7 to 10.9 g/100 g (Table 3). Assays 1, 9, and 13 resulted in tofu protein contents above commercial tofu range, which is an advantage from the nutritional point of view. These results agree with those in the literature, which varied from 4.5 (ROSSET, 2007) to 12.2 g protein /100 g tofu (LIM et al., 1990), while LU et al. (1980), CAI et al. (1997), CAI & CHANG (1998), and MIN et al. (2005) found intermediate values.

Among all experimental runs, assay 5 was an exception, since it showed the lowest hardness and protein values, the second lowest solids content, but the second highest yield. These results indicate that the combination of conditions used in this particular run resulted in a product with large water retention capacity and very low hardness (56% of that of commercial extra soft tofu).

3.2 Factorial design analysis

The analysis of each dependent variable or response in isolation resulted in the following mathematical models, with R^2_{adj} values ≥ 0.90 :

$$\text{HARDNESS} = 3.94 + 0.05x_1 + 0.14x_2 - 0.15x_3 + 0.58x_4 + 0.12x_5 + 0.22x_1x_3 - 0.24x_1x_4 + 0.08x_1x_5 + 0.20x_2x_3 - 0.11x_2x_4 - 0.13x_2x_5 + 0.06x_3x_4 + 0.29x_3x_5$$

$$\text{YIELD} = 256.93 + 1.97x_1 - 9.99x_2 + 8.41x_3 + 2.65x_4 - 17.67x_5 - 7.56x_1x_2 + 3.57x_1x_3 + 7.50x_1x_4 - 10.44x_1x_5 + 4.25x_2x_4 - 10.46x_3x_4 + 4.43x_4x_5$$

$$\text{PROTEIN} = 10.08 - 0.20x_1 - 0.44x_3 + 0.80x_4 + 0.20x_5 + 0.45x_1x_2 + 0.65x_1x_3 - 0.59x_1x_5 + 0.45x_2x_3 - 0.78x_2x_4 + 0.28x_3x_4 + 0.38x_3x_5 - 0.27x_4x_5$$

$$\text{SOLIDS} = 18.31 + 0.51x_1 + 0.59x_2 - 0.65x_3 + 0.56x_4 + 0.56x_5 + 0.80x_1x_3 + 0.14x_1x_4 - 1.03x_1x_5 + 1.35x_2x_3 - 0.79x_2x_4 - 0.09x_2x_5 + 0.33x_3x_5 - 0.19x_4x_5$$

These equations allow estimating response values as a function of five factors within the studied range of each factor.

3.3 Effects of the factors on the responses

The calculated effects of each factor on the responses are shown in Table 4.

All treatments resulted in the formation of tofu structure, which means that all the different tested conditions resulted in tofu, although that of assay 5 was not fit for a *momen*-type product.

Table 4. Effects of independent variables (factors) on dependent variables (responses)

Variables/Interactions	Hardness (N)	Yield (g tofu/100 g soybeans)	Protein content (g/100 g tofu)	Total Solids (g/100 g tofu)
Mean	3.94±0.04	256.93±1.56	10.08±0.27	18.31±0.05
x ₁ (soymilk thermal treatment)	0.10±0.04	3.94±1.56	-0.40±0.27	1.03±0.05
x ₂ (coagulant concentration)	0.27±0.04	-19.98±1.56	ns	1.17±0.05
x ₃ (coagulation time)	-0.30±0.04	16.83±1.56	-0.88±0.27	-1.30±0.05
x ₄ (curd cutting)	1.15±0.04	5.30±1.56	1.60±0.27	1.11±0.05
x ₅ (draining time)	0.24±0.04	-35.35±1.56	0.39±0.27	1.12±0.05
x ₁ . x ₂	ns	-15.12±1.56	0.91±0.27	ns
x ₁ . x ₃	0.45±0.04	7.14±1.56	1.30±0.27	1.60±0.05
x ₁ . x ₄	-0.48±0.04	15.00±1.56	ns	0,28±0.05
x ₁ . x ₅	0.15±0.04	-20.88±1.56	-1.17±0.27	-2.06±0.05
x ₂ . x ₃	0.41±0.04	ns	0.89±0.27	2.71±0.05
x ₂ . x ₄	-0.21±0.04	8.49±1.56	-1.56±0.27	-1.57±0.05
x ₂ . x ₅	-0.25±0.04	ns	ns	-0.17±0.05
x ₃ . x ₄	0.13±0.04	-20.91±1.56	0.57±0.27	ns
x ₃ . x ₅	0.57±0.04	ns	0.76±0.27	0.67±0.05
x ₄ . x ₅	ns	8.87±1.56	-0.55±0.27	-0.39±0.05
R ² adj	0.99016	0.98958	0.90666	0,99830

ns = non significant at 95% confidence
p-value > 0,05

As can be seen in Table 4, factor x₁ (thermal treatment) showed a positive correlation with tofu solids, hardness and yield, which increased by 1 g/100 g tofu (5.6%), 0.1 N (2.5%), and 3.9 g tofu/100 g beans (1.5%) from its lowest to its highest level. However, it was negatively correlated with the protein content, showing a decrease of about 0.4 g/100 g tofu (4%). The impact of this factor was small, possibly because the range between levels -1 and +1 was narrow, causing almost no difference when x₁ was carried out at one level or another.

However, it is important to point out that at both levels, the degree of denaturation was suitable for tofu production, since insufficient thermal treatment would not have provided conditions for gel formation, whereas over treatment would have caused excessive protein denaturation, which in turn would not lead to the formation of a three-dimensional structure, but to an insoluble precipitate due to many interactions between unfolded protein chains instead of protein-water binding (OAKENFULL et al., 1997).

As for the coagulant concentration (x₂), its variation had an impact mainly on the tofu yield. It can be noted that an increase in coagulant from 3 g to 3.75 g resulted in an undesirable decrease in tofu yield, about 20 g tofu/100 g beans, or about 8% less than the average amount. However, other effects of increased amount of coagulant would be advantageous, such as a potential increase of 0.27 N in hardness (6.9%) and 1.17 g solids/100 g tofu (6.4%).

Other researchers also reported a negative correlation between yield and the amount of coagulant. PRABHAKARAN et al. (2006), quoting the earlier study by SUN & BREENE (1991), attributed it to increased syneresis and loss of curd whey, since a greater

concentration of calcium ions intensifies protein-protein interactions by forming a greater number of salt bridges, thus making the matrix more compact. Both studies, as well as the present one, substantiated this hypothesis based on increased tofu hardness. The two coagulant levels adopted in this work are the same as those used by PRABHAKARAN et al. (2006), which allows comparison of the experimental results of these researchers with those calculated by the theoretical model. Increasing the amount of coagulant from 0.4 to 0.5% (w/v) caused yield to fall by 3.6 g/100 g (about 3%); in contrast, the total solids rose by 0.3 g/100 g (1.4%), and hardness, by 0.4 N (8.9%). Although the effects observed by PRABHAKARAN et al. (2006) were different in intensity, they followed the same general trends of the results of the current study.

Coagulation time (x_3) influenced mainly tofu yield, which increased about 17 g/100 g of beans (6.6%) when the coagulation time was increased from 10 to 20 min. Hardness and total solids showed negative correlations with this factor, that is, they decreased 0.3 N (7.6%) and 0.9 g/100 g (4.9%), respectively. The results suggest that the increase in the coagulation time leads to the balance between protein-protein and protein-water interactions, thus contributing to both the formation of the three-dimensional protein network and water retention. High retention of water in the curd would be responsible for a proportional reduction in solids and protein content of tofu, due to a higher yield and lower gel density and hardness. PRABHAKARAN et al. (2006) compared sulfates and chlorides as coagulants and found that at the same concentration, sulfates act more slowly than chlorides upon contact with soymilk, requiring at least 8 min before coagulation can be observed.

Curd cutting (x_4) is an optional step in tofu processing, depending on the desired product. Physical rupture of the three-dimensional curd network allows for the release of the water retained inside the pores by capillarity (FENNEMA, 1996). In the current study, cutting affected mainly tofu hardness, increasing it by 1.15 N (29%). Tofu protein content and total solids also showed a positive correlation with curd cutting (potential increases of 16 and 6%, respectively), meaning water loss and minimal solid leaching took place. Tofu yield variation was not consistent with this explanation, since the effect of curd cutting, however small, was positive, indicating that cutting can increase tofu yield by about 5 g/100 g beans (2%).

Both the studies by CIABOTTI (2004) and PRABHAKARAN et al. (2006) employed curd cutting in tofu processing. In the former, although GDL was used as a coagulant, the yield was similar to that obtained in the current study, while the latter reported values almost twice as high.

Draining time (x_5) is the time during which the curd is submitted to an external pressure in order for it to release whey. Therefore, the longer the draining time is, the more whey the curd loses due to the mechanical action applied. It can be seen in Table 4 that this factor had a great impact on tofu yield, decreasing it by 35 g/100 g beans (13.6%) when the draining

time was increased from 30 to 60 min. Total solids, hardness, and protein content showed a positive correlation with draining time, since the decrease in liquid caused a proportional increase in solid matter (6.1%) and protein content (3.9%) and helped increase hardness (6.1%) (PRABHAKARAN et al., 2006). Both the draining conditions employed by CIABOTTI (2004) and the obtained yield were similar to those of the current experiment.

3.4 Determination of the tofu processing conditions

The interpretation of the data in Table 4 in light of the analysis of the relative importance of first and second order effects and the value ranges desired for each response allowed for determination of the best conditions for tofu production.

Among experimental responses, texture is the only measure related to the product sensory acceptance; thus, it takes priority over the others. The current study aims at obtaining a tofu texture which is neither too soft nor too firm, with hardness values above the experimental average, but under that of firm commercial tofu (handmade 2), that is, between 3.94 N and 7.1 N. Therefore, the assessment of the hardness of the commercial products afforded a reference for the assessment of experimental tofu. It is not possible to define an ideal hardness value, since this will depend on the type of tofu, personal preferences and the intended use of the product.

Tofu yield is the process parameter of greatest interest, from both the technological and the economic points of view; thus the yield must be as high as possible without compromising the other quality characteristics of the product. Solid components may be lost along with water during whey draining; therefore, it is not enough to take yield into account. Solids retention in tofu, mainly of proteins, is also important. It is desirable that these values be as high as possible, since they affect the product yield and nutritional value. Their acceptable range begins at the average value obtained in the experiments.

The four polynomial models obtained that describe each response were employed in a mathematical simulation in which the values of variable x were replaced with either +1 or -1 in all possible combinations ($2^5=32$). The calculated results were arranged in increasing order. Within the ranges defined for each response, treatments A, B, C, and D (Table 5) were chosen as those that best meet the hardness, yield, protein content and total solids requirements, in this order. Treatment A was chosen because its conditions would afford the best product, with protein content and total solids almost 20% greater than the experimental average. The expected increase in hardness was lower, but it was still about 10% above the average, which would place this product within the range accepted by consumers, according to commercial tofu values (Table 3).

Table 5. Mathematical simulation and modeling validation results

Mathematical simulation									
Processing conditions						Calculated Values			
Run	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	Hardness (N)	Yield (g/100 g soybeans)	Protein Content (g/100 g tofu)	Total Solids (g/100 g tofu)
A	+1	-1	-1	+1	-1	4.33	305.65	12.01	21.83
B	+1	+1	+1	+1	-1	4.33	279.81	11.57	21.23
C	+1	+1	-1	+1	-1	4.25	276.77	10.45	18.89
D	-1	-1	-1	+1	-1	5.31	257.85	13.43	20.07
Modeling validation									
Processing conditions						Actual Values			
Run	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	Hardness (N)	Yield (g/100 g soybeans)	Protein Content (g/100 g tofu)	Total Solids (g/100 g tofu)
Sample 1	+1	-1	-1	+1	-1	3.67 ± 0.28	282.21	9.69 ± 0.06	16.96 ± 0.61
Sample 2	+1	-1	-1	+1	-1	4.47 ± 0.14	259.09	9.80 ± 0.45	17.46 ± 0.54
Mean						4.07 ± 0.57	270.65 ± 16.35	9.75 ± 0.08	17.21 ± 0.35
Difference between actual and calculated values						-6%	-11%	-19%	-21%

x₁ = thermal treatment, x₂ = coagulant concentration, x₃ = coagulation time, x₄ = curd cutting, x₅ = draining time

Two experiments were performed using cultivar BRS 267 and the processing conditions were chosen in order to validate the statistical analysis and mathematical modeling results. The actual results were lower (from 6 to 21%) than the values calculated using the polynomial models (Table 5). This difference is both acceptable and expected, since the objective of this work was not process optimization; factorial design was used to determine the most adequate tofu processing conditions among those investigated.

4. Conclusions

For soybean cultivar BRS 267, the most convenient conditions found for tofu production at laboratory level are: long thermal treatment (after boiling, heat for another 10 min in water bath), 3 g of dihydrated calcium sulphate coagulant, 10 min of coagulation, curd cutting, and 30 min of draining.

5. References

- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Arlington: AOAC International, 1995. 16th ed.
- CAI, T.D.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C.; HOU, H.J.; JI, M. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. **Food Research International**, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.
- CAI, T.D.; CHANG, K.C. Characteristics of production-scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size, mixing time and coagulant concentration. **Food Research International**, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.
- CIABOTTI, S. **Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos de soja convencional e livre de lipoxigenase**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

- CUI, Z.; JAMES, A.T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R.F.; CARTER Jr., T.E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (Ed.) **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.
- CULTIVARES de Soja 2007/2008 região centro-sul. Londrina:Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2008. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 299).
- DAMODARAN, S. Food proteins: an overview. In: **Food proteins and their applications**. DAMODARAN, S.; PARAF, A. (eds.). New York: Marcel Dekker, 1997. p. 1-24.
- EVANS, D.E.; TSUKAMOTO, C.; NIELSEN, N.C. A small scale method for the production of soymilk and silken tofu. **Crop Sci.**, v. 37, p. 1463-1471, 1997.
- FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996, 3rd ed. p. 391-394.
- HOU, H.J.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. **J. Food Sci.**, v. 62, n. 4, p. 824-827, 1997.
- KAO, F.J.; SU, N.W.; LEE, M.H. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, p. 6211-6216, 2003.
- KOHYAMA, K.; SANO, Y.; DOI, E. **Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu (soybean curd)**. *J. Agric. Food. Chem.*, v. 43, n. 7, p. 1808-1812, 1995.
- LIM, B.T.; DeMAN, J.M. ; DeMAN, L.; BUZZEL R. I. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: calcium sulfat coagulant. **J. Food Sci.**, v. 55, n. 4, p. 1088-1092, 1990.
- LIU, Z.S.; CHANG, S.K.C.; LI, L.T.; TATSUMI, E. Efect of selective thermal denaturação of soybean proteins on soymilk viscosity and tofu´s physical properties. **Food Research Internatinal**, v. 37, n. 8, p. 815-822, 2004.
- LU, J.Y., CARTER, E.; CHUNG, R.A. Use of calcium salts for soybean curd preparation. **J. Food Sci.**, v. 45, p. 32-34, 1980.
- MIN, S.; YU, Y.; ST. MARTIN, S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. **J. Food Sci.**, v. 70, n. 1; p. C8-C12, 2005.
- OAKENFULL, D.; PEARCE, J.; BURLEY, R.W. P. Protein gelation. In: **Food proteins and their applications**. DAMODARAN, S.; PARAF, A. (eds.). New York: Marcel Dekker, 1997. p. 111-142.
- POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. In: INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING UTILIZATION CONFERENCE, IV, 2004, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.68.
- PRABHAKARAN, M.P.; PERERA, C.O.; VALIYAVEETIL, S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chem.**, v. 99, n. 3, p. 492-499, 2006.
- ROSSET, M. **Distribuição de ácido fitico e minerais durante o processamento de extrato hidrossolúvel de soja e tofu**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina.
- SUN, N; BREENE, W.M. Calcium sulfate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybean varieties. **J. Food Sci.**, v. 56, n. 6, p. 1604-1607, 1991.
- TSAI, S.J.; LAN, C.Y.; KAO, C.S.; CHEN, S.C. Studies on the yield and quality characteristics of tofu. **J. Food Sci.**, v. 6, p. 734-740, 1981.

ARTIGO 2

Título: Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu e aceitação pelo mercado consumidor

Autores: Vera de Toledo Benassi; Marta de Toledo Benassi; Sandra Helena Prudencio

Status: aceito pela revista Semina: Ciências Agrárias

De: **Semina Agrarias** <semina.agrarias@uel.br>

Data: 23 de agosto de 2011 15:07

Assunto: Resposta: 8006-11 - ARTIGO EDITORAÇÃO REVISTA SEMINA CIENCIAS AGRÁRIAS/UEL

Para: Vera Benassi <vera.benassi@gmail.com>

Prezado(a) Autor(a) Vera, boa tarde:

Informo que o seu artigo está pronto para editoração, foi encaminhado ao Editor Chefe da Revista.

Não precisa inserir o artigo corrigido no site da Revista.

Quando o artigo for publicado, vc receberá o arquivo em PDF.

Atenciosamente,

Edilaine

Assistente Editorial

Semina: Ciências Agrárias/UEL/CCA

**Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu
e aceitação pelo mercado consumidor**

**Brazilian soybean cultivars: tofu-making characteristics
and acceptance by consuming market**

Vera de Toledo Benassi^{1*}; Marta de Toledo Benassi²; Sandra Helena Prudencio²

Resumo: Neste trabalho, oito cultivares de soja brasileira foram avaliadas quanto ao seu potencial para produção de tofu e os produtos finais do processamento foram submetidos à aceitação sensorial. Os grãos das cultivares apresentaram diferenças em termos de tamanho, conteúdo de cascas e capacidade de absorção de água. Todas as cultivares foram semelhantes no rendimento em tofu, mas os produtos resultantes apresentaram dureza distinta. As médias obtidas no teste de aceitação de atributos evidenciaram diferenças entre os tofus, em termos de sabor e textura, mas não na aceitação global. O Mapa de Preferência Interno mostrou uma segmentação dos consumidores em três grupos distintos. Esta informação pode nortear uma empresa fabricante de tofu na escolha da matéria-prima, definindo uma ou mais cultivares de soja que melhor atendam às expectativas dos consumidores.

Palavras-chave: Tamanho, conteúdo de cascas, rendimento, textura, preferência, segmentação de consumidor

Abstract: In this investigation, eight Brazilian soybean cultivars were evaluated with respect to their tofu-making potential and final products underwent sensory acceptance. Grains from each cultivar showed differences related to size, seedcoat content and water absorption capacity. All cultivars displayed similar tofu yield, but resultant products presented distinct hardness. Mean values obtained on attribute acceptance testing showed tofu were different in terms of flavor and texture but not in global evaluation. Internal Preference Mapping indicated consumer segmentation in three different groups. This information could guide tofu manufacturers in raw material selection, in order to define one or more soybean cultivars that better satisfy the expectations of the consumers.

Key words: Soybean size, soybean seedcoat content, tofu yield, tofu texture, MDPREF, consumer segmentation

¹ Engenheira de Alimentos e Mestre em Tecnologia de Alimentos pela UNICAMP. Doutoranda no Deptº de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, UEL. Pesquisadora da Embrapa. E-mail: vera.benassi@gmail.com

² Profª Drª do Deptº de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, UEL. E-mail: martatb@uel.br; sandrah@uel.br

* Autor para correspondência

Introdução

Embora a produção de tofu não seja uma tecnologia nova, produzir tofu com excelente qualidade tecnológica e sensorial continua sendo um desafio. Para os fabricantes de tofu, o rendimento é importante do ponto de vista econômico, assim como a qualidade do produto, na qual a textura tem papel preponderante (SHEN et al., 1991). A textura do tofu deve ser coesa, lisa e firme, mas não dura ou borrachenta. Devido à natureza suave deste produto, as propriedades de textura do tofu têm importante papel na qualidade e na aceitação pelo consumidor (LIM et al., 1990). Sua textura é principalmente influenciada pelo processo de fabricação e pelas características da cultivar utilizada, e a preferência quanto ao grau de dureza do tofu varia segundo o hábito cultural e o gosto pessoal do consumidor (CUI et al., 2004).

Sabendo que as cultivares de soja têm diferente potencial para produzir tofu e outros derivados, há interesse de se identificar e direcionar as cultivares mais adequadas para cada uso específico, tanto para a comercialização interna como exportação (EVANS; TSUKAMOTO; NIELSEN, 1997). Cultivares de soja que produzem tofu com alto rendimento, alto teor de proteínas e boas propriedades de textura são consideradas mais adequadas para obtenção do produto (CAI et al., 1997).

O conteúdo de proteína no grão é um fator que influencia o rendimento do tofu (CAI et al., 1997; POYSA; WOODROW, 2002; MIN; YU; ST. MARTIN, 2005). Lim et al. (1990) consideraram que o conteúdo de proteína do grão, isoladamente, não é suficiente para afetar o rendimento do tofu. Min, Yu e St. Martin (2005) observaram que o conteúdo de proteína do tofu estava mais intimamente relacionado com a proteína do extrato de soja do que com a proteína do grão, uma vez que a proteína presente no extrato é completamente coagulada na forma de tofu.

O tamanho dos grãos de soja pode interferir no rendimento do tofu. Shen et al. (1991), citando Smith e Circle (1972), relataram que os grãos pequenos contêm maior área de casca por unidade de peso que os grãos grandes. Cui et al. (2004) também comentaram que os grãos maiores e esféricos geralmente apresentam relação superfície/volume mais favorável à extração dos sólidos solúveis que os pequenos, uma vez que isto reduz a proporção de cascas; por isto, os grãos maiores tendem a aumentar o rendimento do tofu. Poysa e Woodrow (2002) encontraram correlação positiva entre o tamanho do grão e o rendimento do tofu. No entanto, Lim et al. (1990) e Shen et al. (1991), estudando a produção de tofu a partir de nove cultivares de soja com grande variação de tamanho, não encontraram correlações entre tamanho de grãos e rendimento, mesmo tendo utilizado dois diferentes coagulantes, glucono-delta-lactona (GDL) e sulfato de cálcio.

Vários pesquisadores buscaram desenvolver métodos para discriminar o desempenho comparativo de variedades e linhagens de soja a serem utilizadas na produção de tofu ou outros produtos de soja. Os métodos manuais, de laboratório, por dependerem mais da habilidade do manipulador, dificilmente fornecem resultados reprodutíveis, conforme relatado por Cai e Chang

(1998). Estes mesmos autores, citando Murphy et al. (1997), sugerem que a avaliação do potencial de uma cultivar para produção de tofu requer uma escala de produção maior e automatizada. Hou, Chang e Shih (1997) afirmaram que os métodos em escala de laboratório, usando quantidades pequenas (80-150g) de grãos, geralmente são difíceis de reproduzir, devido aos complexos fatores envolvidos. Essas percepções foram confirmadas pelo estudo de Cai et al. (1997) que, comparando os dois tipos de métodos, mostraram que o automatizado era mais adequado para testar cultivares comerciais de soja para uso em processos industriais, enquanto o método de batelada, em menor escala, era útil para avaliação de cultivares e linhagens em desenvolvimento, quando a quantidade de grãos disponível é pequena. Evans, Tsukamoto e Nielsen (1997) testaram um método descontínuo comparativo com grande número de cultivares, observando diferenças significativas no rendimento do extrato e na eficiência de recuperação da proteína e de sólidos da soja no tofu, bem como em sua textura. Mullin et al. (2001) também procuraram desenvolver um procedimento rápido e reprodutível de obtenção de tofu tipo *silken*, para avaliação de cultivares de soja, tendo por objetivo padronizar um método para comparações interlaboratoriais.

Os testes sensoriais afetivos têm por objetivo obter a resposta pessoal (preferência ou aceitação) de consumidores ou consumidores potenciais sobre um determinado produto e os resultados obtidos são, geralmente, avaliados por análise de variância (ANOVA) univariada e teste de comparação de médias (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007). No entanto, o uso da média de aceitação pode encobrir a existência de categorias de consumidores com preferências opostas, quando as respostas de um grupo cancelam as de outro (OLIVEIRA et al., 2004). Dentre as técnicas utilizadas em testes de consumidor, destaca-se o Mapa de Preferência, que utiliza técnicas de estatística multivariada para fazer uma representação das diferenças de aceitação entre produtos, permitindo a identificação de cada indivíduo e suas preferências (CALEGUER; TOFFOLI; BENASSI, 2006). No Mapa de Preferência Interno, os resultados de aceitação dos consumidores geram um espaço onde os produtos são alocados (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007).

Neste trabalho, grãos de oito cultivares brasileiras de soja foram utilizados como matéria-prima para obtenção de tofu, por meio de um processo em escala de laboratório, previamente definido. Com o objetivo de avaliar o potencial das cultivares de soja para esta aplicação, foram determinadas algumas características físicas e químicas dos grãos e dos tofus, bem como o rendimento do processo e a aceitação sensorial dos produtos.

Material e Métodos

Material

Foram selecionadas para o experimento oito cultivares de soja com características diversificadas (CULTIVARES, 2005, 2008):

BRS 155 - teor reduzido de inibidor de tripsina (1/3 do normal);

BRS 216 - grãos pequenos, alto teor de proteínas e de isoflavonas;

BRS 232 - grãos grandes;

BRS 257 - ausência de enzimas lipoxigenases;

BRS 258 - descendente da cultivar BR 36, bastante usada na alimentação humana;

BRS 262 - hilo preto e alto teor de isoflavonas;

BRS 267 - grãos de tamanho acima da média e sabor considerado suave;

BRS MG 790A - casca alaranjada e sabor considerado bom.

As cultivares desenvolvidas no programa de melhoramento genético da Embrapa Soja, Londrina/PR, foram obtidas na safra 2007/2008 em Londrina e Ponta Grossa, com exceção da BRS MG 790A, proveniente do Triângulo Mineiro. As amostras foram mantidas em câmara fria (10°C e 68% UR) até utilização.

Métodos

Composição centesimal de grãos e tofu de cultivares de soja

Os conteúdos de umidade, proteínas, lipídios e cinzas foram determinados em amostras de grãos e tofu por métodos padrão (AOAC, 1995), com três repetições. O teor de nitrogênio foi determinado por Kjeldahl, usando um equipamento automático (FOSS, Tecator 2400, Dinamarca) para destilação e titulação; o fator 6,25 foi empregado para o cálculo da proteína. O conteúdo de carboidratos foi calculado por diferença.

Tamanho de grãos

O tamanho dos grãos de soja foi expresso em termos de massa e de dimensões.

Peso de 100 grãos: amostras de 100 grãos foram constituídas por duas porções de 50 grãos, escolhidos com o auxílio de uma placa de madeira contendo cavidades em formato de meia esfera, onde os grãos de soja de quaisquer tamanhos podem se encaixar. As amostras, com nove repetições para cada cultivar, foram pesadas em balança semi-analítica (Bel Engineering, Mark 2200, Brasil). Os resultados foram expressos em g/100 grãos. Os grãos foram classificados de acordo com o seguinte critério: grandes ≥ 20 g, pequenos ≤ 10 g e intermediários entre 10 e 20g/100 grãos (YOKOMIZO; DUARTE.; VELLO, 2000).

Dimensões dos grãos: considerando-se que o grão de soja tem o formato aproximado de uma esfera, o diâmetro (d) dos grãos foi medido com auxílio de um paquímetro digital (Mitutoyo, modelo

CD-S6°C, Japão), ajustado na região mediana do grão, no eixo transversal que passa pelo hilo. Foram realizadas 20 repetições para cada cultivar. Com o valor do raio (r) da esfera ($r = d/2$, em mm), foram calculados o volume aproximado dos grãos ($V = 4/3 \pi r^3$, em mm^3) e sua área superficial ($A = 4\pi r^2$, em mm^2), para cada cultivar.

Determinação da quantidade de cascas nos grãos

Amostras de grãos de soja foram desidratadas em liofilizador (Liobrás, Liotop L101, Brasil), para permitir a retirada das cascas. Cada alíquota foi pesada em balança analítica (Mettler Toledo, modelo AT-201, Suíça) e embalada em filme plástico (aproximadamente 3cmx3cm), perfurado com auxílio de uma agulha. As amostras das oito cultivares foram acondicionadas em prato de inox posicionado na bandeja central do liofilizador e submetidas a 24h de desidratação ($T = -55^\circ\text{C}$, pressão de 60-80 μHg). As amostras foram retiradas do liofilizador e colocadas em um dessecador. Cada uma das amostras foi retirada do invólucro plástico, o peso de seus grãos registrado e, com auxílio de luvas e pinça, os grãos foram descascados um a um, pesando-se posteriormente as cascas. A quantidade de cascas foi expressa em g casca/100g grãos. Foram realizadas nove repetições do processo. A relação entre massa e área superficial das cascas dos grãos de soja das cultivares, expressa em mg/cm^2 , foi calculada por: Relação massa/área = 10 x Conteúdo cascas x Peso 100 grãos x 1/Área superficial (dados das Tabelas 2 e 3).

Processamento do tofu

A produção de tofu a partir dos grãos de soja foi realizada usando sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, marca Wako, Japão). As condições de processamento foram previamente definidas por Benassi, Yamashita e Prudencio (2011), no qual utilizaram apenas a cultivar BRS 267. As principais etapas do processo são: maceração de 150g de grãos em 500mL de água à temperatura ambiente por 16h; drenagem; trituração com cerca de 1L de água, a quente, em liquidificador doméstico (Arno, Performa Magiclean, Brasil) na velocidade 3 por 3 min; filtração à vácuo (bomba Vacubrand, MZ 2C, Alemanha), por 10 min, em funil de Buchner forrado com tecido fino de nylon (“tunil”); aquecimento do extrato de soja em recipiente tampado, sobre o fogo direto, até a fervura, seguido de mais 10 min, em banho-maria em ebulição; coagulação de 760mL de extrato com solução de CaSO_4 (3g em 40mL água morna) por 10 min a $75-76^\circ\text{C}$; corte do coágulo com auxílio de uma lira de inox; colocação do coágulo em forma plástica de aproximadamente 500mL perfurada e forrada com “tunil”; aplicação de uma força de 9,8 N sobre a superfície, produzindo uma pressão de 1,15KPa, por 30 min; retirada da forma e conservação em geladeira, em recipiente fechado, contendo água até cobrir o tofu. Três repetições do procedimento foram realizadas para cada cultivar, em ordem aleatória.

Absorção de água pelos grãos de soja, durante a maceração para produção de tofu

A diferença entre a massa de grãos macerados por 16h (item 2.2.4) e a massa inicial de grãos forneceu a absorção de água, expressa em g de água absorvida/100g de grãos.

Rendimento em tofu

A massa de cada tofu foi relacionada à massa inicial de grãos, e o rendimento expresso em termos de g tofu/100g de grãos.

Dureza dos tofus

Foi determinada em texturômetro TA.XT2i (marca Stable Micro Systems, Inglaterra), utilizando sensor cilíndrico de alumínio de 35mm de diâmetro (P35), para comprimir amostras cilíndricas de tofu, (3cm diâmetro x 2,2cm altura) até 73% de deformação. As velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram, respectivamente, de 2,0, 2,0 e 4,0mm/s (ROSSET, 2007). Foram realizadas seis repetições para cada tofu e os resultados foram expressos em Newton (N).

Análise sensorial

A análise sensorial foi conduzida após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina (parecer No. 216/07).

Os tofus produzidos foram avaliados, em ordem aleatória, por um teste de Aceitação de Atributos, em duas sessões, com quatro amostras de tofu em cada uma delas. As amostras, codificadas com números de três algarismos, foram apresentadas monadicamente aos julgadores, que avaliaram os atributos sabor, textura e aceitação global, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos, ancorada nos extremos e no meio, onde: 9=gostou extremamente, 5=nem gostou, nem desgostou, 1=desgostou extremamente.

A equipe de julgadores foi formada por 71 indivíduos não treinados (37 homens e 34 mulheres), com idades entre 16 e 54 anos (sendo mais numerosa a faixa de 21 a 30 anos, com 44%) e grau de instrução variado (50% com nível universitário e pós-graduação). Para participação no teste, não era necessário que o indivíduo fosse um consumidor habitual de tofu, porém 83% afirmaram consumir produtos de soja, com diferente frequência (destes, as respostas “esporadicamente” e “frequentemente” somaram 68%); para os 17% que declararam não consumir produtos de soja, a idéia de introduzir a soja e seus derivados na alimentação foi considerada boa (41%) ou muito boa (24%). Entre os alimentos de soja que já consumiu ou consome, o tofu foi indicado por 42% do total de julgadores.

Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi conduzido de acordo com delineamento inteiramente casualizado. Para análise sensorial, o delineamento foi de blocos completos casualizados. Os resultados foram tratados por ANOVA e teste de comparação de médias (Tukey, $p \leq 0,05$), utilizando o programa STATISTICA versão 6.0 (STATSOFT, 2001). Para avaliação do Mapa de Preferência Interno, empregou-se o programa SENSTOOLS versão 2.3 (OP & PRODUCT RESEARCH, 1998).

Resultados e Discussão

Os valores encontrados para a composição centesimal dos grãos das cultivares de soja (Tabela 1) estão dentro das faixas citadas por outros autores (LIM et al., 1990; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; POYSA; WOODROW, 2002; POYSA; WOODROW; YU, 2006; ROSSET, 2007; DA SILVA, 2009). A umidade dos grãos, entre 9 e 11%, está na faixa recomendada para conservação dos mesmos. A diferença entre o maior e o menor teor protéico foi de apenas 4g/100g de grãos (cerca de 11%), porém, significativa ($p \leq 0,05$). O teor de lipídios variou entre 19g/100g (BRSMG 790A) e 24g/100g (BRS 258) e o teor de cinzas, entre 6g/100g (BRS 216) e 8g/100g (BRS 267).

Tabela 1. Composição centesimal dos grãos de soja.

Cultivar	Umidade ¹	Proteína ²	Lipídios ²	Cinzas ²	Carboidratos ²
BRS 155	10,82 ± 0,54 ^a	39,07±0,68 ^{ab}	22,62±1,02 ^{ab}	6,36 ± 0,27 ^{bc}	31,95
BRS 216	10,51 ± 0,08 ^a	39,54±0,95 ^{ab}	20,68±1,08 ^c	5,89 ± 0,25 ^d	33,89
BRS 232	9,81 ± 0,25 ^b	39,61±0,46 ^a	21,25±1,04 ^{bc}	6,63 ± 0,25 ^b	32,51
BRS 257	9,87 ± 0,13 ^b	38,86±0,61 ^{ab}	20,19±0,97 ^{cd}	6,04 ± 0,39 ^{cd}	34,91
BRS 258	9,35 ± 0,43 ^c	38,62±1,37 ^{ab}	23,77±0,87 ^a	5,95 ± 0,44 ^{cd}	31,66
BRS 262	9,62 ± 0,11 ^{bc}	35,46±0,46 ^c	22,56±1,80 ^{ab}	6,62 ± 0,40 ^b	35,36
BRS 267	10,01 ± 0,39 ^b	38,47±0,32 ^b	18,55±1,42 ^d	7,69 ± 0,16 ^a	35,29
BRSMG 790A	8,76 ± 0,17 ^d	36,34±0,38 ^c	22,84±1,14 ^{ab}	6,71 ± 0,16 ^b	34,11

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

Média de 3 determinações ± desvio padrão

⁽¹⁾ resultados expressos em g/100g matéria integral

⁽²⁾ resultados expressos em g/100g matéria seca

O tamanho dos grãos das cultivares de soja, expresso em termos de massa e de dimensões, está na Tabela 2. A BRS 232 apresenta grãos grandes e a BRS 216, pequenos, enquanto as demais cultivares possuem valores intermediários. Apenas BRS 155 e BRSMG 790A apresentaram grãos de peso idêntico. Segundo Cai et al. (1997), a indústria de tofu prefere grãos de tamanho grande. A correlação entre o peso e as dimensões dos grãos (expresso em diâmetro, área superficial ou volume) foi de 0,98 ($p \leq 0,01$), ou seja, todas estas grandezas representam igualmente o tamanho do grão. Assim, as cultivares podem ser ordenadas, do maior para o menor tamanho de grãos, da seguinte maneira: BRS 232, BRS 267, BRS 258, BRSMG 790A, BRS 155, BRS 257, BRS 262 e BRS 216.

Tabela 2. Peso e dimensões de grãos de cultivares de soja.

Cultivar	Peso 100 grãos ¹	Diâmetro ²	Área superficial ³	Volume ⁴
BRS 155	17,04 ± 0,21d	6,63 ± 0,29bc	138,37 ± 12,15d	153,48 ± 20,08d
BRS 216	10,83 ± 0,17g	5,71 ± 0,32d	102,89 ± 11,57f	98,58 ± 16,80f
BRS 232	22,16 ± 0,55a	7,35 ± 0,49a	170,48 ± 22,54a	210,62 ± 41,38a
BRS 257	14,80 ± 0,19e	6,47 ± 0,25cd	131,69 ± 9,98de	142,40 ± 16,03de
BRS 258	18,32 ± 0,43c	7,03 ± 0,29ab	155,62 ± 12,66bc	182,97 ± 22,19bc
BRS 262	14,01 ± 0,35f	6,13 ± 0,34cd	118,42 ± 13,20e	121,71 ± 20,24ef
BRS 267	19,11 ± 0,44b	7,15 ± 0,47ab	161,34 ± 21,36ab	193,90 ± 38,59ab
BRSMG 790A	16,70 ± 0,21d	6,77 ± 0,25b	144,22 ± 10,68cd	163,18 ± 17,98cd

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

⁽¹⁾ resultados expressos em g; média de 9 repetições ± desvio padrão; grãos pequenos $\leq 10g/100g$ e grãos grandes $\geq 20g/100g$

⁽²⁾ resultados expressos em mm (para um grão); média de 20 repetições ± desvio padrão

⁽³⁾ resultados expressos em mm^2 (para um grão); média de 20 repetições ± desvio padrão

⁽⁴⁾ resultados expressos em mm^3 (para um grão); média de 20 repetições ± desvio padrão

Na Tabela 3 estão os conteúdos de cascas e a relação entre massa e área das cascas, para cada cultivar de soja. Em relação ao conteúdo de cascas, foi observada diferença apenas entre as cultivares BRS 262 (8,3) e BRS 155 (6,3) e a literatura não fornece dados que permitam comparação com estes resultados. Houve correlação ($r=0,90$, $p \leq 0,05$) entre o peso de 100 grãos e o conteúdo de cascas, indicando que a quantidade de cascas tende a aumentar com o tamanho crescente do grão. Isto contradiz Cui et al. (2004), que relataram que os grãos maiores e de formato esférico geralmente contêm menor proporção de cascas.

Tabela 3. Conteúdo de cascas nos grãos das cultivares de soja e relação entre massa e área das cascas.

Cultivar	Conteúdo de cascas ¹	Relação massa/área ²
BRS 155	6,28 ± 0,38 ^f	7,67
BRS 216	7,69 ± 0,51 ^{bc}	9,25
BRS 232	6,47 ± 0,18 ^{ef}	8,84
BRS 257	8,02 ± 0,57 ^{ab}	8,85
BRS 258	7,08 ± 0,27 ^{cde}	8,48
BRS 262	8,34 ± 0,63 ^a	9,87
BRS 267	7,16 ± 0,38 ^{cd}	8,50
BRSMG 790A	6,84 ± 0,24 ^{def}	8,22

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

⁽¹⁾ resultados expressos em g de casca/100g de grãos; média de 9 repetições ± desvio padrão

⁽²⁾ resultados expressos em mg/cm^2 de cascas; valores calculados

Por ser muito fina, a espessura das cascas de soja é difícil de ser medida com precisão. Para contornar este problema, sem recorrer a métodos de microscopia, foi calculada a relação entre massa e área superficial de cascas. A partir destes valores, foi possível supor que a espessura (ou porosidade ou densidade da casca) variou entre as cultivares, uma vez que cada cm^2 de casca pode pesar desde 7,7 mg para BRS 155 até 9,9 mg para BRS 262.

Mullin et al. (2001) consideraram que a determinação da composição química dos grãos e suas características físicas não são suficientes para julgar a adequação de uma cultivar de soja para produção de tofu. Os autores afirmam que é necessário obter o produto e determinar seu rendimento, composição, teor de sólidos e textura.

O processo para obtenção do tofu, inicialmente definido a partir da cultivar BRS 267, mostrou-se adequado para ser usado com as demais cultivares. Perdas da ordem de $6 \pm 1\%$ ocorreram na etapa de filtração, quando foram separados o extrato e o resíduo de soja. Devido a esta variabilidade (aproximadamente 17%), é difícil alcançar reprodutibilidade no processamento realizado em laboratório, embora se tenham padronizado ao máximo as condições para produção de tofu. Este fato também foi observado por Cai et al. (1997), ao comparar dois tipos de processos, um automatizado e outro em batelada, sem o uso de equipamentos apropriados e/ou automáticos.

As medidas registradas durante o processamento do tofu possibilitaram calcular a quantidade de água absorvida pelos grãos durante a maceração e o rendimento em tofu, para cada uma das cultivares, cujos valores estão na Tabela 4.

Tabela 4. Rendimento em tofu e água absorvida na maceração dos grãos de cultivares de soja.

Cultivar	Rendimento em tofu ¹	% água absorvida ²
BRS 155	265,31 ± 10,30 ^a	120,55 ± 0,33 ^d
BRS 216	264,37 ± 9,22 ^a	127,81 ± 0,34 ^{cd}
BRS 232	268,38 ± 9,23 ^a	126,42 ± 7,26 ^{cd}
BRS 257	263,05 ± 5,80 ^a	130,17 ± 1,29 ^{bc}
BRS 258	273,47 ± 12,78 ^a	127,60 ± 0,89 ^{cd}
BRS 262	264,46 ± 11,72 ^a	132,42 ± 1,37 ^{abc}
BRS 267	288,58 ± 21,43 ^a	135,41 ± 0,35 ^{ab}
BRSMG 790A	281,98 ± 16,64 ^a	139,99 ± 0,66 ^a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

⁽²⁾ resultados expressos em g/100g grãos; média de 3 repetições ± desvio padrão

⁽¹⁾ resultados expressos em g/100g grãos; média de 3 repetições ± desvio padrão

O rendimento em tofu observado para as diferentes cultivares de soja foi semelhante ($p > 0,05$). Porém, é possível notar que, entre o maior e o menor rendimento, há uma diferença de aproximadamente 10%, que provavelmente não foi significativa devido à variabilidade ocorrida entre as três repetições do processamento.

A literatura relata efeitos de diferentes variáveis sobre o rendimento. Cui et al. (2004) relataram correlação positiva do rendimento com o teor de proteína e com o peso de 100 grãos, ressaltando, porém, que os cuidados na pós-colheita e condicionamento dos grãos podem ter maior influência que a própria variação genética. Min, Yu e St. Martin (2005) também observaram influência do teor de proteínas do grão sobre o rendimento do tofu e sugeriram que a determinação de proteínas no grão pode ser usada para prever o rendimento e o conteúdo protéico do tofu. Lim et al. (1990) e Shen et al. (1991) relataram que o rendimento em tofu não foi significativamente afetado pelo tamanho ou teor de proteínas dos grãos; porém, em seus estudos há modelos preditivos para o rendimento do tofu, nos quais a variável proteína no grão está presente, evidenciando que ela é importante, apesar de não ser a única responsável pelo rendimento.

Na etapa de maceração dos grãos para o preparo de tofu, foi notado que as cultivares diferiram quanto à capacidade de absorção de água: as cultivares BRS 155, BRS 216 e BRS 258 absorveram menor quantidade, enquanto BRS 267 e BRSMG 790A absorveram maior quantidade de água. Supondo que a capacidade de absorção de água poderia influenciar as características do tofu obtido, investigaram-se as correlações existentes, tendo sido observada correlação inversa ($r = -0,75$, $p \leq 0,05$) com a dureza, ou seja, os grãos que absorveram mais água na maceração foram os que, posteriormente, resultaram em tofu com menor dureza.

Poysa e Woodrow (2002) não encontraram correlação da absorção de água dos grãos com o rendimento do tofu, nem com outro atributo de qualidade, mencionando tanto trabalhos em concordância (WANG et al., 1983) como conflitantes (BHARDWAJ et al., 1999) com seus resultados.

A composição centesimal dos tofus, na Tabela 5, foi similar a encontrada por outros autores (LIM et al., 1990; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; POYSA; WOODROW, 2002; POYSA; WOODROW; YU, 2006; ROSSET, 2007). Apenas o conteúdo de lipídios, variando entre 23 e 30 g/100g, apresentou-se superior aos valores da literatura (entre 16,5 e 21,5 g/100g). Provavelmente, as condições de processamento utilizadas promoveram uma remoção extensiva dos lipídios dos grãos, os quais foram transferidos ao extrato de soja e, posteriormente, ao tofu. A correlação entre a composição centesimal dos grãos de soja e dos tofus (Tabelas 1 e 5) foi significativa apenas para o conteúdo de proteína ($r=0,83$, $p\leq 0,05$).

Tabela 5. Composição centesimal de tofus de cultivares de soja.

Cultivar	Umidade ¹	Proteína ²	Lipídios ²	Cinzas ²	Carboidratos ²
BRS 155	86,98±1,13 ^{ab}	52,80±1,00 ^{bc}	23,30±1,79 ^{cd}	5,63±0,69 ^c	18,27
BRS 216	86,54±0,85 ^b	56,66±1,36 ^a	23,10±2,79 ^d	5,46±0,70 ^c	14,78
BRS 232	86,51±1,02 ^b	54,04±2,04 ^b	27,61±1,31 ^{ab}	6,02±0,43 ^{abc}	12,33
BRS 257	86,23±0,55 ^b	52,79±0,71 ^{bc}	27,84±1,37 ^{ab}	6,51±0,36 ^{ab}	12,86
BRS 258	86,29±0,83 ^b	51,71±0,54 ^{cd}	25,75±1,18 ^{bc}	5,89±0,38 ^{bc}	16,65
BRS 262	86,06±1,16 ^b	50,04±1,05 ^e	28,91±1,16 ^a	6,60±0,22 ^a	14,45
BRS 267	88,04±0,42 ^a	53,36±0,46 ^{bc}	24,31±2,06 ^{cd}	6,58±0,21 ^a	15,75
BRSMG 790A	86,84±0,29 ^{ab}	50,60±0,88 ^{de}	30,02±1,55 ^a	5,47±0,37 ^c	13,91

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p\leq 0,05$)

Média de três determinações ± desvio padrão

⁽¹⁾ resultados expressos em g/100g matéria integral

⁽²⁾ resultados expressos em g/100g matéria seca

Os valores de dureza instrumental e as notas de aceitação atribuídas pelos julgadores aos tofus segundo os atributos sabor, textura e aceitação global, estão na Tabela 6. A dureza dos tofus variou de 2,3N (BRS 267) a 3,8N (BRS 216) e apresentou correlação significativa com a textura sensorial ($r=0,80$, $p\leq 0,05$) e com o conteúdo de proteínas, tanto do tofu ($r=0,75$, $p\leq 0,05$) quanto do grão ($r=0,79$, $p\leq 0,05$), este último em concordância com o relatado por Evans, Tsukamoto e Nielsen (1997).

Quanto ao sabor, os tofus BRS 257 e 216 foram mais apreciados (66 e 68% de aprovação, respectivamente) que o BRS 267 (44% de aprovação). A textura do tofu BRS 216 foi mais aceita que a do BRSMG 790A (respectivamente, 75 e 55% de aprovação), enquanto os demais apresentaram valores intermediários, não diferindo entre si. Na aceitação global, observou-se que os tofus das diferentes cultivares foram igualmente aceitos, obtendo, numa escala de 1 a 9, a média 5,8 para todos os produtos. Deve-se considerar, no entanto que, para participar do teste, não havia a exigência de que o julgador fosse um consumidor freqüente de tofu, o que pode ter ocasionado resultados semelhantes e próximos da indiferença (nota 5) para todas as amostras.

Tabela 6. Valores de dureza instrumental e notas hedônicas de atributos sensoriais de tofus de cultivares de soja.

Tofu	Dureza Instrumental ¹	Aceitação					
		Sabor		Textura		Global	
		média ²	aprovação ³	média ²	aprovação ³	média ²	aprovação ³
BRS 155	3,4 ± 0,7 ^{abc}	5,6 ± 2,3 ^{ab}	55	6,2 ± 1,8 ^{ab}	65	5,7 ± 2,1 ^a	54
BRS 216	3,8 ± 0,9 ^a	6,2 ± 1,9 ^a	68	6,4 ± 1,6 ^a	75	6,2 ± 1,5 ^a	70
BRS 232	3,6 ± 0,5 ^{ab}	5,9 ± 2,0 ^{ab}	59	5,9 ± 2,1 ^{ab}	56	5,8 ± 1,8 ^a	59
BRS 257	3,1 ± 0,3 ^{bc}	6,2 ± 2,1 ^a	66	5,9 ± 1,9 ^{ab}	59	5,9 ± 2,1 ^a	63
BRS 258	3,0 ± 0,6 ^{cd}	5,6 ± 2,0 ^{ab}	54	6,0 ± 2,1 ^{ab}	63	5,6 ± 2,0 ^a	52
BRS 262	2,4 ± 0,5 ^e	6,0 ± 1,9 ^{ab}	62	5,8 ± 2,1 ^{ab}	56	5,7 ± 1,9 ^a	54
BRS 267	2,3 ± 0,5 ^e	5,3 ± 2,0 ^b	44	5,8 ± 2,0 ^{ab}	56	5,4 ± 2,0 ^a	49
BRS MG 790A	2,5 ± 0,3 ^{de}	5,7 ± 2,1 ^{ab}	51	5,6 ± 2,2 ^b	55	5,7 ± 1,8 ^a	52

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

⁽¹⁾ resultados expressos em N; média de 6 repetições ± desvio padrão

⁽²⁾ notas hedônicas segundo a escala: 1=desgostou extremamente, 5=nem gostou, nem desgostou, 9=gostou extremamente;

média de 71 julgadores ± desvio padrão

⁽³⁾ resultados expressos em porcentagem de notas ≥ 6

A partir dos resultados do teste de aceitação, também foi construído o Mapa de Preferência Interno para cada um dos atributos sensoriais avaliados (Figura 1). Assim, foi possível observar, em relação aos três atributos, a distribuição dos julgadores em três grupos distintos. O Grupo 1 foi formado pelos indivíduos que gostaram dos tofus produzidos a partir de BRS 267 e BRSMG 790A, enquanto que no Grupo 2 foram alocados os provadores que preferiram os produtos BRS 155 e 258; e no Grupo 3, de BRS 216, 232, 257 e 262.

Na preferência quanto ao sabor (Figura 1A), os consumidores do Grupo 1 (N=16 indivíduos) alocaram-se em área oposta do mapa aos do Grupo 2 (N=20), indicando apreciação ou preferência por tipos diferentes de tofu. Quanto aos consumidores do Grupo 3, uma parte deles se aproximou mais de um ou outro dos grupos anteriores. O sabor do tofu BRS 257 foi preferido por 45% dos consumidores (N=32) e a principal característica desta cultivar é a ausência de enzimas lipoxigenases.

Na grande maioria das cultivares, coexistem nos grãos ácidos graxos poliinsaturados (particularmente o linolênico) e enzimas lipoxigenases, que catalisam a oxidação destes ácidos em aldeídos, cetonas e alcoóis, os quais podem ter aroma ou sabor indesejável (ROBINSON et al., 1995). Entre estes compostos, o n-hexanal está presente em maior quantidade e é o que mais contribui para o aparecimento do sabor *beany* associado com vários produtos à base de soja (LIU, 1999; TORRES-PENARANDA et al., 1998). O sabor *beany* costuma desagradar à população ocidental e é descrito como assemelhado ao de feijão cru, de grama ou mesmo de ranço. A ação das lipoxigenases sobre os lipídios é favorecida pela maceração a frio utilizada no processamento do tofu. O desenvolvimento de cultivares sem enzimas lipoxigenases é uma das alternativas mais viáveis para obter derivados de soja com sabor mais suave (LIU, 1999).

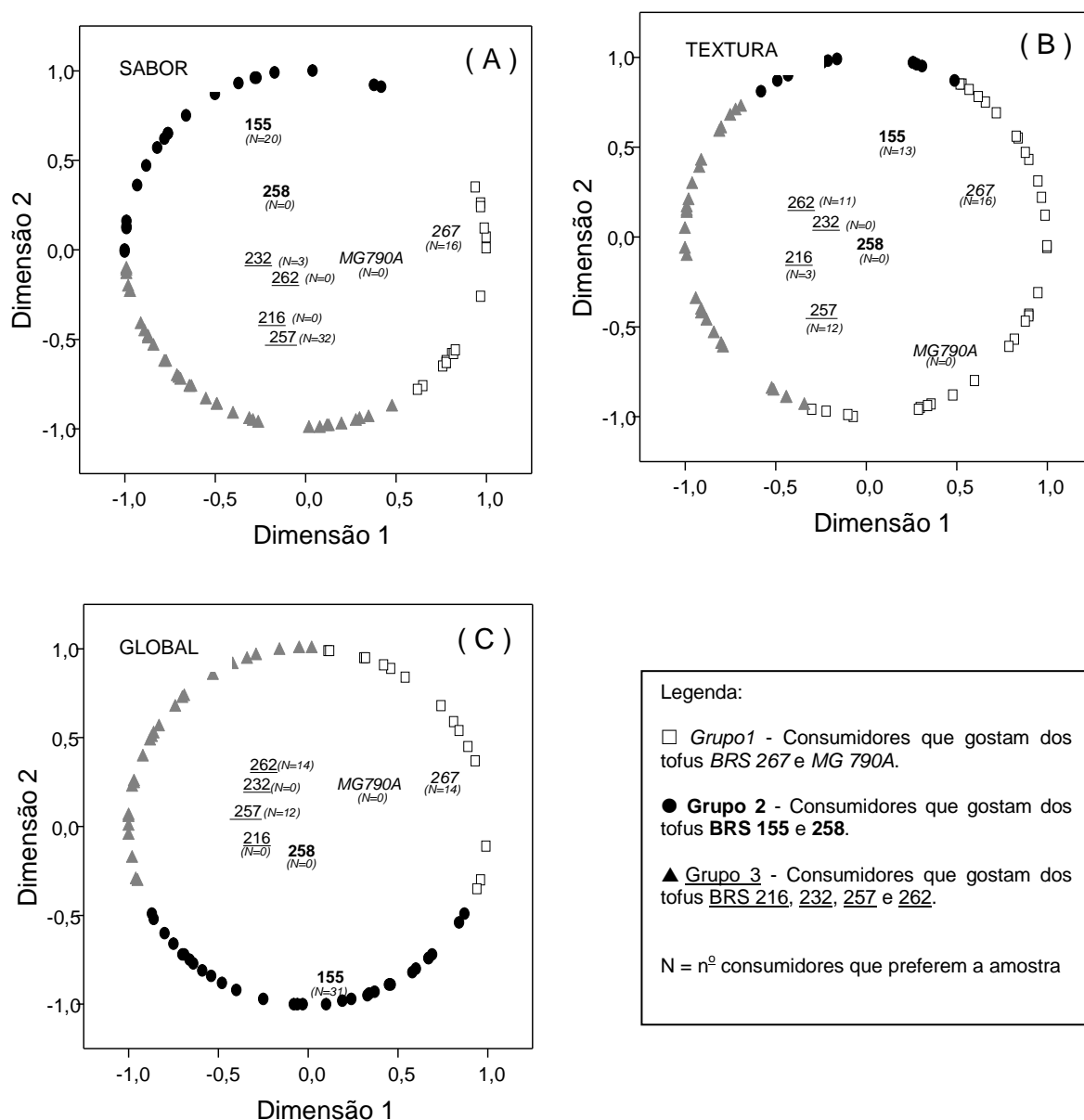


Figura 1. Mapas de Preferência Interno para Sabor (A), Textura (B) e Aceitação global (C) de tofus obtidos de diferentes cultivares de soja.

No entanto, a insuficiência ou ausência de sabor característico, considerada positiva por quase metade da equipe, pode ter motivado uma outra parte dos consumidores a gostarem menos do tofu BRS 257, pois associam o sabor característico do produto ao *beany flavor*. De fato, o termo *beany* ou “feijão cru” pode ser associado a uma variedade de atributos relacionados entre si e representa uma dificuldade na descrição de produtos de soja, necessitando ser corretamente definido quando empregado na análise sensorial (TORRES-PENARANDA; REITMEIER, 2001).

Quanto à preferência da textura (Figura 1B), os consumidores do Grupo 1 (N=16) encontram-se em oposição aos demais. Os dados de dureza instrumental (Tabela 5) indicaram que os tofus BRS 267 e BRSMG 790A (próximos ao Grupo 1) estão entre as amostras mais macias, enquanto

na parte oposta do gráfico situaram-se as amostras mais firmes. A exceção foi o tofu BRS 262, que é macio, mas pode ter sido agrupado junto às amostras mais firmes por outras características de textura que não a dureza, como por exemplo, a suculência ou a granulicidade do produto.

O atributo aceitação global visou avaliar, em conjunto, todas as percepções sensoriais dos julgadores. Isto pode incluir, além dos atributos avaliados, aroma, cor e outras características que cada julgador considera importante no produto. Embora a análise das médias não tenha indicado diferenças de aceitação global entre as amostras, no mapa de preferência (Figura 1C), visualiza-se uma clara divisão no comportamento dos consumidores.

Na Tabela 7 estão as notas de aceitação global para cada grupo de consumidores. No Grupo 1 estão indivíduos que gostaram dos tofus BRS 267 e BRSMG 790A (médias acima de 6) e rejeitaram os tofus BRS 155 e o 258 (médias abaixo de 5), os quais foram os preferidos pelos consumidores do Grupo 2. O Grupo 3 é constituído por consumidores que rejeitaram os tofus BRS 267 e 155 (média abaixo de 5), os preferidos pelos Grupos 1 e 2, e aceitaram os demais, preferindo o tofu BRS 257.

Tabela 7. Aceitação global de tofus de diferentes cultivares para os grupos de consumidores do Mapa de Preferência Interno* (Figura 1).

Provedor	Grupo 1 (15)	Grupo 2 (31)	Grupo 3 (25)
Tofu			
BRS 155	4,5 ^c	7,3 ^a	4,5 ^c
BRS 216	5,3 ^{abc}	5,9 ^b	6,3 ^{ab}
BRS 232	5,1 ^{bc}	5,5 ^b	6,4 ^a
BRS 257	5,3 ^{abc}	6,2 ^b	6,6 ^a
BRS 258	4,6 ^c	6,2 ^b	5,5 ^{abc}
BRS 262	5,1 ^{bc}	5,4 ^b	6,4 ^a
BRS 267	6,8 ^a	5,4 ^b	4,6 ^c
BRSMG 790A	6,3 ^{ab}	5,8 ^b	5,2 ^{bc}

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, $p \leq 0,05$)

Valores entre parênteses correspondem ao número de indivíduos em cada grupo

(*): Escala: 1=desgostou extremamente, 5= nem gostou, nem desgostou, 9=gostou extremamente

Foi observada correlação significativa ($r=0,87$, $p \leq 0,5$) entre os resultados de aceitação de sabor e global, ou seja, o sabor exerceu forte influência na aceitação geral do produto. A relação entre o sabor e a aceitação global dos tofus pode ser visualizada também pela distribuição semelhante dos provedores nos Mapas em relação à preferência quanto ao sabor (Figura 1A) e global (Figura 1C).

Foi obtida correlação significativa entre os valores de dureza instrumental e hedônicos de textura ($r=0,80$, $p \leq 0,05$), indicando que um tofu com maior dureza deveria ter a textura mais apreciada pelos consumidores. Observou-se, no entanto, no Mapa de textura (Figura 1B), uma distribuição diferenciada do global (Figura 1 C). O tofu BRS 216, caracterizado pela dureza mais alta (Tabela 6), apresentou boa aceitação para sabor e textura, mas não foi preferido no Mapa global por nenhum consumidor ($N=0$). Estes resultados indicam que a dureza do tofu não é o principal atributo considerado na avaliação global.

Foi verificado que o tofu BRS 258 também não foi preferido por nenhum dos consumidores (N=0) e ocupou sempre posições próximas ao centro dos mapas (Figuras 1A, 1B e 1C). Provavelmente, esta cultivar resulta em um produto com características sensoriais menos marcantes, não obtendo assim a preferência de nenhum grupo. Trabalhando com cinco cultivares brasileiras de soja, Da Silva (2009) avaliou diversas características sensoriais de grãos cozidos, por meio de teste de aceitação de atributos e de Análise Quantitativa Descritiva. A autora observou que a cultivar BRS 258 podia ser considerada como uma cultivar com atributos sensoriais de intensidades intermediárias. Tais resultados sugerem que os atributos do grão são realmente transferidos ao tofu.

Alguns dos conceitos encontrados na literatura sobre as características das cultivares adequadas para tofu não foram confirmados neste trabalho. Por exemplo, que os grãos maiores apresentam menor conteúdo de casca e que, portanto, resultam em maior rendimento de tofu; os resultados mostraram que as cultivares com grãos maiores tinham também o maior conteúdo de cascas e o rendimento dos tofus não foi influenciado por este fato. Também foi verificado que, apesar de grãos com teor mais elevado de proteínas produzirem tofu igualmente mais protéico, isto não afetou o rendimento. Por outro lado, era desconhecida a relação entre a dureza do tofu e sua aceitação pelo consumidor brasileiro; os resultados obtidos mostraram a preferência de textura pelo produto mais firme, embora todos os tofus tenham sido semelhantes em termos de aceitação global.

Os resultados discutidos a partir do Mapa de Preferência podem ser aplicados, de forma prática, por uma empresa fabricante de tofu, quando da definição do tipo de produto a ser colocado no mercado. A empresa pode fabricar um único produto, como o tofu BRS 216, capaz de atender aos requisitos de um público mais numeroso. Por outro lado, a empresa pode optar por comercializar vários produtos diferentes. Por exemplo, produzir um tofu com sabor mais suave, como o BRS 257, e outro (s) com características opostas a este, como os tofus BRS 155 ou 267, atendendo assim a públicos consumidores distintos.

Conclusão

As cultivares de soja estudadas são distintas em relação ao tamanho, conteúdo de cascas e capacidade de absorção de água e resultam em tofus com diferentes texturas, mas semelhantes quanto ao rendimento. Dados de aceitação dos produtos, comparados pelo teste de médias, mostram que os tofus das diferentes cultivares apresentam diferenças em termos de sabor e textura, mas não são diferenciados pelos consumidores na aceitação global. Isto indica que todas as cultivares de soja poderiam ser usadas para produção de tofu, com mesmo rendimento e aceitação global. Porém, ao utilizar o mapa de preferência interno como ferramenta para tratar os dados da aceitação sensorial, os consumidores são distribuídos em três grupos distintos e, portanto, essa segmentação de consumidores em relação aos tofus pode nortear a escolha de uma ou mais cultivares de soja por uma empresa fabricante deste produto, de modo a atender um público consumidor específico.

Referências

- AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- BHARDWAJ, H.L.; BHAGSARI, A.S.; JOSHI, J.M.; RANGAPPA, M.; SAPRA, V.T.; RAO, M.S. Yield and quality of soymilk and tofu made from soybean genotypes grown at four locations. *Crop Science*, Madison, v. 39, n. 2, p.401-405, 1999.
- BENASSI, V. T.; YAMASHITA, F.; PRUDENCIO, S. H. A statistical approach to define some tofu processing conditions. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 31, n. 4, 2011.
- CAI, T. D.; CHANG, K. C.; SHIH, M. C.; HOU, H. J.; JI, M. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. *Food Research International*, Barking, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.
- CAI, T. D.; CHANG, K. C. Characteristics of production-scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size, mixing time and coagulant concentration. *Food Research International*, Barking, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.
- CALEGUER, V. F.; TOFFOLI, C.; BENASSI, M. T. Avaliação da aceitação de preparados sólidos comerciais para refresco sabor laranja e correlação com parâmetros físico-químicos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 587-598, 2006.
- CUI, Z.; JAMES, A. T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R. F.; CARTER JUNIOR, T. E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (Ed.). *Soybeans as functional foods and ingredients*. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.
- CULTIVARES de soja 2004/2005 Região Centro-Sul. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2005. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 249).
- _____. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2008. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 299).
- DA SILVA, J. B. *Características de cultivares de soja convencionais e para consumo humano: análises físicas, químicas e sensoriais (sentidos humanos e sensores eletrônicos)*. 2009. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- EVANS, D. E.; TSUKAMOTO, C.; NIELSEN, N. C. A small scale method for the production of soymilk and silken tofu. *Crop Science*, Madison, v. 37, n. 5, p. 1463-1471, 1997.
- HOU, H. J.; CHANG, K. C.; SHIH, M. C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 62, n. 4, p. 824-827, 1997.
- LIM, B. T.; DE MAN, J. M.; DE MAN, L.; BUZZEL R. I. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: calcium sulfate coagulant. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 55, n. 4, p. 1088-1092, 1990.
- LIU, K. *Soybeans: chemistry, technology and utilization*. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.
- MEILGAARD, M. C.; CIVILLE, G. V.; CARR, T. *Sensory evaluation techniques*. 4th ed. New York: CRC Press, 2007.

- MIN, S.; YU, Y.; ST. MARTIN, S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 70, n. 1, p. C8-C12, 2005.
- MULLIN, W. J.; FREGEAU-REID, J. A.; BUTLER, M.; POYSA, V.; WOODROW, L.; JESSOP, D. B.; RAYMOND, D. An interlaboratory test of a procedure to assess soybean quality for soymilk and tofu production. *Food Research International*, Barking, v. 34, n. 8, p. 669-677, 2001.
- MURPHY, P. A., CHEN, H. P., HAUCK, C. C., & WILSON, L. A. Soybean protein composition and tofu quality. *Food Technology*, Chicago, v. 51, n. 3, p. 86-88, 110, 1997.
- OLIVEIRA, A. P. V.; FRASSON, K.; ALMEIDA, T. C. A.; BENASSI, M. T. Aceitação de sobremesas lácteas dietéticas e formuladas com açúcar: teste afetivo e mapa de preferência interno. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 4, p. 627-633, 2004.
- OP&P PRODUCT RESEARCH. Senstools versão 2.3. Utrecht: OP&P Product Research, 1995-1998. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.
- POYSA, V.; WOODROW, L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. *Food Research International*, Barking, v. 35, n. 4, p. 337-345, 2002.
- POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. *Food Research International*, Barking, v. 39, n. 3, p. 309-317, 2006.
- ROBINSON, D. S.; WU, Z.; DOMONEY, C.; CASEY, R. Lipoxigenases and the quality of foods. *Food Chemistry*, Davis, v. 54, n. 1, p. 33-43, 1995.
- ROSSET, M. *Distribuição de ácido fítico e minerais durante o processamento de extrato hidrossolúvel de soja e tofu*. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- SHEN, C. F.; DE MAN, L.; BUZZEL R. I.; DE MAN, J. M. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: glucono-delta-lactone coagulant. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 56, n. 1, p. 109-112, 1991.
- STATSOFT. *Statistica for Windows*. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 1995.
- TORRES-PENARANDA, A. V.; REITMEIER, C. A. Sensory descriptive analysis of soymilk. *Journal Food Science*, Chicago, v. 66, n. 2, p. 352 - 356, 2001.
- TORRES-PENARANDA, A. V.; REITMEIER, C. A.; WILSON, L. A.; FEHR, W. R.; NARVEL, J. M. Sensory Characteristics of Soymilk and Tofu made from Lipoxxygenase-Free and Normal Soybeans. *Journal Food Science*, Chicago, v. 63, n. 6, p. 1084 - 1087, 1998.
- WANG, H. L., SWAIN, E. W., & KWOLEK, W. F. Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 60, n. 3, p. 245-248, 1983.
- YOKOMIZO, G. K.; DUARTE, J. B.; VELLO, N. A. Correlações fenotípicas entre tamanho de grãos e outros caracteres em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2235-2241, 2000.

ARTIGO 3

Título: Tofus de diferentes cultivares de soja: perfil sensorial e correlação com medidas instrumentais e de composição química

Autores: Vera de Toledo Benassi; Geni da Silva Varéa; Sandra Helena Prudencio

Status: submetido à revista Alimentos e Nutrição (UNESP)

To: "Vera de Toledo Benassi" <benassi@cnpso.embrapa.br>
Subject: [AN] Agradecimento pela submissão
Date: Fri, 05 Aug 2011 15:09:52 -0300
From: João_Bosco_Faria <fcfarseer@gmail.com>

Vera de Toledo Benassi,

Por favor, verifique se você enviou a Carta de Direitos Autorais junto com sua submissão. O modelo pode ser acessado pelo link
<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/public/carta.doc>

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "Tofus de diferentes cultivares de soja: perfil sensorial e correlação com medidas instrumentais e de composição química" para "Alimentos e Nutrição".

URL do Manuscrito:

<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/author/submission/1906>

Login: verabenassi

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

{Prof. Dr. João Bosco Faria}

{Prof. Dr. Elizeu Antonio Rossi}

{Editores}

Prof. Doutor João Bosco Faria

Diretor / Editor

Alimentos e Nutrição

<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos>
revistas@fcfar.unesp.br

RESUMO

Oito cultivares brasileiras de soja foram utilizadas na elaboração de tofus. Foram realizadas medidas instrumentais de cor e textura dos produtos e suas características sensoriais foram descritas por uma equipe treinada, a fim de distinguir cultivares que resultem em tofus com diferentes características. Também foi realizada a separação e quantificação das frações protéicas das cultivares de soja por eletroforese em SDS-PAGE. Foi possível obter tofu a partir de todas as cultivares e a avaliação instrumental da textura mostrou que todos os produtos apresentaram dureza compatível com a classificação comercial de tofu soft. Todas as cultivares produziram tofus com cor clara aceitável, porém foi possível diferenciar cultivares (BRS 216, 232 e 258) que produziram tofus de cor mais branca e desejável para este produto. O conteúdo das frações protéicas dos grãos não permitiu diferenciar as cultivares, uma vez que a variação entre elas foi muito pequena (β -conglucina, de 28 a 32% do total de proteínas; glicina, de 37 a 40%); em relação à fração lipoxigenase, apenas a cultivar BRS 257 não a continha, enquanto as demais variaram entre 5 e 8%. A descrição quantitativa de atributos sensoriais (ADQ) mostrou que os tofus produzidos a partir das diferentes cultivares diferiram em seus atributos de aparência, aroma e textura, mas não em relação ao sabor. No entanto, um teste de consumidor mostrou que não há diferenças de aceitação entre as amostras de tofu das cultivares estudadas.

Palavras-chave: análise sensorial, perfil de textura, cor de tofu, β -conglucina, glicina, lipoxigenase.

INTRODUÇÃO

Diferentes cultivares de soja apresentam características que as tornam mais apropriadas para a produção de diversos derivados alimentícios (óleo, extrato solúvel, tofu, natto, ração animal, etc), por isso existe interesse em identificar e direcionar as cultivares mais adequadas para cada uso específico, visando a comercialização interna bem como a exportação (EVANS et al., 1997).

O tofu é um produto de soja não fermentado, nutritivo, de fácil digestão e baixo custo. Constitui uma importante fonte de proteínas na dieta da população asiática, desde muitos séculos. Sua aceitação na dieta ocidental se deve, em grande parte, à tendência atual de reduzir a ingestão de produtos de origem animal e de gordura saturada (EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997).

Cor, composição, textura e rendimento do tofu podem ser influenciados pela cultivar de soja utilizada como matéria-prima (LIM et al., 1990; MUJOO et al., 2003; MIN et al., 2005). Cultivares de soja consideradas excelentes para a produção de tofu são aquelas capazes de fornecer alto rendimento no processamento e resultar em produtos com sabor agradável, alto teor de proteínas e propriedades de textura adequadas ao tipo produzido (CAI et al., 1997). Segundo Yuan e Chang (2007), a dureza é uma das características mais importantes do tofu, sobre a qual baseia-se a classificação comercial do produto, conforme os termos extra soft, soft, regular e firme. A preferência quanto ao grau de dureza do tofu varia segundo o hábito cultural e o gosto pessoal do consumidor (EVANS et al., 1997; CUI et al., 2004). Além da cultivar e do processamento, outros fatores também contribuem para a textura do tofu. A proteína é o componente bioquímico que mais influencia a textura do tofu, uma vez que, durante o processamento, o extrato de soja é aquecido para causar a dissociação da proteína e um coagulante é adicionado para dar origem à matriz protéica responsável pela textura do produto (POYSA et al., 2006).

A funcionalidade da proteína de soja é parcialmente dependente da proporção entre as frações protéicas majoritárias, glicinina e β -conglucina, que apresentam, respectivamente, coeficientes de sedimentação 11S e 7S. Juntas, representam cerca de 70% do total de proteínas na soja e são responsáveis por várias propriedades físicas, químicas e tecnológicas importantes para aplicações em alimentos (FUKUSHIMA, 2001). A proporção entre glicinina e β -conglucina afeta as características de formação de gel e a textura do tofu. O coágulo obtido a partir da glicinina é significativamente mais firme que o da β -conglucina e a coesividade e elasticidade são ligeiramente mais altas no coágulo com alta proporção de glicinina. A relação que ocorre no grão é a mesma verificada no extrato e no tofu (CUI et al., 2004).

A cor do tofu, que pode variar desde branca até amarela pálida, parece ser influenciada pela cultivar e pelas condições ambientais no cultivo e na estocagem dos grãos. A coloração amarela não é considerada atrativa neste produto, podendo ser associada com seu envelhecimento, uma vez que extrato de soja e tofu tornam-se mais amarelos com o passar do tempo (CUI et al., 2004).

O problema que mais limita a expansão do uso de produtos de soja no Ocidente são os sabores indesejáveis eventualmente presentes, principalmente o *beany flavor*. Quando as lipoxigenases presentes na soja oxidam os ácidos graxos poliinsaturados (PUFA), são gerados compostos carbonílicos voláteis, como aldeídos, cetonas e alcoóis, muitos deles com aroma ou sabor indesejável (ROBINSON, 1995). O *beany flavor* é normalmente aceito em países

tradicionalmente consumidores de soja, porém é considerado indesejável ao paladar ocidental, de modo geral. Carrão-Panizzi et al. (1999) verificaram, em extrato e grãos cozidos de soja, que a presença de beany flavor provocava um mascaramento ou reduzia a percepção de sabor amargo ou adstringência pelos provadores.

No tofu, a ação das lipoxigenases sobre os lipídios é decorrente da maceração a frio a que os grãos são submetidos no início do processamento. A ação da lipoxigenase pode ser evitada pela trituração dos grãos em água à temperatura superior a 70°C, porém isto traz a desvantagem de reduzir a solubilidade da proteína e o rendimento do tofu (CUI et al., 2004).

As características sensoriais de um alimento são importantes para sua aceitação e podem ser avaliadas diretamente pelos sentidos humanos, bem como pela utilização de instrumentos que permitam medir, diferenciar e comparar alguns de seus atributos. Testes sensoriais descritivos envolvem a detecção e a descrição qualitativa e/ou quantitativa de aspectos sensoriais de um produto, por uma equipe de julgadores treinados. Dentre as técnicas de Análise Sensorial Descritiva destaca-se a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), método que usa a estatística para determinar os descritores apropriados, os julgadores capazes de avaliar um determinado produto e para o tratamento dos dados obtidos. Os resultados da ADQ podem ser tratados por meio de análise de variância, teste de comparação de médias e Análise de Componentes Principais - ACP (MEILGAARD et al., 2007; STONE; SIDEL, 1974).

Neste trabalho, oito cultivares de soja brasileiras foram utilizadas como matéria-prima para obtenção de tofu, com o objetivo de identificar a(s) cultivar(es) mais apropriada(s) para este processamento. As características sensoriais do tofu obtido de cada cultivar de soja foram descritas quantitativamente por uma equipe de julgadores treinados e os resultados sensoriais foram relacionadas aos resultados das medidas instrumentais (cor e textura de tofu) e aos obtidos na eletroforese (separação e quantificação de frações protéicas de grãos).

MATERIAL E MÉTODOS

1. Material

Cultivares de soja: BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267 e BRSMG 790A, desenvolvidas no programa de melhoramento genético da Embrapa Soja. As cultivares foram produzidas na safra 2007/2008, em Londrina e Ponta Grossa, com exceção da BRS MG 790A, proveniente do Triângulo Mineiro.

Tofus: produzidos de acordo com procedimento descrito por BENASSI et al. (2011), utilizando sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Wako, Japão) como agente coagulante.

2. Métodos

2.1 Extração, separação e quantificação de frações protéicas dos grãos de soja

A extração das proteínas de grãos das cultivares de soja foi realizada em amostras finamente moídas ($\leq 0,25$ mm); 1 g de amostra foi adicionado de 15 mL de tampão TRIS-HCl 0,2M (pH 8) com β -mercaptoetanol (0,1M), e agitado por uma hora a temperatura ambiente. Seguiu-se centrifugação a 10.000 g, 5°C, por 10 min (centrífuga Eppendorf, modelo 5417R, Alemanha). O conteúdo de proteínas do sobrenadante foi quantificado pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976). Alíquotas do sobrenadante (extrato protéico), contendo 25 μ g de proteína, foram analisadas por eletroforese dissociante em SDS-PAGE, com gradiente de 8 a 16% de concentração de acrilamida em mini-gel (120x80x0,7mm), seguindo-se metodologia citada por Carrão-Panizzi et al. (2008). As frações protéicas foram separadas usando voltagem de 100V, com incrementos de 50V a cada 30 min até completar 2 h. A revelação das bandas protéicas foi feita com solução de corante Coomassie Blue R-250 em metanol e água. Os pesos moleculares das frações foram estimados por comparação com um *pool* de marcadores com pesos moleculares entre 6 e 180 KDa (Bench MarkTM Pre-stained Protein Ladder, Invitrogen). A quantificação das frações protéicas de interesse (lipoxigenases, 7S e 11S) foi feita por meio do software BioNumerics (Applied Mathematics, Bélgica, v. 1.50), usando como *input* uma imagem do gel revelado; a densidade ótica das bandas foi medida e relacionada com as quantidades conhecidas de uma curva padrão de proteína construída com cinco diferentes concentrações (entre 5 e 15 μ g) de inibidor de tripsina (Sigma).

2.2 Determinação de cor dos tofus

A avaliação de cor dos tofus *in natura* foi realizada com colorímetro (Color Reader CR13, Minolta, Japão), sendo as 12 repetições executadas diretamente sobre a superfície dos produtos, após calibração com o padrão branco fornecido. Foram medidos os parâmetros L* (luminosidade), a* (componente verde-vermelho) e b* (componente amarelo-azul). A tonalidade cromática h* foi calculada por: $h^* = \arctan(b^*/a^*)$.

2.3 Análise do Perfil de Textura Instrumental (TPA) dos tofus

O perfil de textura das amostras de tofu foi determinado em texturômetro (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Inglaterra), utilizando sensor cilíndrico de alumínio de 35 mm de diâmetro (P35), para comprimir amostras cilíndricas de tofu (3 cm diâmetro x 2,2 cm altura) até 73% de deformação. As velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram, respectivamente, de 2,0,

2,0 e 4,0 mm/s (ROSSET, 2007). Foram realizadas seis repetições para cada tofu e os resultados foram expressos em Newton (N).

2.4 Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) dos tofus

A análise sensorial foi conduzida após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina (parecer nº 216/07/UEL).

A partir de vinte e um candidatos, 15 julgadores foram selecionados com base no desempenho em testes de reconhecimento de gostos e odores básicos e ordenação de intensidade de dureza. Os descritores/atributos levantados pela equipe, usando Método de Rede, foram: cor amarelada, cor creme, uniformidade de superfície, aroma e sabor de soja, gosto amargo, adstringência, dureza, suculência e textura granulosa. Em consenso, foram elaboradas definições, escolhidas amostras de referência para os extremos da escala de cada descritor (Quadro 1) e definida a ficha de avaliação, cuja escala de intensidade foi a não estruturada de 9 cm, ancorada a 0,5 cm de cada extremidade.

A equipe foi submetida a seis sessões de treinamento, seguindo-se a seleção final de julgadores, onde foram avaliadas, em três repetições, quatro amostras de tofus (A, B, C e D) conforme delineamento de blocos completos. Os dados foram tratados por Anova e Teste F. Os critérios de seleção foram: poder de discriminação (p de $F_{amostra} < 0,5$), repetibilidade (p de $F_{repetição} > 0,05$) e concordância de cada provador com a equipe (por meio da comparação das médias das amostras obtidas para cada provador com as médias da equipe, para cada atributo). Doze julgadores compuseram a equipe final que avaliou as oito amostras de tofu, com três repetições, em 8 sessões.

2.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados:

Os experimentos de cor e textura instrumental foram conduzidos de acordo com delineamento inteiramente casualizado. Para análise sensorial, o delineamento foi de blocos incompletos casualizados, com $t = 8$ ($k=3$ (nº tratamentos por sessão), $r=3$ (nº repetições), $b=8$ (nº sessões) e $\lambda=1$ (nº vezes que dois tratamentos aparecem juntos numa mesma sessão). Os resultados foram tratados por Análise de Componentes Principais, ANOVA, teste F, teste $F_{ajustado}$, teste de comparação de médias de Tukey, análise de correlação de Pearson e teste t. O nível de significância empregado foi de 5%.

RESULTADOS

1. Frações protéicas nos grãos das cultivares de soja

Na Figura 1 estão o perfil de frações protéicas das cultivares de soja (obtido por eletroforese dissociante em SDS-PAGE), as bandas referentes à separação da mistura de padrões de pesos moleculares e as cinco concentrações da curva padrão de inibidor de tripsina. Em contraste com as demais cultivares, na amostra BRS 257 observou-se a ausência da fração protéica com menor mobilidade eletroforética, correspondente às enzimas lipoxigenases. A cultivar BRS 257 era a única livre de enzimas lipoxigenases, cuja ausência foi confirmada pela técnica de eletroforese em gel.

A estimativa dos pesos moleculares e da quantificação das frações protéicas de interesse (lipoxigenases - LOX, 7S e 11S) presentes nas cultivares de soja está apresentada na Tabela 1, onde se observa que a quantidade total de β -conglucina (7S) e glicina (11S) variou de 68 a 72%, e a relação 11S/7S, de 1,2 a 1,4.

2. Determinação de cor dos tofus das cultivares de soja

Os parâmetros de cor medidos nas amostras de tofu estão na Tabela 2. Os tofus mais claros (L^* mais elevado) foram obtidos a partir das cultivares BRS 216, 232 e 258, enquanto a BRS 262 resultou no tofu mais escuro, sendo esta cultivar a única com hilo escuro dentre as demais.

Embora os tofus possam ser, genericamente, designados como produtos de cor branca, de acordo com os valores de h^* , a cultivar BRS 257 resultou no tofu de tonalidade mais amarelada e BRSMG 790A, no tofu menos amarelado e com nuances de vermelho.

3. Análise de Perfil de Textura (TPA) dos tofus das cultivares de soja

Os resultados obtidos no TPA estão na Tabela 3, na qual observa-se que o tofu BRS 216 apresentou a maior dureza (3,8N), enquanto os tofus BRS 262 e 267 foram os menos duros (cerca de 2,3N). Para a gomosidade foi observada a mesma tendência que para a dureza. A elasticidade não variou entre as amostras e, em relação à coesividade, as amostras foram divididas em dois grupos, entre os quais a diferença foi muito pequena. Embora a análise estatística tenha indicado diferenças de fraturabilidade entre os tofus, estas são difíceis de serem visualizadas, uma vez que os valores (em N) foram muito pequenos.

4. Perfil sensorial dos tofus das cultivares de soja

Os valores médios da equipe, obtidos para cada atributo sensorial em cada uma das repetições da avaliação dos tofus das cultivares de soja, foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP), cujas representações dos dados em planos bidimensionais estão na Figura 2. Nas Figuras 2A e 2C estão apresentadas as projeções dos atributos sensoriais sobre o plano fatorial (CP1xCP2 e CP1xCP3). O primeiro componente principal (CP1) explicou 33% da variabilidade total contida nas variáveis originais; o CP2, 23% e o CP3, 14%, totalizando 70% de explicação e atendendo ao critério de Kaiser, que recomenda considerar os componentes principais com autovalores superiores a 1 (LAWLESS; HEYMANN, 2010). A variabilidade explicada pelo CP1 foi devida aos atributos dureza, granulabilidade, suculência, cor amarelada e aroma de soja. Para o CP2, foram importantes os atributos gosto amargo, sabor de soja e adstringência e, para CP3, uniformidade da superfície e cor creme. A correlação entre esses atributos e respectivos componentes foi igual ou superior a 0,60 (em valor absoluto).

Nas Figuras 2B e 2D, estão apresentadas as projeções dos tofus das cultivares de soja estudadas. Cada tofu foi representado por uma letra e os números se referem às repetições da avaliação. Para a maioria das amostras, as repetições ficaram distantes, indicando que não houve boa repetibilidade na avaliação. Uma vez que as capacidades de discriminação e repetibilidade da equipe foram previamente testadas, este problema pode ser atribuído à dificuldade na repetibilidade do processo de obtenção de tofu em laboratório, dificuldade essa que já havia sido relatada por Benassi et al. (2011).

O primeiro componente (CP1) separou os tofus das cultivares BRS 257, 262 e MG 790A (situados mais à esquerda) dos demais tofus, provavelmente porque os primeiros apresentaram maior intensidade de cor amarelada e suculência, enquanto os demais, localizados mais à direita do plano vetorial, tinham maior intensidade de aroma de soja, dureza e granulabilidade (Figuras 2A e 2B).

A CP2 separou os tofus BRS 155 e 267 (na parte superior do gráfico) de BRS 257, 258 e 262 (mais abaixo). Estes últimos devem apresentar maior intensidade dos atributos gosto amargo, sabor de soja e adstringência, ocorrendo o inverso com os primeiros. As amostras BRS 216, 232 e MG 790A posicionaram-se numa região mais central, podendo ser consideradas cultivares com características sensoriais de intensidades intermediárias (Figuras 2A e 2B).

A CP3 separou, acima, as amostras BRS 155, 216, 232, 257 e 258; e abaixo, BRS 262, 267 e MG 790A. Os cinco primeiros tofus possivelmente se caracterizaram por apresentar uniformidade da superfície mais alta, enquanto os últimos tinham em comum a maior intensidade da cor creme (Figuras 2C e 2D).

As intensidades médias dos atributos sensoriais dos tofus estão na Tabela 4. Os tofus não diferiram em relação aos atributos de sabor (sabor de soja, gosto amargo e adstringência). Em termos de aroma de soja, os tofus BRS 262, 155, 258 e 267 apresentaram maior intensidade que o tofu BRS 257. Em relação à cor dos produtos, os julgadores identificaram a amostra BRS 257 como a de cor mais amarelada e a BRSMG 790A, como a de cor creme mais intensa. A uniformidade da superfície foi mais alta no tofu BRS 216, que diferiu apenas do BRS 267. Quanto aos atributos sensoriais de textura, observaram-se dois grupos de tofus, quanto à dureza: BRS 155, 216, 232 e 262, mais firmes, e os demais, mais macios. O tofu BRS 257 era mais suculento que o 216. Os tofus BRS 155 e 267 apresentaram textura mais granulosa que o BRS 262.

O tofu BRS 257 foi o que mais se diferenciou na ACP (Figuras 2B e 2D) e na comparação das médias dos atributos, apresentando os valores mais altos para cor amarelada e suculência e os mais baixos para cor creme e aroma de soja. Dentre as cultivares estudadas, a BRS 257 era a única que não possuía enzimas lipoxigenases (Figura 1) e, por isto, não deveria apresentar *beany flavor*, uma vez que este sabor ocorre em decorrência da oxidação enzimática dos ácidos graxos poliinsaturados presentes nos alimentos à base de soja.

5. Correlações entre os resultados obtidos

Foram calculadas as correlações lineares entre os parâmetros sensoriais, físicos e químicos e os valores significativos ($p \leq 0,05$) estão na Tabela 5.

DISCUSSÃO

1. Frações protéicas nos grãos

A soma dos conteúdos de β -conglucina (7S) e glicina (11S), entre 68 e 72%, está próxima à faixa mais frequentemente citada na literatura, entre 70-80% do total de proteínas do grão (KITAMURA; KAIZUMA, 1981; TSUKADA; 1986; TAKAHASHI et al., 1994; FUKUSHIMA et al., 2001). No entanto, Carrão-Panizzi et al. (2008), analisando 90 cultivares brasileiras, encontraram valores inferiores (entre 45 e 59%) para a soma das duas frações e Mujoo et al. (2003), trabalhando com 7 cultivares americanas, obtiveram resultados entre 30 e 34%.

Quanto ao quociente obtido entre os conteúdos de glicina (11S) e β -conglucina (7S), que variou de 1,2 a 1,4, está de acordo com o reportado por Cui et al. (2004). Estes autores compilaram dados obtidos para cultivares japonesas e americanas em nove diferentes estudos

e os valores encontrados para a relação 11S/7S variaram largamente, desde 0,3 até 4,9. Peng et al. (1984) encontraram relação 11S/7S entre 0,7 e 1,0; Murphy e Resurreccion (1984), entre 2,1 e 3,4; Mujoo et al. (2003), entre 1,6 e 2,1; e Carrão-Panizzi et al. (2008), entre 1,2 e 2,8. A variabilidade encontrada se deve tanto a diferenças genéticas como ambientais (MUJOO et al., 2003).

Considerando que maior concentração de glicinina em relação à β -conglucina favorece as características de formação de gel e a textura do tofu (CUI et al., 2004), as cultivares de soja estudadas neste trabalho mostraram-se adequadas para o uso como matéria-prima para fabricação de tofu.

2. Cor dos tofus

Por serem mais claros, os tofus obtidos a partir das cultivares BRS 258, 232 e 216 (L^* e h^* mais elevados) podem ser considerados os melhores, em termos de cor, uma vez que apresentar a cor mais branca possível é um fator de qualidade para o tofu.

3. Perfil de textura dos tofus

Não foi possível estabelecer comparação entre os resultados de textura do presente trabalho (Tabela 3) e aqueles apresentados por vários autores, uma vez que, em cada estudo, foram utilizadas amostras distintas de tofu e diferentes condições de análise, tanto em termos de método, como de equipamento, o que ocasiona a grande variabilidade de resultados encontrada na literatura. Apenas os resultados de Rosset (2007) podem servir de comparação, devido à similaridade das amostras e das condições de processamento e análise. Rosset (2007) encontrou valores de 4,5 N para dureza, 0,9 para elasticidade e 0,6 para coesividade, ou seja, a dureza foi mais elevada e os dois últimos, similares aos da Tabela 3.

Uma análise de dureza realizada por Benassi et al. (artigo2), com tofus comerciais de diferentes tipos, mostrou que existem no mercado brasileiro produtos em uma faixa relativamente larga, variando desde 3 N até 7 N. Portanto, os produtos avaliados no presente estudo encontram-se em uma faixa de dureza aceita pelos consumidores brasileiros, podendo ser considerados tofus do tipo soft.

A dureza é a característica de textura mais importante para a classificação comercial do tofu e é uma medida frequentemente reportada nos trabalhos sobre a qualidade deste produto (LU, 1980; EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997; CAI et al., 1997; CAI; CHANG, 1998; ABD KARIM et al., 1999; POYSA; WOODROW, 2002; MUJOO et al., 2003; KAO et al., 2003; MIN et al., 2005; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; YUAN; CHANG, 2007).

Já a fraturabilidade é um parâmetro raramente mencionado (EVANS et al., 1997) na literatura sobre tofu. Vários trabalhos reportam valores para o parâmetro mastigabilidade (ABD KARIM et al., 1999; KAO et al., 2003; NOH et al., 2005; PRABHAKARAN et al., 2006; ROSSET, 2007). Porém, Yuan e Chang (2007), baseados em Szczesniak e Bourne (1995), chamaram a atenção para o fato de que a mastigabilidade é própria de alimentos sólidos e não de um produto semi-sólido como o tofu, geralmente melhor descrito pelo parâmetro gomosidade.

4. Perfil sensorial dos tofus das cultivares de soja

A comparação dos tofus por meio das médias dos atributos (Tabela 4) confirmou as semelhanças e diferenças indicadas pela ACP.

Segundo a percepção dos julgadores treinados, os tofus apresentaram atributos sensoriais diferenciados, quali e quantitativamente, para as cultivares de soja. Porém, em teste de aceitação de atributos realizado por Benassi et al. (artigo 2), 71 consumidores avaliaram as mesmas amostras e não foi observada diferença entre os tofus quanto à sua aceitação global, obtendo-se a média de 5,8 em uma escala que variava de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo).

Quanto à utilização de cultivares sem enzimas lipoxigenases, como a BRS 257, é um dos métodos encontrados para solucionar o problema do sabor indesejável na soja (WILSON, 1999; LIU, 1999), especialmente em produtos como o tofu, onde a inativação das enzimas pelo calor poderia prejudicar a formação do gel. No entanto, Evans et al. (1997) fazem referência à uma linhagem derivada da cultivar Century, livre das isoenzimas L2 e L3, que produziu extrato e tofu mais amarelos que qualquer outra cultivar testada por eles (assim como observado em relação à cultivar BRS 257, no presente estudo). Estes pesquisadores ressaltam que a cor é um fator importante em produtos de soja, sendo preferida a cor branca, uma vez que extrato de soja e tofu tornam-se mais amarelos com o passar do tempo, fazendo com que os consumidores habituais desses produtos associem a cor amarela ao envelhecimento. Os mesmos autores alertam aos geneticistas que é necessário eliminar esta característica para poder obter toda a vantagem de uma cultivar sem lipoxigenases, pois cultivares que resultem em produtos mais amarelos podem não ser interessantes para a produção de extrato e tofu.

5. Correlações entre os resultados obtidos

As correlações lineares da Tabela 5 trazem algumas informações adicionais a esta discussão.

A cor amarelada (sensorial) mostrou correlação positiva com b^* (1) e negativa com o aroma de soja (2). Isto pode ser explicado pelo fato de que as cultivares sem lipoxigenase e, conseqüentemente, com menor intensidade de aroma de soja, tendem a ser mais amarelas (EVANS et al., 1997). Contrariamente, os tofus das cultivares com lipoxigenase tendem a apresentar aroma de soja mais intenso, conforme a correlação (3) positiva observada.

O descritor sabor de soja apresentou correlação positiva com o gosto amargo (4). A proximidade entre estes dois vetores, observada na Figura 2A, já sugeria esta correlação. Possivelmente, isto indica que a intensidade de gosto amargo medida no ADQ foi associada, pelos julgadores treinados, à intensidade de sabor de soja.

A uniformidade de superfície do tofu apresentou correlação com o parâmetro de cor h^* (5), significando que a tonalidade do tofu é influenciada pela superfície do mesmo, sendo tanto mais amarelado (h^* mais alto) quanto mais liso e homogêneo for o tofu externamente. A uniformidade de superfície também mostrou correlação positiva com dureza (6) e gomosidade (7), medidas instrumentais de textura do tofu.

Os atributos sensoriais dureza e granulidade apresentaram alta correlação entre si (8), ou seja, as amostras com dureza mais elevada foram as mesmas que, na mastigação, permaneciam na boca por mais tempo antes de serem deglutidas. Nas Figuras 2A e 2C é possível observar a proximidade entre os vetores que representam estes atributos, sugerindo esta correlação positiva.

Os atributos sensoriais de textura e cor do tofu não apresentaram correlação com os respectivos parâmetros medidos instrumentalmente.

Os teores de proteína nos tofus das cultivares foram determinados por Benassi et al. (artigo 2) e mostraram correlação positiva com os parâmetros instrumentais dureza (9) e gomosidade (10). Isto confirma a afirmação de Poysa et al. (2006), de que a proteína é o componente bioquímico de maior influência sobre a textura do tofu.

Dureza e gomosidade apresentaram entre si uma alta correlação (11), o que está de acordo com o mencionado por Yuan e Chang (2007), de que a gomosidade é uma medida adequada para expressar a textura de um produto semi-sólido como o tofu.

Os parâmetros dureza (12) e gomosidade (13) também apresentaram correlação com a fração protéica 7S nos grãos das cultivares, enquanto a fração 11S não mostrou relação linear significativa. Segundo Riblett et al. (2001), a fração 7S possui maior capacidade emulsificante, enquanto 11S é melhor formadora de gel. Seria, portanto, de se esperar que esta

última fração mostrasse um maior impacto sobre os parâmetros de textura, o que não aconteceu neste experimento, contrariamente ao observado por Yagasaki et al. (1997), Evans et al. (1997) e Cui et al. (2004).

Cui et al. (2004) ressaltaram que as subunidades da fração 7S têm distinta capacidade de formação de gel e que, portanto, não apenas a quantidade total de β -conglucina, mas também a variação no teor de suas subunidades, influi nos resultados de textura.

AGRADECIMENTO

A RENAN AUGUSTO RIBEIRO, estagiário do laboratório de Biotecnologia dos Solos da Embrapa Soja, pela colaboração no processamento das imagens obtidas em SDS-PAGE, utilizando o software Bionumerics.

ABSTRACT

Tofu from soybean cultivars: sensory profile and correlation with physical characteristics and chemical composition. Tofu was produced from eight Brazilian soybean cultivars. Color and texture measurements were performed for these products. Tofu sensory characteristics were described by a trained team aiming to identify cultivars that can produce different types of tofu. Separation and quantitation of cultivar protein fractions was performed by electrophoresis in SDS-PAGE. Tofu was obtained from all cultivars and texture evaluation showed that all products presented hardness according to commercial soft tofu classification. All cultivars resulted in tofu with acceptable light color, but it could be noticed some cultivars (BRS 216, 232 and 258) produced tofu of desirable white color. Content of protein fractions did not allow differentiation among cultivars, due to their small variability. Quantitative descriptive analysis (QDA) results showed that tofu produced from cultivars differ in appearance, aroma and texture attributes but not in taste. Although cultivars and tofu could be distinguished in several aspects, a consumer test indicated no differences in acceptance among tofu samples of these cultivars.

Keywords: sensory analysis, texture profile, tofu color, β -conglucinin, glicinin, lipoxigenase.

REFERÊNCIAS

- ABD KARIM A.; SULEBELE G.A.; AZHAR M.E.; PING C.Y. Effect of carrageenan on yield and properties of tofu. **Food Chem**, v. 66, n. 2, p.159-165, 1999.
- BENASSI, V.T.; YAMASHITA, F.; PRUDENCIO, S. H. A statistical approach to define some tofu processing conditions. **Cienc Tecnol Alime**, v. n. , 2011.
- BENASSI, V.T.; BENASSI, M.T.; PRUDENCIO, S. H. Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu e aceitação pelo mercado consumidor. **Semin-Cienc Agrar** (artigo 2).
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal Biochem**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- CAI, T.D., CHANG, K.C., SHIH, M.C., HOU, H.J. , JI, M. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. **Food Res Int**, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.
- CAI, T.D. , CHANG, K.C. Characteristics of production-scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size, mixing time and coagulant concentration. **Food Res Int**, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.
- CARRÃO-PANIZZI, M.C.; BELÉIA, A. D.P.; FERREIRA, S.H.P.; OLIVEIRA, M.C.N.; KITAMURA, K. Effects of isoflavones on beany flavor and astringency of soymilk and cooked whole soybeans grains . **Pesqui Agropecu Bras**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 1045-1052, 1999.
- CARRÃO-PANIZZI M.C.; KWANYUEN, P.; ERHAN, S.Z.; LOPES, I.O.N. Genetic environmental effects on beta-conglycinin and glycinin content in Brazilian soybean cultivars. **Pesqui Agropecu Bras**, v. 43, n. 9, p. 1105-1114, 2008.
- CUI, Z.; JAMES, A.T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R.F.; CARTER Jr., T.E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (Ed.) **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.
- EVANS, D.E., TSUKAMOTO, C., NIELSEN, N.C. A small scale method for the production of soymilk and silken tofu. **Crop Sci**, v. 37, p.1463-1471, 1997.
- FUKUSHIMA, D. Recent progress in research and technology on soybeans. **Food Sci Technol Res**, v. 7, n. 1, p. 8-16, 2001.
- HOU, H.J., CHANG, K.C. , SHIH, M.C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. **J Food Sci**, v. 62, n. 4, p. 824-827, 1997.
- KAO, F.J., SU, N.W. , LEE, M.H. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. **J Agr Food Chem**, v. 51, p. 6211-6216, 2003.
- KITAMURA, K.; KAIZUMA, N. Mutant strains with low level of subunits of 7S globulin in soybean seed. **Jpn J Breed**, v. 31, n. 4, p. 353-359, 1981.
- LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food**. 2nd ed. New York: Springer, 2010.

LIM, B.T., DE MAN, J.M., DE MAN, L. , BUZZEL R.I. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: calcium sulfate coagulant. **J Food Sci**, v. 55, n. 4, p. 1088-1092, 1990.

LIU, K. Current constraints in soybean food utilization and efforts to overcome them. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VI, 1999, Chicago. **Proceedings...** Champaign: Superior Printing, 1999. p. 409-418.

LU, J.Y., CARTER, E.; CHUNG, R.A. Use of calcium salts for soybean curd preparation. **J Food Sci**, v. 45, p. 32-34, 1980.

MEILGAARD, M.C.; CIVILLE, G.V.; CARR, T. **Sensory Evaluation Techniques**. 4th ed. New York: CRC Press, 2007.

MIN, S., YU, Y. , ST. MARTIN, S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. **J Food Sci**, v. 70, n. 1, p. C8-C12, 2005.

MUJOO, R.; TRINH, D.T.; NG P.K.W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. **Food Chem**, v. 82, n. 2, p. 265-273, 2003.

MURPHY, P.A.; RESURRECCION, A.P. Varietal and environmental differences in soybean glycinin and β -conglycinin content. **J Agric Food Chem**, v. 32, n. 4, p. 911-915, 1984.

NOH, E.J.; PARK, S.Y.; PAK, J.I.; HONG, S.T.; YUN, S.E. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans. **Food Chem**, v. 91, p. 715-721, 2005.

PENG, I.C.; QUASS, D.W.; DAYTON, W.R.; ALLEN, C.E. The physicochemical and functional properties of soybean 11S globulin – a Review. **Cereal Chem**, v. 61, n. 6, p. 480-490, 1984

POYSA, V.; WOODROW, L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. **Food Res Int**, v. 35, n. 4, p. 337-345, 2002.

POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. **Food Res Int**, v. 39, n. 3, p. 309-317, 2006.

PRABHAKARAN, M.P., PERERA, C.O. , VALIYAVEETIL, S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chem**, v. 99, n. 3, p. 492-499, 2006.

RIBLETT, A.L.; HERALD, T.J.; SCHMIDT, K.A.; TILLEY, K.A. Characterization of β -conglycinin and glycinin soy protein fractions from four selected soybean genotypes. **J Agr Food Chem**, v. 49, n. 10, p. 4983-4989, 2001.

ROBINSON, D.S.; WU, Z.; DOMONEY, C.; CASEY, R. Lipoxigenases and the quality of foods. **Food Chem**, v. 54, p. 33-43, 1995.

ROSSET, M. **Distribuição de ácido fítico e minerais durante o processamento de extrato hidrossolúvel de soja e tofu**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, 2007.

STONE, H.; SIDEL, J.L. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. **Food Technol**, v. 28, n.11, p.24-34, 1974.

SZCZESNIAK, A.S.; BOURNE, M.C. Letters. **J Food Sci**, v. 60, n.6, p.vii, 1995.

- TAKAHASHI, K.; BANBA, H.; KIKUCHI, A.; ITO, M.; NAKAMURA, S. An induced mutant line lacking the α -subunit of β -conglycinin in soybean. **Breeding Sci**, v. 44, p. 65-66, 1994.
- TSUKADA, Y.; KITAMURA, K.; HARADA, K.; KAIZUMA, N. Genetic analysis of subunits of two major storage proteins (β -conglycinin and glycinin) in soybean seeds. **Jpn J Breed**, v. 36, p. 390-400, 1986.
- WILSON, L.A. Current developments in soyfood processing North America. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VI, 1999, Chicago. **Proceedings...** Champaign: Superior Printing, 1999. p. 394-402.
- YAGASAKI, K.; TAKAGI, T.; SAKAI, M.; KITAMURA, K. Biochemical characterization of soybean protein consisting of different subunits of glycinin. **J Agr Food Chem**, v. 45, n. 3, p. 656-660, 1997.
- YUAN, S.; CHANG, S.K.C. Texture profile of tofu as affected by Instron parameters and sample preparation, and correlations of Instron hardness and springiness with sensory scores. **J Food Sci**, v. 72, n. 2, p. S136- S145, 2007.

Atributo Sensorial	Definição	Referências de intensidade
APARÊNCIA Cor amarelada Cor creme Uniformidade da superfície	Intensidade de cor amarelada no tofu. Intensidade de cor creme no tofu, variando desde fraca até forte. Homogeneidade observada na superfície da amostra.	Fraca: 10 mL de extrato concentrado obtido da cultivar BRS 257 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 500 mL água a 90°C) + 10 mL água + 40 mL leite de vaca. Forte: 60 mL de extrato concentrado obtido da cultivar BRS 257. Fraca: 20 mL de extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 40 mL leite de vaca. Forte: 40 mL de extrato obtido da cultivar BRSMG 790A (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 20 mL de leite fermentado Yakult. Baixa (quando a amostra apresenta rugosidade, furinhos, etc): amostra de tofu comercial firme “da Tereza”. Alta (quando a amostra é totalmente lisa): amostra de tofu comercial extra-soft da Agronippo.
AROMA Aroma de Soja	Aroma característico do grão de soja cozido e de outros produtos de soja frescos não fermentados (extrato, tofu).	Baixa: tofu obtido a partir da cultivar BRS 232. Alta: tofu obtido a partir da cultivar BRSMG 790A.
SABOR Sabor de soja Gosto amargo Adstringência	Sabor característico do grão de soja cozido e de outros produtos de soja frescos não fermentados (extrato, tofu). Gosto associado à solução de cafeína. Sensação de “amarrar” ou “secar” a boca.	Baixo: tofu obtido a partir da cultivar BRS 232. Alto: tofu obtido a partir da cultivar BRSMG 790A. Ausente: água destilada. Intenso: extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 0,05% cafeína. Ausente: água destilada. Intensa: extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 0,15% ácido tânico.
TEXTURA Dureza Suculência Granulosidade	Força necessária para comprimir a amostra entre os dentes molares. Quantidade de líquido liberada da amostra ao ser mastigada. Característica da amostra ao se desfazer na mastigação.	Baixa: amostra de tofu comercial extra soft da Agronippo. Alta: amostra de tofu comercial “da Tereza”. Baixa (amostra seca): amostra de tofu comercial firme “da Tereza”. Alta (amostra úmida): tofu obtido a partir da cultivar BRS 258. Pouca (quando a amostra é cremosa e se “desmancha”, sendo rapidamente engolida) : tofu obtido a partir da cultivar BRS 262. Muita (quando a amostra se desfaz em grânulos, os quais permanecem por mais tempo na boca antes de serem engolidos): amostra de tofu comercial “ firme da Tereza”.

Quadro 1. Atributos, definições e referências utilizados para a avaliação sensorial de tofus de cultivares brasileiras de soja por Análise Descritiva Quantitativa (ADQ)

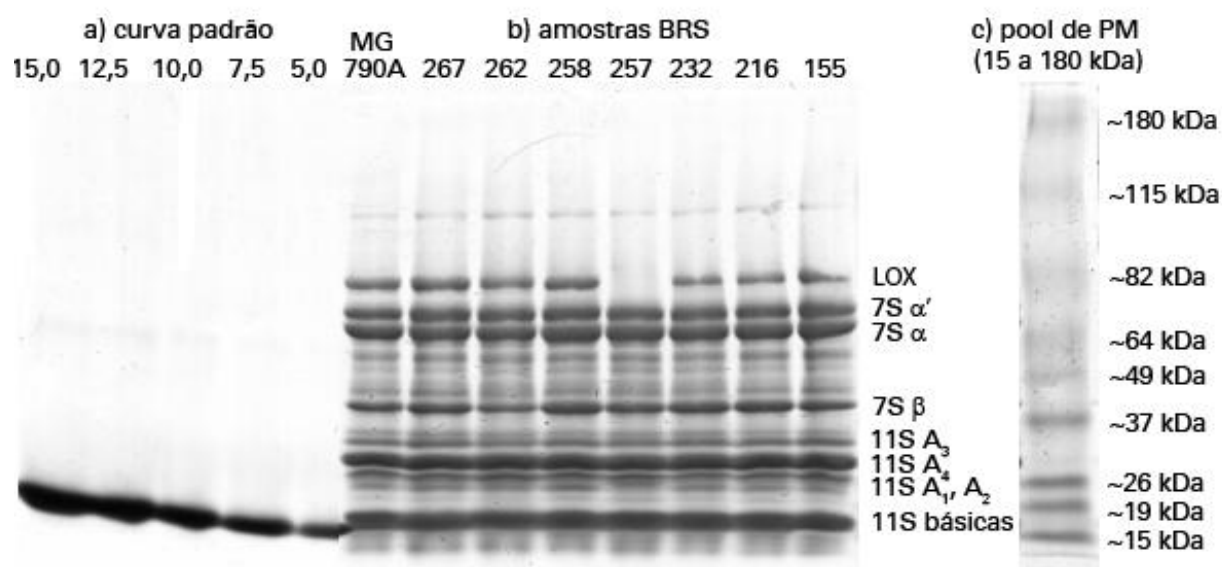


Figura 1. Eletroforese em condições dissociantes e gradiente de 8 a 16% de concentração de acrilamida (SDS-PAGE). a) de 5 a 15 μ g do padrão inibidor de tripsina; b) das frações protéicas das cultivares brasileiras de soja. c) do *pool* de PM (15 a 180KDa).

Tabela 1. Valores estimados (%) das frações protéicas β -conglícinina (7S) e glicínina (11S) em cultivares brasileiras de soja

Cultivar	Lipoxigenases (LOX, 2S)	β -conglícinina (7S)				Glicínina (11S)			7S+11S	11S/7S
		α'	α	β	total	ácidas	básicas	total		
BRS 155	5,2	11,7	12,2	6,5	30,4	20,8	16,4	37,2	67,6	1,2
BRS 216	6,1	11,3	13,4	7,3	32,0	19,6	19,9	39,5	71,5	1,2
BRS 232	5,8	11,8	13,4	6,6	31,8	19,5	20,1	39,6	71,4	1,2
BRS 257	0,0	11,3	15,1	5,7	32,0	19,0	19,3	38,2	70,2	1,2
BRS 258	8,1	11,0	13,6	6,9	31,5	19,0	18,2	37,1	68,6	1,2
BRS 262	7,4	10,8	12,4	4,5	27,7	19,8	18,2	38,1	65,8	1,4
BRS 267	8,0	11,4	11,9	6,2	29,5	19,7	18,4	38,1	67,6	1,3
BRSMG 790A	7,8	10,6	12,9	6,8	30,4	19,5	19,6	39,1	69,4	1,3

Tabela 2. Parâmetros de cor de tofus de cultivares brasileiras de soja no sistema CIE Lab

Cultivares	L*	a*	b*	h*
BRS 155	85,8±0,8 ^b	0,0±0,5 ^c	14,3±0,3 ^c	90
BRS 216	86,6±0,4 ^a	-0,8±0,3 ^f	13,8±0,7 ^c	93
BRS 232	86,5±0,9 ^a	-0,3±0,4 ^{de}	12,6±0,5 ^d	91
BRS 257	85,4±0,5 ^{bc}	-0,5±0,4 ^e	17,7±0,7 ^a	92
BRS 258	86,6±0,8 ^a	-0,3±0,3 ^{de}	11,8±0,7 ^e	91
BRS 262	84,3±0,5 ^e	-0,1±0,3 ^{cd}	12,7±0,6 ^d	90
BRS 267	85,0±0,8 ^{cd}	0,4±0,5 ^b	13,1±0,9 ^d	88
BRS MG 790A	84,7±0,7 ^{de}	0,8±0,6 ^a	16,1±1,5 ^b	87

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$)

L*: 0 = preto, 100 = branco

a*: (+) vermelho, (-) verde

b*: (+) amarelo, (-) azul

h*: 0°= vermelho, 90°= amarelo, 180°= verde, 270°= azul

Tabela 3. Perfil de textura de tofus de cultivares brasileiras de soja

Cultivares	Dureza (N)	Gomosidade (N)	Elasticidade	Coesividade	Fraturabilidade (N)
BRS 155	3,41 ± 0,66 ^{abc}	2,23 ± 0,42 ^{abc}	0,90 ± 0,02 ^a	0,66 ± 0,01 ^a	0,044 ± 0,003 ^a
BRS 216	3,75 ± 0,87 ^a	2,43 ± 0,55 ^a	0,89 ± 0,02 ^a	0,65 ± 0,02 ^{ab}	0,039 ± 0,006 ^{abc}
BRS 232	3,61 ± 0,53 ^{ab}	2,38 ± 0,35 ^{ab}	0,90 ± 0,03 ^a	0,66 ± 0,02 ^a	0,038 ± 0,005 ^c
BRS 257	3,14 ± 0,34 ^{bc}	2,03 ± 0,23 ^{bc}	0,89 ± 0,02 ^a	0,65 ± 0,01 ^{ab}	0,041 ± 0,004 ^{abc}
BRS 258	2,96 ± 0,57 ^{cd}	1,91 ± 0,39 ^{cd}	0,89 ± 0,02 ^a	0,65 ± 0,02 ^{ab}	0,041 ± 0,005 ^{abc}
BRS 262	2,38 ± 0,49 ^e	1,55 ± 0,32 ^e	0,90 ± 0,02 ^a	0,65 ± 0,01 ^a	0,037 ± 0,004 ^c
BRS 267	2,33 ± 0,47 ^e	1,48 ± 0,30 ^e	0,90 ± 0,03 ^a	0,63 ± 0,02 ^{ab}	0,042 ± 0,004 ^{abc}
BRS MG 790A	2,54 ± 0,28 ^{de}	1,64 ± 0,18 ^{de}	0,90 ± 0,02 ^a	0,64 ± 0,01 ^{ab}	0,043 ± 0,005 ^{ab}

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabela 4. Intensidade média de atributos sensoriais de tofus de cultivares brasileiras de soja¹

Amostra	Aparência			Aroma de soja	Sabor			Textura		
	Cor amarelada	Cor creme	Uniformidade da superfície		Sabor de soja	Gosto amargo	Adstringência	Dureza	Suculência	Granulidade
BRS155	1,5±1,9 ^{bc}	2,7±1,9 ^{ab}	4,8±1,7 ^{ab}	4,6±2,2 ^a	3,4±2,3 ^a	1,7±2,1 ^a	2,9±2,2 ^a	3,8±2,2 ^a	4,0±2,2 ^{ab}	4,1±2,2 ^a
BRS216	1,4±1,6 ^c	2,4±1,8 ^{ab}	5,1±1,6 ^a	4,1±2,5 ^{ab}	3,7±2,2 ^a	2,5±2,6 ^a	3,0±2,3 ^a	3,1±2,1 ^{abcd}	3,9±2,2 ^b	3,7±2,3 ^{ab}
BRS232	1,2±1,6 ^c	2,3±1,8 ^{ab}	4,2±1,9 ^{ab}	4,1±2,5 ^{ab}	4,0±2,1 ^a	2,3±2,4 ^a	3,1±2,1 ^a	3,6±1,9 ^{ab}	4,2±1,8 ^{ab}	3,9±1,8 ^{ab}
BRS257	4,1±2,6 ^a	1,6±1,5 ^b	4,2±1,9 ^{ab}	2,6±2,2 ^b	4,2±2,9 ^a	2,5±2,7 ^a	3,1±2,6 ^a	2,2±1,5 ^{cde}	5,5±1,6 ^a	3,1±1,0 ^{ab}
BRS258	0,9±1,1 ^c	2,1±1,8 ^{ab}	4,6±1,7 ^{ab}	4,7±2,2 ^a	3,9±2,1 ^a	2,4±2,5 ^a	3,7±2,6 ^a	2,5±1,9 ^{bcd}	4,4±2,3 ^{ab}	3,4±2,1 ^{ab}
BRS262	1,0±1,3 ^c	2,6±1,8 ^{ab}	4,1±2,1 ^{ab}	4,8±2,2 ^a	3,9±2,2 ^a	2,1±2,4 ^a	3,9±7,2 ^a	2,0±1,5 ^{de}	5,0±2,1 ^{ab}	2,8±1,7 ^b
BRS267	1,2±1,5 ^c	2,9±2,2 ^{ab}	3,5±1,6 ^b	4,3±2,3 ^a	3,5±1,2 ^a	1,9±2,2 ^a	2,9±2,5 ^a	3,2±2,1 ^{abc}	4,7±1,9 ^{ab}	4,0±2,0 ^a
BRSMG 790A	3,1±3,0 ^{ab}	3,4±2,7 ^a	4,0±1,7 ^{ab}	3,4±2,3 ^{ab}	3,8±2,6 ^a	2,1±2,6 ^a	3,0±2,5 ^a	1,7±1,8 ^e	4,5±2,1 ^{ab}	3,0±2,1 ^{ab}

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$)

⁽¹⁾ Escala de intensidade crescente de 9 cm

Tabela 5. Correlações significativas entre os resultados de análises sensoriais, químicas e físicas de tofus de cultivares brasileiras de soja¹

correlação	Parâmetro 1	Categoria	Parâmetro 2	Categoria	Coefficiente de correlação
(1)	cor amarelada	sensorial	b*	instrumental	0,97
(2)	aroma soja	sensorial	cor amarelada	sensorial	-0,95
(3)	aroma soja	sensorial	LOX	comp. química	0,72
(4)	sabor soja	sensorial	gosto amargo	sensorial	0,72
(5)	uniformidade superfície	sensorial	h*	instrumental	0,71
(6)	uniformidade superfície	sensorial	dureza	instrumental	0,77
(7)	uniformidade superfície	sensorial	gomosidade	instrumental	0,77
(8)	dureza	sensorial	granulosidade	sensorial	0,95
(9)	dureza	instrumental	proteínas tofu	comp. química ²	0,75
(10)	gomosidade	instrumental	proteínas tofu	comp. química ²	0,72
(11)	dureza	instrumental	gomosidade	instrumental	0,99
(12)	dureza	instrumental	7S	comp. química	0,77
(13)	gomosidade	instrumental	7S	comp. química	0,75

¹ $p \leq 0,05$

² dados de Benassi et al. (artigo2)

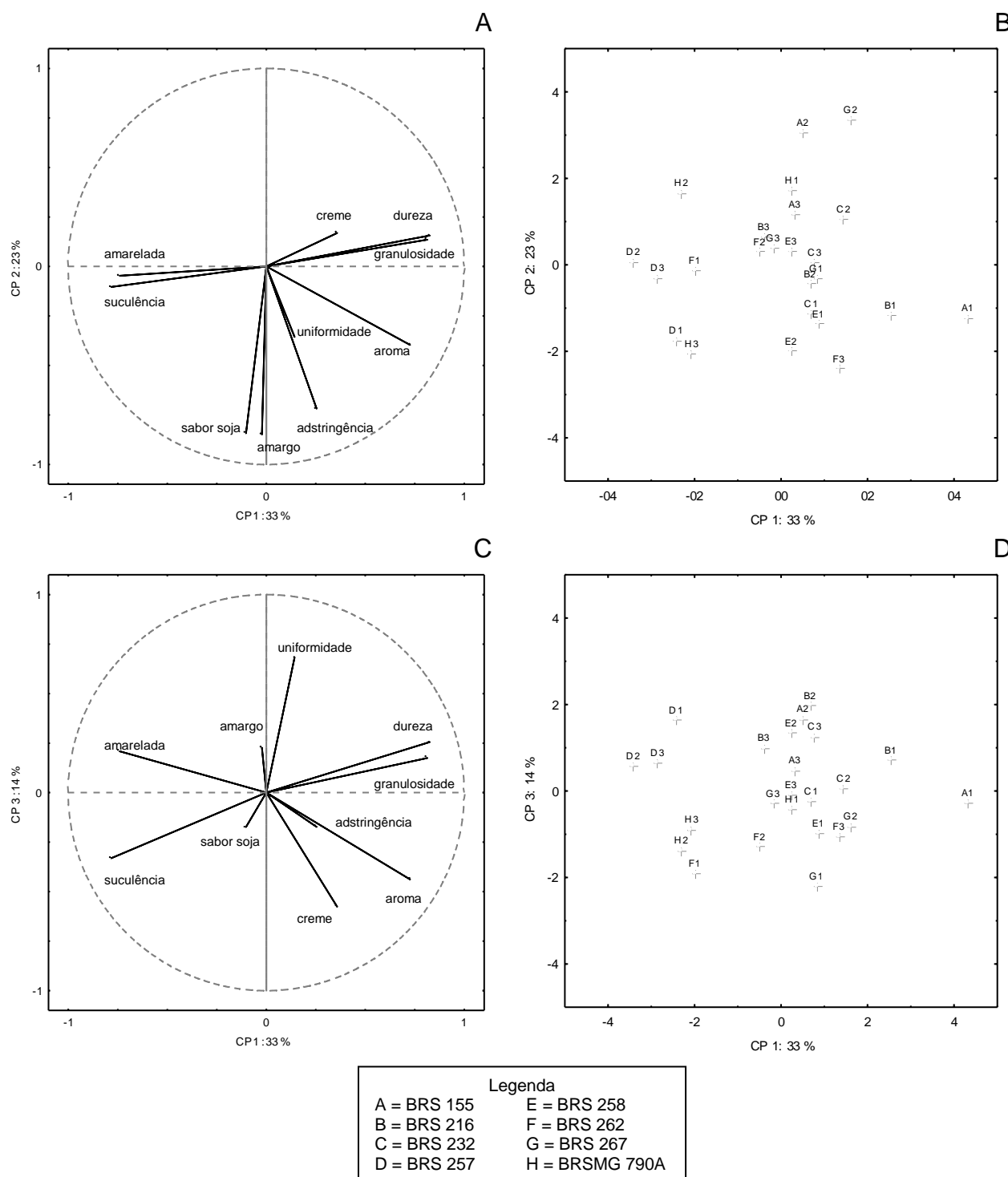


Figura 2. Gráficos obtidos na Análise de Componentes Principais da ADQ de tofus de cultivares brasileiras de soja. A) Projeção dos atributos no plano dos componentes (1x2); B) Projeção dos tofus no plano dos componentes (1x2); C) Projeção dos atributos no plano dos componentes (1x3); D) Projeção dos tofus no plano dos componentes (1x3)

ARTIGO 4

Título: Conteúdo de minerais e de isoflavonas em grãos e tofus de cultivares brasileiras de soja

Autores: Vera de Toledo Benassi; Sandra Helena Prudencio

Status: submetido à revista Alimentos e Nutrição (UNESP)

To: "Vera de Toledo Benassi" <benassi@cnpso.embrapa.br>
Subject: [AN] Agradecimento pela submissão
Date: Fri, 05 Aug 2011 15:21:53 -0300
From: João_Bosco_Faria <fcfarseer@gmail.com>

Vera de Toledo Benassi,

Por favor, verifique se você enviou a Carta de Direitos Autorais junto com sua submissão. O modelo pode ser acessado pelo link
<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/public/carta.doc>

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "Conteúdo de minerais e de isoflavonas em grãos e tofus de cultivares brasileiras de soja" para "Alimentos e Nutrição".

URL do Manuscrito:

<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/author/submission/1906>

Login: verabenassi

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

{Prof. Dr. João Bosco Faria}

{Prof. Dr. Elizeu Antonio Rossi}

{Editores}

Prof. Doutor João Bosco Faria

Diretor / Editor

Alimentos e Nutrição

<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos>
revistas@fcfar.unesp.br

RESUMO

Neste trabalho, oito cultivares de soja brasileiras foram utilizadas como matéria-prima para obtenção de tofu, com o objetivo de verificar retenção ou perda de proteínas, minerais e isoflavonas durante o processamento. O procedimento utilizado na produção de tofu resultou em produtos com cerca de 7g de proteína, 36-45mg de cálcio absorvível e de 16-46mg de isoflavonas totais em cada 100g de produto (base integral). Embora o grão de soja não seja uma fonte de cálcio, independentemente da cultivar utilizada, o tofu obtido pode ser considerado como fonte deste mineral, devido ao uso do sulfato de cálcio como agente coagulante. As cultivares de soja estudadas distinguiram-se pelo teor de isoflavonas, sendo que a cultivar BRS 155 apresentou vantagem sobre as demais, desde o ponto de vista funcional ou de saúde, pois apresentou conteúdo superior de isoflavonas totais e de agliconas, sem que isto ocasionasse problemas de sabor no tofu.

Palavras-chave: agliconas, cálcio, propriedades funcionais, valor nutricional.

INTRODUÇÃO

O tofu é um derivado não fermentado da soja, uma fonte de proteínas na dieta da população asiática há séculos. Nas últimas décadas, tem estado presente na dieta ocidental devido à tendência de redução na ingestão de produtos de origem animal e de gordura saturada (EVANS et al., 1997; HOU et al., 1997).

O tofu consiste em um gel protéico, obtido a partir do extrato de soja. Por isso, a proteína é o componente bioquímico que mais influencia a textura deste produto (POYSA et al., 2004). A desnaturação térmica das proteínas é um pré-requisito para a formação do gel. O aquecimento do extrato de soja provoca o desdobramento das moléculas de proteína e permite a exposição de grupos -SH, S-S e cadeias laterais de aminoácidos hidrofóbicos. A adição de um agente coagulante possibilita que ocorram interações entre as cadeias protéicas, levando à formação de uma matriz com estrutura de rede tridimensional, responsável pelas características de textura do tofu (LIU et al., 2004).

As cultivares de soja podem afetar cor, composição, textura e rendimento do tofu (LIM et al., 1990; MUJOO et al., 2003; MIN et al., 2005). Cultivares de soja consideradas excelentes para a produção de tofu são aquelas capazes de fornecer alto rendimento no processamento e resultar em produtos com sabor agradável, alto teor de proteínas e propriedades de textura adequadas ao tipo produzido (CAI et al., 1997).

Os principais tipos de tofu são o *silken* e o *momen*. *Silken* tofu é formado pela coagulação do extrato de soja na própria embalagem, enquanto o *momen* tofu é obtido pelo corte e prensagem do coágulo protéico em um molde, onde ele é parcialmente drenado. Dependendo da quantidade de soro retirada, o tofu adquire textura mais ou menos firme, porém sempre mais firme que a do *silken* tofu; também sua textura é menos uniforme, uma vez que o coágulo é cortado e reformatado sob pressão (EVANS et al., 1997, CUI et al., 2004). O tofu mais firme, também conhecido como *Chinese style*, apresenta textura suficientemente firme para ser cortado (TSAI et al., 1981). Uma vez que seu processamento inclui uma etapa de dessoragem, compostos hidrossolúveis, nutricionalmente importantes, podem ser perdidos na fração líquida (soro).

Titchenal & Dobbs (2007) classificaram alimentos segundo seu conteúdo de cálcio absorvível. Segundo o critério utilizado por estes autores, para que um alimento seja considerado “fonte de cálcio”, uma porção padrão deste alimento (ou uma porção contendo menos de 100 kcal) deve conter ao menos 30 mg de cálcio absorvível. Assim, de acordo com os autores, tanto os grãos de soja cozidos, como o extrato de soja e os tofus do tipo *silken* não preencheram este critério; já os tofus do tipo *momen* obtidos com os coagulantes cloreto ou sulfato de cálcio, independentemente de sua textura (macia, regular ou firme), foram considerados boas fontes de cálcio.

As isoflavonas são um grupo de compostos fenólicos que ocorrem nos grãos de soja, em 12 diferentes formas: três agliconas (daidzeína, genisteína e gliciteína), três formas glicosídicas (daidzina, genistina e glicitina) e as seis respectivas formas conjugadas acetil- ou malonil-glicosídicas. A distribuição entre estas formas variam conforme o produto. Barbosa et al. (2006), citando Coward et al. (1998), descrevem os efeitos do processamento e a interconversão das diferentes formas de isoflavonas: na matéria-prima (grãos), predominam os malonil- β -glicosídeos, os quais são instáveis e podem ser degradados a acetil- β -glicosídeos por calor seco (tostagem ou extrusão), ou diretamente a β -glicosídeos e agliconas, pela ação de calor e enzimas (β -glicosidases), respectivamente. Da Silva (2009) também verificou que o cozimento em água de grãos de diferentes cultivares de soja, propiciou a diminuição dos malonil-glicosídeos e o aumento dos β -glicosídeos e agliconas.

As formas agliconas são mais facilmente assimiláveis pelo organismo que as glicosídicas, que requerem uma hidrólise inicial do açúcar pelas enzimas β -glicosidases intestinais antes de serem absorvidas e passarem à circulação sanguínea (SETCHELL et al., 2002, citado por HARON et al., 2009). A estes compostos têm sido atribuídos vários benefícios à saúde,

especialmente às agliconas, cujas propriedades antioxidantes podem proteger as células dos radicais livres que causam o envelhecimento e resultam em várias doenças crônicas e degenerativas; além disso, apresentam efeito sobre a proliferação, crescimento e maturação de células e, como fitoestrógenos que são, as isoflavonas podem exercer papel agonista ou antagonista ao estrogênio humano, possibilitando uma possível atuação sobre sintomas da menopausa, a osteoporose e tipos de câncer dependentes de hormônios (JACKSON et al., 2002; BROUNS, 2002).

Embora estudadas há quase 20 anos, quando despertaram a atenção sobre a soja como alimento funcional, a comprovação dos efeitos das isoflavonas e a elucidação de seus mecanismos de atuação ainda demandam mais estudos (MESSINA et al., 2009); os mesmos autores citam, além das isoflavonas, outros compostos de interesse na soja que permanecem sendo investigados, como é o caso das proteínas de soja e seus possíveis efeitos protetores contra doenças cardiovasculares.

Os alimentos à base de soja, dependendo do processamento e da cultivar utilizada, podem apresentar características de sabor indesejáveis, que limitam sua aceitação. As isoflavonas e saponinas são compostos que podem trazer gosto amargo a produtos de soja, assim como sensação oral de adstringência e/ou gredosidade (FUKUSHIMA, 2001). No entanto, Da Silva et al, (2009) não observaram, em grãos cozidos de soja, correlação significativa entre o conteúdo de isoflavonas e os atributos sensoriais amargor e adstringência; provavelmente, as condições de processo utilizadas não tenham favorecido a formação de agliconas em quantidade suficiente para a percepção sensorial dessas sensações.

Em alguns segmentos de mercado, onde os consumidores estão atentos às possíveis propriedades funcionais destes compostos, eventuais efeitos negativos sobre o sabor podem ser ignorados (CUI et al., 2004).

Neste trabalho, oito cultivares de soja brasileiras foram utilizadas como matéria-prima para obtenção de tofu em escala de laboratório. Foram comparados os conteúdos de proteínas, minerais e isoflavonas nos grãos e nos tofus, com o objetivo de verificar o efeito do processamento sobre esses componentes.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Material

Cultivares de soja: BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267 e BRSMG 790A, desenvolvidas no programa de melhoramento genético da Embrapa Soja.

Cultivares foram produzidas na safra 2007/2008, em Londrina e Ponta Grossa, com exceção da BRS MG 790A, proveniente do Triângulo Mineiro.

Tofus: produzidos de acordo com procedimento descrito por Benassi et al. (2011- artigo 1), utilizando sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Wako, Japão) como agente coagulante.

2. Métodos

2.1 Composição mineral de grãos e tofu

Amostras moídas de grãos e tofu foram incineradas em mufla (EDG Equipments, mod. FI-1s) a 550°C por 3h. Os teores de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado – ICP-OES (Perkin Elmer, mod. Optima 3300 DV, USA).

2.2 Determinação de isoflavonas em grãos e tofu

O perfil e o teor de isoflavonas foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), utilizando equipamento da marca Waters (EUA), com bomba mod. W600, injetor W717 e detector PDA mod. W996. A metodologia de análise foi baseada em Berhow (2002) e Carrão-Panizzi et al. (2002). Amostras de 100mg de material moído (grãos e tofu), previamente desengorduradas com N-hexano, foram colocadas em tubos para extração das isoflavonas; foram adicionados 4 mL etanol 70% acidificado (HAc) e realizada agitação em vórtex a cada 15 min, durante 1h, seguindo-se ultrassonificação por 30 min. Foram transferidos 1,5 mL do sobrenadante para eppendorfs e centrifugados a 21.000 G durante 15 min a 4°C . As alíquotas foram filtradas em membrana de $0,45\ \mu\text{m}$ e transferidas para os tubos de injeção do equipamento. Foram injetados 20 μL de cada amostra, sob fluxo de arraste de 1,0 mL/min. A fase móvel foi constituída por um gradiente de metanol e água acidificados, que variou linearmente desde a proporção 20:80 até 90:10 (metanol/água) em 35 min. Foi utilizada coluna C18 (YMC, EUA) de $250\text{mm} \times 4,6\text{mm} \times 5\ \mu\text{m}$. Para identificação dos picos, foram determinados os tempos de retenção de padrões (Sigma) das 12 formas de isoflavonas isoflavonas, solubilizados em metanol (grau HPLC). O limite de detecção ($\text{LD}=0,5\ \text{ppm}$) e o limite de quantificação ($\text{LQ}=1,5\ \text{ppm}$) do equipamento foram determinados com os padrões de daidzeína e genisteína. A quantificação dos 12 isômeros se deu por padronização externa (área dos picos), utilizando como referência as curvas padrão construídas para cada isômero. Os teores de isoflavonas foram expressos em mg/100g de amostra em base seca.

2.3 Delineamento experimental e análise estatística dos dados:

O experimento foi conduzido de acordo com delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. Os resultados foram tratados por ANOVA, teste de Tukey e Correlação linear de Pearson (5%).

RESULTADOS

1. Conteúdo de minerais

A composição mineral (conteúdos de Ca, K, MG, P, S, Cu, Fe, Mn e Zn) dos grãos e tofus das cultivares brasileiras de soja está na Tabela 1. A variabilidade encontrada nos grãos se deve ao fato de que o conteúdo de minerais é influenciado pela cultivar e também pelas condições de solo e outros tratos culturais, além de eventuais diferenças entre metodologias de análise empregadas.

O conteúdo dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn praticamente não difere entre as cultivares, seja nos grãos como nos tofus; os baixos teores presentes possivelmente dificultam e aumentam a probabilidade de erros na determinação. Nos tofus, os teores de Ca, K e P também são iguais para todas as cultivares. Quanto ao cálcio, como a quantidade introduzida no processo (3g) por meio do coagulante CaSO_4 foi pelo menos dez vezes superior à existente nos grãos, era de se esperar que todos os tofus apresentassem um conteúdo similar. Expresso em termos do produto *in natura*, o teor total de cálcio nos tofus variou de 116 a 145 g/100g de matéria integral.

2. Conteúdo de isoflavonas

Na Tabela 2, está o conteúdo de cada um dos tipos de isoflavonas presentes nos grãos e tofus das cultivares brasileiras de soja. Notou-se uma alta variabilidade entre os teores nos grãos e nos tofus, tanto para cada uma das formas como para as isoflavonas totais.

O total de isoflavonas nos grãos foi diferente para cada cultivar de soja. Quanto aos tofus, os pares BRS 216/BRS 262 e BRS 258/BRSMG 790A apresentaram teor igual de isoflavonas; os demais tofus foram diferentes entre si.

Considerando-se a umidade das matérias-primas e produtos, o teor de isoflavonas em grãos variou de 136 a 370mg/100g matéria integral e, nos tofus, de 16 a 46mg/100g matéria integral.

DISCUSSÃO

1. Conteúdo de minerais

De modo geral, os grãos e tofus das cultivares analisadas no presente trabalho mostraram conteúdo de minerais (Tabela 1) compreendidos entre o mínimo e o máximo apresentados na literatura, porém o teor de K, tanto nos grãos como nos tofus, foi inferior aos dados publicados (TSAI et al., 1981; LIM et al., 1990; SUN & BREENE, 1991; SHEN et al., 1991; CAI et al., 1997; CAI & CHANG, 1998; ROSSET, 2007; DA SILVA et al., 2009).

Nos trabalhos citados, encontraram-se dados para os macronutrientes (Ca, Mg, P e K) nos grãos, com valores (expressos em base seca) variando entre 160 e 410 mg/100g para Ca; 190-330 mg/100g para Mg; 360-770 mg/100g para P e 1910-2040 mg/100g para K. Para o tofu, foram encontradas as seguintes faixas: Ca entre 1070 e 1870 mg/100g; Mg, 150-490 mg/100g; P, 590-1100 mg/100g e 1810 mg/100g para K. A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TABELA, 2006) apresenta teores de minerais na soja dentro das faixas citadas dos trabalhos internacionais, porém os valores tabelados para o tofu são inferiores.

2. Conteúdo de isoflavonas

Na literatura internacional, foi verificada alta variabilidade no teor de isoflavonas, dificultando a comparação entre os valores que, além do mais, referem-se a matérias-primas e metodologias de determinação diferentes, ambos expressos em termos de matéria seca.

Kao et al. (2004) reportaram, para uma cultivar de soja chinesa, um total de isoflavonas elevado de 681 mg/100g enquanto Jackson et al. (2002) obtiveram 133 mg/100g em uma cultivar canadense. Ciabotti (2006), Da Silva et al. (2009) e Benedeti (2010) analisaram grãos de cultivares brasileiras; os dois primeiros autores encontraram um total de isoflavonas ao redor de 200mg/100g, enquanto o último, quase 300 mg/100g, o valor mais aproximado à média verificada no presente estudo (Tabela 2). A metodologia de análise utilizada foi a mesma e algumas das cultivares são comuns a este estudo, no entanto os materiais foram obtidos em safras diferentes e sob condições distintas, tanto de plantio como de pós-colheita e armazenamento, o que pode ter influência tanto no total de isoflavonas como nas formas em que elas se apresentavam.

Prabhakaran et al. (2006) determinaram o total de isoflavonas em tofus elaborados com ácido acético e diversos sais coagulantes e encontraram valores variando entre 128 e 142 mg/100g de matéria seca. Jackson et al. (2002), em tofu coagulado com glucono-delta-lactona (GDL), encontraram 455mg isoflavonas/100g de matéria seca. Haron et al. (2009), em trabalho

realizado com produtos comerciais da Malásia, encontraram aproximadamente a mesma quantidade de agliconas (daidzeína e genisteína) em tofus *soft* e firme, entre 41 e 43 mg/100g matéria integral; o tofu *soft*, continha maior proporção de daidzeína (cerca de 60%) que o tofu firme (50%), porém não foram fornecidas informações sobre seu processamento que possibilitassem entender as razões desta diferença.

Lajolo e Genovese (2002), analisando isoflavonas em alimentos de soja no Brasil, encontraram em tofu silken coagulado com CaSO₄, um total de 7mg/100g de tofu in natura (87,8% de umidade) ou 57mg/100g de matéria seca; estes autores relatam também que o perfil de isoflavonas se caracterizou pela predominância de β -glicosídeos (49%) e malonil-glicosídeos (38%), seguido pelas agliconas (10%).

Quanto à interconversão entre as formas, foi observado no presente trabalho que o percentual de cada uma das formas sofreu alteração durante o processamento. Nos grãos, predominaram as formas malonil, as quais diminuíram no tofu; por ação do calor, uma parte muito pequena converteu-se em acetil-daidzina e parte mais significativa passou às formas não esterificadas (glicosídeos). Em relação ao total de isoflavonas, o percentual médio de agliconas aumentou de 3% nos grãos para 14% no tofu, pela hidrólise enzimática dos glicosídeos ocorrida no processamento (etapas de trituração e aquecimento).

3. Retenção de compostos de interesse no tofu

A etapa inicial de processamento de tofu, seja qual for o tipo, inclui a maceração dos grãos de soja em água, a qual é posteriormente descartada. No processamento de tofu *Chinese style* (de cortar) a etapa final é a prensagem, onde ocorre o descarte do soro. Estas duas etapas caracterizam-se pela lixiviação de componentes solúveis na fase aquosa. Além disso, ocorre durante a produção do extrato de soja uma etapa de filtração, onde se separa a parte líquida (extrato) do resíduo sólido (*okara*); nesta etapa, componentes podem ficar retidos no resíduo, deixando de participar do restante do processamento. Todas estas perdas refletem negativamente sobre as características nutricionais e/ou funcionais do tofu e, por isso, existe o interesse em quantificar os compostos no produto final, relativamente ao existente no início do processo.

Na Tabela 3 estão a quantidade inicial de grãos e a quantidade de tofu obtido para cada cultivar, bem como as quantidades de proteína, minerais e isoflavonas presentes nos grãos e nos tofus. O conteúdo de quase todos os componentes diminuiu durante o processamento, com exceção do cálcio e das agliconas (Tabela 4).

3.1 Proteína

Para as mesmas cultivares e procedimentos de manufatura, Benassi et al. (2011 - artigo 2) obtiveram tofu com teor médio de proteínas de aproximadamente 7g /100g de produto (base integral). A quantidade de proteínas que se mantém no tofu é cerca de 55% da existente inicialmente nos grãos (Tabela 4). Não foi observada correlação significativa (dado não apresentado) entre as quantidades de proteína nos grãos e nos tofus. Portanto, a escolha de uma cultivar com maior conteúdo protéico para o processamento não resulta, necessariamente, em uma maior quantidade de proteínas ingerida pelo consumidor no tofu obtido.

3.2 Minerais

Os minerais diminuíram durante o processamento, com exceção do cálcio, o qual sofreu um crescimento (em média, 186%), devido à adição do agente coagulante sulfato de cálcio (Tabela 4).

O principal intuito em utilizar este coagulante foi justamente produzir um aumento no teor de cálcio do produto, considerado importante se o tofu vier a ser consumido em substituição ao queijo obtido do leite de vaca, mais especificamente o frescal. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TABELA, 2006), o queijo frescal contém cerca de 579 mg/100g de matéria integral (umidade = 56%), enquanto a quantidade média de Ca no tofu é de 81mg/100g de matéria integral (umidade = 86,6%). Recalculando estes valores em termos de matéria seca e considerando uma porção igual para os dois produtos, isto representaria uma ingestão de Ca de 6,04mg/g tofu e de 13,16mg/g queijo. Ou seja, o consumidor de tofu teria menor ingestão de cálcio (cerca de 2,2 vezes menor, relativamente ao conteúdo total de Ca no alimento, em base seca) do que o consumidor de queijo frescal.

O estudo de Titchenal & Dobbs (2007) traz informações muito relevantes sobre o assunto, uma vez que apresenta a fração do Ca que está disponível para absorção em vários alimentos. De acordo com o critério adotado para classificação dos alimentos, estes autores consideraram os grãos de soja cozidos e tofu do tipo *silken* (coagulado com GDL) como fontes pobres; o tofu elaborado com sulfato de cálcio foi considerado uma boa fonte, com 135mg Ca absorvível por porção, mostrando que a produção de tofu com sulfato de cálcio propicia elevar a quantidade de cálcio ingerido e efetivamente absorvido pelo organismo.

Utilizando os padrões de Titchenal & Dobbs (2007), onde 126g foi considerada uma porção padrão de tofu e 31% a porcentagem do cálcio ingerido que é tipicamente absorvida naquele alimento, os tofus obtidos neste trabalho totalizariam cerca de 36 a 45mg de cálcio absorvível

por porção, o que permite classificar estes produtos como fontes de cálcio (≥ 30 mg Ca absorvível por porção), segundo os autores citados.

A Tabela 5 contém a quantidade de minerais (por cultivar e a média) fornecida em uma porção de 126g de tofu, os RDAs (Recommended Dietary Allowances) para cada mineral (ROSS et al., 2011) e quanto do requerimento diário seria atendido pelo consumo diário de uma porção de tofu. Observa-se que o atendimento às necessidades diárias varia desde 0,2% para o potássio, com 16% para o cálcio, até mais de 30% para o manganês.

Quanto às quantidades de minerais existentes antes e depois do processamento, não houve correlação linear entre elas (dados não apresentados), ou seja, a quantidade de minerais no tofu não dependeu da quantidade inicialmente contida nos grãos.

3.3 Isoflavonas

No presente experimento, as agliconas apresentaram tendência a aumentar durante o processamento (em média, 164%), enquanto as formas glicosídicas e as isoflavonas totais diminuíram para cerca de 30% da quantidade existente nos grãos (Tabela 4). No tofu, foi possível quantificar pequenas quantidades de acetil-daizina, enquanto nos grãos as formas acetil apareceram apenas como traços.

Além da interconversão das formas, houve também perdas durante o processamento. Estas perdas possivelmente ocorreram na etapa de maceração dos grãos, na separação entre extrato e okara (resíduo) e/ou na prensagem do coágulo protéico, pela liberação do soro.

Kao et al. (2004) comprovaram que, após a maceração, a concentração das formas glicosídicas nos grãos havia diminuído e a das formas agliconas aumentado, tanto mais quanto mais longo o processo e mais elevada a temperatura da água. Prabhakaran et al. (2006), trabalhando com sete diferentes sais coagulantes, encontraram no soro liberado pela prensagem cerca de 10mg isoflavonas/100g; estes autores observaram também que o aumento na concentração de coagulante causava diminuição do rendimento em tofu. Esta correlação negativa entre rendimento e quantidade de coagulante também foi observada por Sun & Breene (1991), que atribuíram-na a um aumento na sinérese e perda de soro do coágulo, uma vez que a maior concentração de íons cálcio intensifica as interações proteína-proteína pela formação de maior quantidade de pontes salinas, tornando a matriz mais densa e compacta. Quanto maior o volume de soro liberado, maior a perda de isoflavonas, como comprovado por Prabhakaran et al. (2006).

Wang & Murphy (1996, *apud* LIU, 1999) monitoraram os isômeros individualmente e as isoflavonas totais em produtos de soja, durante cada etapa de processamento de alguns

derivados da soja; no tofu, a etapa que causou maior perda de isoflavonas foi a de coagulação, por descarte do soro. A observação de que a separação de extrato e okara não causou perda significativa de isoflavonas, sugere que estas estão mais associadas com as proteínas solúveis, que com os carboidratos insolúveis.

Jackson et al. (2002) quantificaram isoflavonas nos materiais intermediários, em várias etapas do processamento, e observaram que, do total de isoflavonas existente nos grãos, 36% foram retidas no tofu, enquanto 4% foram perdidas na água de maceração, 31% na okara (durante a filtração) e 18% no soro (durante a prensagem). Ciabotti (2006) obteve no tofu uma retenção de 62% das isoflavonas existentes nos grãos; no entanto, este valor elevado se deve ao fato do cálculo ter sido feito na base seca, que não reflete a grande diferença de umidade existente entre grãos e tofus.

No presente estudo foram encontrados nos tofus das diferentes cultivares, conteúdo total de isoflavonas variando de 15 a 46 mg por 100g de tofu, com uma recuperação média de isoflavonas no processo de 33%, bastante próxima aos resultados obtidos por Jackson et al. (2002). A perda de isoflavonas desde o grão até o tofu, possivelmente ocorreu na etapa de maceração (onde parte das isoflavonas deve ter se solubilizado, sendo descartada junto com a água ao final do processo) e a prensagem do coágulo protéico deve ter ocasionado perdas adicionais de isoflavonas no descarte do soro. Por outro lado, a etapa de aquecimento do extrato de soja não acarretou perdas, mas favoreceu a conversão das formas glicosídicas em agliconas, conforme mostram os resultados da Tabela 2.

As correlações entre as quantidades de isoflavonas nos grãos e nos tofus foram sempre altas, positivas e significativas ($p \leq 0,85$) ($r \geq 0,85$ para as agliconas, $r \geq 0,94$ para os glicosídeos e $r \geq 0,97$ para as isoflavonas totais), o que indica que, quanto maior o conteúdo de isoflavonas tiver uma cultivar, mais isoflavonas haverá também no tofu produzido a partir dela, com a vantagem adicional de que, no tofu, ocorre um aumento na quantidade de agliconas.

Embora a literatura faça menção ao gosto amargo das isoflavonas, não foi encontrada correlação entre o conteúdo de isoflavonas e os resultados sensoriais de sabor dos tofus, que foram relatados por Benassi et al. (2011 - artigo 3). Isto confirma os resultados obtidos por Da Silva (2009), que também não observou correlação entre o conteúdo de isoflavonas e os atributos amargor e adstringência em grãos cozidos de soja.

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador Adilson de Oliveira Jr., da área de Fertilidade de Solos da Embrapa Soja, por ter possibilitado a análise dos minerais nas amostras de grãos e tofu.

A Rodrigo dos Santos Leite, Analista do Lab. de Análises Físico-Químicas e Cromatográficas da Embrapa Soja, pela inestimável ajuda na quantificação de isoflavonas.

ABSTRACT

In this investigation, eight Brazilian soybean cultivars were utilized to make tofu, aiming to verify protein, minerals and isoflavones retention or loss during tofu production. The procedure followed in tofu preparation resulted in products with almost 7g of protein, 36-45 mg of absorbable calcium and 23-46 mg of isoflavones per 100 g of product (as is). In spite of soybeans being not a source of calcium, independently of the cultivar selected, the tofu produced can be considered a source of this mineral, because calcium sulfate is the coagulant agent in the production process. In respect to isoflavones content, soybean cultivars were different and BRS 155 is the best one, from a functional or health perspective, because it presented the greatest content in total isoflavones and aglycones, without deleterious effects on tofu taste.

Palavras-chave: aglycones, calcium, functional properties, nutritional value.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A.C.L.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I. Influence of temperature, pH and ionic strength on the production of isoflavone-rich soy protein isolates. **Food Chem**, v. 98, p. 757-766, 2006.

BENASSI, V.T.; YAMASHITA, F.; PRUDENCIO, S. H. A statistical approach to define some tofu processing conditions. **Cienc Tecnol Alime** (aceito).

BENASSI, V.T.; BENASSI, M.T.; PRUDENCIO, S. H. Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu e aceitação pelo mercado consumidor. **Semin - Cienc Agrar** (aceito).

BENASSI, V.T.; VARÉA, G. S.; PRUDENCIO, S. H. Tofus de diferentes cultivares de soja: perfil sensorial e correlação com medidas instrumentais e de composição química (submetido à Revista alimentos e Nutrição).

BENEDETI, S. **Efeito do tratamento térmico em isoflavonas concentradas por nanofiltração**. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2010.

BERHOW, M. A. Modern analytical techniques for flavonoid determination. In: BUSLIG, B. S.; MANTHEY, J. A. (Ed.). **Flavonoids in the living cell**. New York: Kluser Academic, 2002. p.61-76.

- BROUNS, F. Soya isoflavones: a new and promising ingredient for the health foods sector. **Food Res Int**, v. 35, p. 187-193, 2002.
- CAI, T.D.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C.; HOU, H.J.; JI, M. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. **Food Res Int**, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.
- CAI, T.D.; CHANG, K.C. Characteristics of production-scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size, mixing time and coagulant concentration. **Food Res Int**, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.
- CARRÃO-PANIZZII, M.C.; FAVONI, S.P.G.; KIKUCHI, A. Extraction time for isoflavone determination. **Braz Arch Biol Techn**, v.45, n.4, p.515-518, 2002.
- CIABOTTI, S.; BARCELLOS, M. DE F.P.; MANDARINO, J.M.G.; TARONE, A.G. Avaliações químicas e bioquímicas dos grãos, extratos e tofus de soja comum e de soja livre de lipoxigenase. **Cienc Agrotec**, 30, 920-929. (2006).
- CUI, Z.; JAMES, A.T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R.F.; CARTER Jr., T.E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (ed.) **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.
- DA SILVA, J.B.; CARRÃO-PANIZZII, M.C.; PRUDENCIO, S.H. Chemical and physical composition of grain-type and food-type soybean for food processing. **Pesqui Agropecu Bras**, 44 (7), p.777-784. (2009).
- DA SILVA, J.B. Características de cultivares de soja convencionais e para consumo humano: análises físicas, químicas e sensoriais (sentidos humanos e sensores eletrônicos). 2009. 187 f. **Tese** (Doutorado em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, 2009.
- EVANS, D.E.; TSUKAMOTO, C.; NIELSEN, N.C. A small scale method for the production of soymilk and silken tofu. **Crop Sci**, v. 37, n. , p. 1463-1471, 1997.
- FUKUSHIMA, D. Recent progress in research and technology on soybeans. **Food Sci Technol Res**, v. 7, n. 1, p. 8-16, 2001.
- HARON, H.; ISMAIL, A.; AZLAN, A.; SHAHAR, S.; PENG, L.S. Daidzein and genistein contents in tempeh and selected soy products. **Food Chem** (2009). Article in press.
- HOU, H.J.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. **J Food Sci**, v. 62, n. 4, p. 824-827, 1997.
- JACKSON, C.-J.C.; DINI, J.P.; LAVANDIER, C.; RUPASINGHE, H.P.V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; De GRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochem**, v. 37, p. 1117-1123, 2002.
- KAO, T.H.; LU, Y.F.; HSIEH, H.C.; CHEN, B.H. Stability of isoflavone glucosides during processing of soymilk and tofu. **Food Res Int**, v. 37, p. 891-900, 2004.
- LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Isoflavones in soy based foods consumed in Brazil: levels, distribution and estimated intake. **J Agric Food Chem**, v. 50, p. 5987 – 5993, 2002.
- LIM, B.T.; DE MAN, J.M.; DE MAN, L.; BUZZEL R.I. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: calcium sulfate coagulant. **J Food Sci**, v. 55, n. 4, p. 1088-1092, 1990.

- LIU, Z.S.; CHANG, S.K.C.; LI, L.T.; TATSUMI, E. Effect of selective thermal denaturation of soybean proteins on soymilk viscosity and tofu's physical properties. **Food Res Int**, v. 37, n. 8, p. 815-822, 2004.
- MESSINA, M.; WATANABE, S.; SETCHELL, K.D.R. Report on the 8th International Symposium on the Role of Soy in Health Promotion and Chronic Disease Prevention and Treatment. **J Nutr**, v. 139, p. 796S-802S, 2009.
- MIN, S.; YU, Y.; ST. MARTIN, S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. **J Food Sci**, v. 70, n. 1; p. C8-C12, 2005.
- MUJOO, R.; TRINH, D.T.; NG P.K.W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. **Food Chem**, v. 82, n. 2, p. 265-273, 2003.
- POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. In: INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING UTILIZATION CONFERENCE, IV, 2004, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.68.
- PRABHAKARAN, M.P.; PERERA, C.O.; VALIYAVEETIL, S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chem**, v. 99, n. 3, p. 492-499, 2006.
- ROSS, A.C.; TAYLOR, C.L.; YAKTINE, A.L.; DEL VALLE, H.B. (Eds.) **DRI Dietary Reference Intakes: Calcium, Vitamin D**. Washington: The National Academies, 2011. p. 1108-1109. Disponível em: <http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13050&page=1103>. Acesso em: 20 jul 2011.
- ROSSET, M. **Distribuição de ácido fítico e minerais durante o processamento de extrato hidrossolúvel de soja e tofu**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, 2007.
- SHEN, C.F.; DE MAN, L.; BUZZEL, R.I.; DE MAN, J.M. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: glucono-delta-lactone. **J Food Sci**, 56 (1), 109-112, 1991.
- SUN, N.; BREENE, W.M. Calcium sulfate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybean varieties. **J Food Sci**, 56 (6), 1604-1607, 1991.
- TSAI, S.J.; LAN, C.Y.; KAO, C.S.; CHEN, S.C. Studies on the yield and quality characteristics of tofu. **J Food Sci**, 6, 734-740, 1981.
- TABELA brasileira de composição de alimentos - TACO. Versão 2. 2.ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em: 06 mai 2011.
- TITCHENAL, C.A.; DOBBS, J. A system to assess the quality of food sources of calcium. Short Communication. **J Food Compos Anal**, v. 20, p. 717-724, 2007.

Tabela 1. Composição mineral de grãos e tofus de cultivares brasileiras de soja

Cultivares	Umidade ¹ (g/100g)	COMPOSIÇÃO MINERAL (mg/100g matéria seca)							
		Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
GRÃO									
BRS 155	10,8	237,5±34,0 ^{abc}	1382,4±33,3 ^{bcd}	228,7±4,8 ^{ab}	485,4±22,1 ^a	1,4±0,1 ^a	12,0±0,1 ^a	3,7±0,9 ^{ab}	4,4±0,3 ^{ab}
BRS 216	10,5	146,9±5,8 ^c	1466,9±49,7 ^{abc}	241,3±7,6 ^a	451,7±17,2 ^{ab}	1,6±0,1 ^a	14,4±3,5 ^a	2,1±0,1 ^b	3,4±0,2 ^{ab}
BRS 232	9,8	176,9±78,7 ^{bc}	1190,8±27,1 ^{de}	203,3 ±9,6 ^{bc}	383,0±16,9 ^c	1,4±0,1 ^a	14,5±3,9 ^a	2,8±1,8 ^{ab}	3,2±1,1 ^b
BRS 257	9,9	177,3±7,6 ^{bc}	1127,7±58,4 ^e	197,2±13,9 ^c	396,9±30,7 ^{bc}	1,6±0,4 ^a	9,0±1,2 ^a	3,6±0,3 ^{ab}	4,5±0,7 ^{ab}
BRS 258	9,4	316,7±21,3 ^a	1624,4±165,3 ^a	234,5±4,5 ^{ab}	511,7±18,1 ^a	1,7±0,1 ^a	13,4±5,9 ^a	4,4±0,3 ^{ab}	4,9±0,2 ^a
BRS 262	9,6	204,6±22,8 ^{bc}	1313,4±53,2 ^{cde}	212,6±1,5 ^{abc}	397,9±24,2 ^{bc}	1,6±0,1 ^a	14,9±3,9 ^a	2,6±0,6 ^{ab}	4,1±0,3 ^{ab}
BRS 267	10,0	247,0±13,5 ^{ab}	1506,6±66,0 ^{abc}	224,4±18,2 ^{abc}	468,4±22,7 ^a	1,7±0,0 ^a	16,5±9,8 ^a	3,2±0,4 ^{ab}	4,3±0,2 ^{ab}
BRSMG 790A	8,8	263,3±32,5 ^{ab}	1549,5±48,0 ^{ab}	239,3±14,0 ^a	482,2±21,7 ^a	1,7±0,2 ^a	11,8±1,3 ^a	5,3±1,7 ^a	4,5±0,4 ^{ab}
TOFU									
BRS 155	87,0	1068,5±205,6 ^a	689,9±121,4 ^a	167,6±14,4 ^c	535,9± 1,9 ^a	1,5±0,3 ^a	12,1±0,9 ^{ab}	2,8±0,2 ^a	5,3±0,9 ^a
BRS 216	86,5	966,0±12,7 ^a	563,1±43,9 ^a	185,2±10,0 ^{abc}	658,1±39,0 ^a	1,3±0,2 ^a	10,9±1,6 ^b	5,2±0,5 ^a	6,1±0,1 ^a
BRS 232	86,5	1075,9±2,5 ^a	606,4±0,3 ^a	214,0±2,5 ^a	678,6± 2,9 ^a	1,2±0,1 ^a	12,3±0,6 ^{ab}	5,2±0,0 ^a	6,2±0,0 ^a
BRS 257	86,2	958,5±104,8 ^a	438,5±54,2 ^a	191,8±12,5 ^{abc}	678,3±86,0 ^a	1,1±0,2 ^a	11,9±1,3 ^b	4,3±1,9 ^a	6,0±1,0 ^a
BRS 258	86,3	844,9±15,7 ^a	421,1±108,8 ^a	171,8±3,1 ^{abc}	552,8±13,9 ^a	1,2±0,0 ^a	11,0±0,4 ^b	4,1±1,5 ^a	5,7±0,2 ^a
BRS 262	86,1	915,7±13,9 ^a	471,8±49,2 ^a	185,5±3,4 ^{abc}	615,3± 5,4 ^a	1,3±0,0 ^a	16,8±2,0 ^a	3,2±0,4 ^a	6,7±0,8 ^a
BRS 267	88,0	966,4±33,4 ^a	726,8±60,3 ^a	190,5±0,2 ^{abc}	643,4±32,2 ^a	1,6±0,1 ^a	12,4±0,5 ^{ab}	4,9±0,2 ^a	6,2±0,2 ^a
BRSMG 790A	86,8	970,4±22,3 ^a	468,8±61,1 ^a	202,8±1,4 ^{ab}	675,0±19,3 ^a	1,2±0,0 ^a	11,1±0,2 ^b	5,9±0,4 ^a	6,5±0,3 ^a

⁽¹⁾ dados obtidos de Benassi et al. (2011 - artigo 2)

Média ± desvio padrão, para 3 repetições

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, p≤0,05)

Tabela 2. Isoflavonas presentes em grãos e tofus das cultivares brasileiras de soja

Cultivares	Umidade ¹ (g/100g)	Formas Glicosídicas (mg/100g matéria seca)							Agliconas (mg/100g matéria seca)				TOTAL	
		A-DAI	M-DAI	M-GEN	M-GLI	G-DAI	G-GEN	G-GLI	Parcial 1	DAI	GEN	GLI		Parcial 2
GRÃO														
BRS 155	10,8	-	74,2±4,1 ^b	105,2±1,0 ^a	17,9±1,4 ^d	75,9±0,7 ^a	104,7±0,6 ^a	14,5±0,2 ^c	392,4±8,0 ^a	9,9±0,1 ^a	11,7±0,1 ^a	0,99±0,1 ^a	22,5±0,3 ^a	414,9± 8,3 ^a
BRS 216	10,5	-	90,5±3,1 ^a	96,6±2,8 ^b	27,2±1,0 ^b	66,0±1,8 ^b	66,7±1,1 ^d	16,0±0,1 ^b	363,0±9,9 ^a	3,6±0,0 ^d	2,5±0,0 ^d	0,45±0,1 ^b	6,5±0,1 ^d	369,6±10,0 ^c
BRS 232	9,8	-	27,2±0,9 ^e	44,1±0,3 ^f	6,8±0,4 ^e	24,7±0,6 ^e	38,1±0,3 ^g	4,8±0,2 ^f	145,7±2,7 ^g	2,6±0,0 ^f	2,8±0,1 ^c	-	5,3±0,1 ^f	151,0± 2,8 ^h
BRS 257	9,9	-	71,0±3,9 ^d	89,5±0,8 ^c	26,2±1,1 ^b	62,7±2,6 ^b	70,5±2,1 ^c	16,4±0,6 ^b	336,1±11,1 ^c	4,2±0,1 ^c	2,8±0,2 ^c	1,14±0,1 ^a	8,1±0,3 ^c	344,2±11,4 ^d
BRS 258	9,4	-	40,4±1,9 ^d	70,7±0,5 ^e	8,3±0,7 ^e	28,5±2,0 ^d	51,1±1,4 ^f	5,3±0,1 ^f	204,2±6,5 ^e	3,0±0,1 ^e	2,4±0,0 ^d	0,48±0,0 ^b	5,9±0,1 ^e	210,1± 6,7 ^f
BRS 262	9,6	-	73,8±2,7 ^b	107,7±2,5 ^a	34,1±0,6 ^a	63,0±1,2 ^b	85,1±0,4 ^b	20,5±0,3 ^a	384,3±7,6 ^a	5,1±0,0 ^b	3,9±0,1 ^b	1,12±0,1 ^a	10,1±0,2 ^b	394,4± 7,8 ^b
BRS 267	10,0	-	51,1±0,6 ^c	78,0±0,5 ^d	15,2±0,8 ^d	37,2±0,8 ^c	56,8±0,9 ^e	8,3±0,2 ^d	246,6±3,8 ^d	4,1±0,0 ^c	3,8±0,1 ^b	0,49±0,2 ^b	8,4±0,2 ^c	255,0± 4,0 ^e
BRSMG 790A	8,8	-	41,0±0,6 ^d	71,4±0,2 ^e	19,3±0,7 ^c	17,7±0,5 ^f	35,0±0,1 ^h	7,2±0,3 ^e	191,6±2,5 ^f	1,8±0,2 ^g	1,3±0,0 ^e	-	3,2±0,2 ^g	194,8± 2,6 ^g
TOFU														
BRS 155	87,0	3,2±0,4 ^a	34,1±0,2 ^b	67,3±1,0 ^a	6,7±0,2 ^e	60,5±0,3 ^b	102,6±1,6 ^a	11,4±0,3 ^d	285,8±3,8 ^b	20,7±0,5 ^a	31,0±0,2 ^a	2,5±0,1 ^b	54,2±0,8 ^a	340,0± 4,9 ^a
BRS 216	86,5	2,9±0,2 ^a	48,6±3,6 ^a	64,6±0,3 ^b	10,2±0,2 ^b	72,4±2,0 ^a	96,3±1,4 ^b	14,7±0,4 ^c	309,7±7,9 ^a	11,0±0,3 ^d	8,8±0,1 ^h	2,0±0,1 ^c	21,7±0,5 ^f	331,4± 8,4 ^b
BRS 232	86,5	2,1±0,0 ^c	9,6±0,2 ^e	21,0±0,3 ^f	2,7±0,2 ^h	19,1±0,6 ^e	34,7±1,0 ^e	5,2±0,1 ^h	94,3±2,4 ^f	9,7±0,2 ^e	13,9±0,2 ^f	-	23,6±0,4 ^e	117,8± 2,8 ^f
BRS 257	86,2	2,7±0,2 ^{abc}	25,2±1,0 ^c	47,6±1,7 ^c	9,1±0,4 ^c	49,2±0,7 ^c	68,7±2,6 ^c	16,0±0,2 ^b	218,5±6,8 ^c	17,3±0,2 ^b	22,0±0,5 ^b	2,9±0,3 ^a	42,2±1,0 ^b	260,7± 7,8 ^c
BRS 258	86,3	0,9±0,1 ^d	16,4±1,2 ^d	38,2±0,3 ^e	3,9±0,2 ^g	26,0±0,3 ^d	56,8±0,5 ^d	6,2±0,3 ^g	148,4±2,8 ^e	9,2±0,1 ^e	15,5±0,1 ^e	0,7±0,0 ^d	25,4±0,3 ^d	173,8± 3,1 ^e
BRS 262	86,1	1,2±0,1 ^d	32,8±3,2 ^b	64,0±0,8 ^b	11,6±0,4 ^a	60,7±4,7 ^b	100,0±0,7 ^a	18,1±0,3 ^a	288,3±10,2 ^b	16,9±0,2 ^b	21,2±0,2 ^c	3,0±0,1 ^a	41,1±0,5 ^b	329,5±10,7 ^b
BRS 267	88,0	2,5±0,3 ^c	16,6±0,8 ^d	36,3±0,4 ^e	5,2±0,1 ^f	29,4±0,2 ^d	55,1±0,6 ^d	8,9±0,2 ^f	153,8±2,4 ^e	13,8±0,1 ^c	20,0±0,3 ^d	1,7±0,1 ^c	35,5±0,5 ^c	189,4± 2,8 ^d
BRSMG 790A	86,8	0,9±0,1 ^d	22,2±0,1 ^c	42,4±0,4 ^d	7,5±0,2 ^d	24,4±0,8 ^{de}	57,9±1,8 ^d	10,1±0,0 ^e	165,4±3,3 ^d	5,1±0,1 ^f	9,6±0,1 ^g	0,6±0,0 ^d	15,2±0,1 ^g	180,6± 3,4 ^e

⁽¹⁾ dados obtidos de Benassi et al. (2011 - artigo 2)

Média ± desvio padrão, para 3 repetições

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Tukey, p≤0,05)

Tabela 3. Material inicial (grão) e final (tofu) no processamento e quantidades de alguns componentes de interesse nutricional e funcional¹

Cultivares	Quantidade de material ² (g)	Água ² (g)	Proteína ² (g)	Minerais (mg)								Isoflavonas (mg)		
				Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn	glicosídeos	agliconas	total
Grãos														
BRS 155	123,2	13,3	43,0	261,1	1519,3	251,3	533,5	1,56	13,23	4,12	4,84	431,3	24,7	456,0
BRS 216	126,5	13,3	44,8	166,3	1660,6	273,2	511,4	1,81	16,33	2,39	3,87	411,0	7,4	418,4
BRS 232	122,5	12,0	43,8	195,3	1315,2	224,5	423,0	1,59	16,04	3,08	3,53	160,9	5,9	166,8
BRS 257	123,5	12,2	43,3	197,4	1255,7	219,6	441,9	1,81	9,98	3,98	4,97	374,3	9,0	383,3
BRS 258	122,4	11,4	42,8	351,4	1802,2	260,2	567,7	1,86	14,90	4,90	5,46	226,5	6,5	233,1
BRS 262	124,6	12,0	39,9	230,4	1479,2	239,4	448,1	1,75	16,79	2,88	4,58	432,8	11,4	444,1
BRS 267	126,6	12,7	43,8	281,4	1716,5	255,7	533,6	1,95	18,79	3,59	4,95	280,9	9,6	290,5
BRSMG 790A	125,5	11,0	41,6	301,6	1774,8	274,2	552,3	1,97	13,49	6,05	5,17	219,5	3,6	223,1
Tofus														
BRS 155	327,0	284,4	22,5	454,9	293,7	71,4	228,2	0,65	5,16	1,20	2,26	121,7	23,1	144,8
BRS 216	334,3	289,3	25,5	434,7	253,4	83,3	296,1	0,58	4,90	2,32	2,74	139,3	9,8	149,1
BRS 232	328,7	284,4	24,0	477,1	268,9	94,9	300,9	0,51	5,43	2,28	2,74	41,8	10,5	52,2
BRS 257	325,0	280,2	23,6	428,9	196,2	85,8	303,6	0,47	5,32	1,93	2,68	97,8	18,9	116,7
BRS 258	334,7	288,8	23,7	387,7	193,2	78,9	253,7	0,56	5,03	1,86	2,60	68,1	11,6	79,7
BRS 262	329,5	283,6	23,0	420,6	216,7	85,2	282,6	0,57	7,74	1,46	3,08	132,5	18,9	151,3
BRS 267	365,2	321,5	23,3	422,1	317,5	83,2	281,0	0,68	5,40	2,15	2,69	67,2	15,5	82,7
BRSMG 790A	353,5	307,0	23,5	451,5	218,1	94,4	314,1	0,57	5,14	2,74	3,00	77,0	7,1	84,0

⁽¹⁾ valores médios⁽²⁾ dados obtidos de Benassi et al. (2011 - artigo 2)

Tabela 4. Impactos do processamento sobre a retenção de compostos de interesse nutricional e funcional no tofu¹

Cultivares	Proteína(%)	Isoflavonas			Ca (%)
		glicosídeos (%)	agliconas (%)	total (%)	
BRS 155	52,4	28,2	93,2	31,7	174,3
BRS 216	57,0	33,9	132,5	35,6	261,4
BRS 232	54,8	26,0	178,1	31,3	244,3
BRS 257	54,6	26,1	208,8	30,4	217,3
BRS 258	55,4	30,1	178,3	34,2	110,3
BRS 262	57,6	30,6	166,2	34,1	182,6
BRS 267	53,2	23,9	162,5	28,5	150,0
BRSMG 790A	56,6	35,1	195,7	37,7	149,7
Média	55,2	29,2	164,4	32,9	186,2
DP	1,8	3,9	36,7	3,0	51,5
CV	3,3	13,4	22,3	9,1	27,6

⁽¹⁾ % em relação à quantidade inicial (Tabela 3) presente nos grãos das cultivares de soja

Tabela 5. Quantidade de minerais (mg) em uma porção de tofu (126g), ingestão diária recomendada de minerais (RDA) e percentual da ingestão diária fornecida por uma porção de tofu

Cultivares	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
BRS 155	175,3	113,2	27,5	87,9	0,3	2,0	0,5	0,9
BRS 216	163,8	95,5	31,4	111,6	0,2	1,9	0,9	1,0
BRS 232	182,9	103,1	36,4	115,3	0,2	2,1	0,9	1,1
BRS 257	166,3	76,1	33,3	117,7	0,2	2,1	0,8	1,0
BRS 258	146,0	72,7	29,7	95,5	0,2	1,9	0,7	1,0
BRS 262	160,8	82,9	32,6	108,1	0,2	3,0	0,6	1,2
BRS 267	145,6	109,5	28,7	97,0	0,2	1,9	0,7	0,9
BRSMG 790A	160,9	77,7	33,7	112,0	0,2	1,8	1,0	1,1
Média	162,7	91,3	31,7	105,6	0,2	2,1	0,7	1,0
Requerimentos diários (mg)*	RDA** %	RDA %	RDA %	RDA %	RDA %	RDA %	RDA %	RDA %
homem	1000 16,3	4700 0,2	420 0,8	700 1,5	0,9 22,2	8 26,2	2,3 30,4	11 9,1
mulher	1000 16,3	4700 0,2	320 1,0	700 1,5	0,9 22,2	18 11,6	1,8 38,9	8 1,3

(*) FONTE: ROSS et al., 2006.

(**)1200 mg/d de Ca (13,6%), para homens acima de 70 anos e para mulheres, acima de 50 anos (desconsiderados períodos de gestação e lactação)

RESUMO EXPANDIDO

Título: Correlação entre a cor de grãos de soja e tofu

Autores: Sandra Helena Prudencio; Vera de Toledo Benassi

Status: aceito para ser apresentado no XI Encontro Regional Sul de Ciência e Tecnologia de Alimentos – ERSCTA, em Curitiba/PR, outubro de 2011



XI Encontro Regional Sul de Ciência e Tecnologia de Alimentos
XI ERSCTA

Feira de Inovação da Indústria Agroalimentar 2011
FIAA 2011

Prezado(s) Autor(es),

Temos a satisfação de comunicar a APROVAÇÃO de seu Trabalho Científico para o XI ERSCTA & FIAA 2011, a se realizar no período de 09 a 11 de outubro de 2011 no CIETEP, em Curitiba-PR.

Título do resumo:	CORRELAÇÃO ENTRE A COR DE GRÃOS DE SOJA E TOFU
Autores:	SANDRA HELENA PRUDENCIO (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA) ; VERA DE TOLEDO BENASSI (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA)

OBSERVAÇÃO: os trabalhos aprovados para serem publicados no CD-ROM com ISBN deverão estar com a inscrição paga no XI ERSCTA até **05 de agosto de 2011**. As inscrições pagas após esta data não estarão publicados no CD-ROM com ISBN, porém poderão apresentar os trabalhos no evento na forma de pôster e receberão certificados.

Atenciosamente,

**Comissão Organizadora / Comissão Científica
XI ERSCTA & FIAA 2011**

CORRELAÇÃO ENTRE A COR DE GRÃOS DE SOJA E TOFU

Sandra Helena PRUDENCIO*¹; Vera de Toledo BENASSI²

¹ Doutora em Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual de Londrina/UEL, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, e-mail: sandrah@uel.br; Pesquisadora da Embrapa Soja, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação Ciência e Tecnologia de Alimentos/UEL, e-mail: benassi@cnpso.embrapa.br

ABSTRACT

This investigation aimed to assess color of tofu made from eight Brazilian soybean cultivars (BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267, BRSMG 790A) and to verify the ability of seed color to influence tofu color. A colorimeter was utilized to measure tofu color. A digital imaging method was applied to determine soybean seedcoat and hilum colors. Results confirmed that tofu color is affected by seed color from which it is made of. If tofu color is considered the sole criterion to select soybean cultivars, then BRS 258, 232 and 216 may be preferred among all tested cultivars because they resulted in whiter tofu.

INTRODUÇÃO

Os atributos sensoriais de aparência dos grãos de soja podem ser requisitos importantes na escolha de uma cultivar para o processamento de alimentos. Em derivados onde o grão se apresenta inteiro (grãos cozidos, por exemplo) ou em metades descascadas (*soynuts* ou salgadinho de soja), o tamanho do grão tem grande influência sobre a aparência do produto e sua aceitação pelo consumidor. Quando se trata de uma farinha, as cores do tegumento (casca) e do hilo passam a ser características importantes: quanto maior a diferença entre as cores do cotilédone, casca e hilo, mais heterogênea será a farinha, prejudicando sua aparência e a dos produtos onde ela é utilizada como ingrediente (LIU, 1999).

Em relação ao tofu, seu processamento inicia com a trituração dos grãos em água quente, seguindo-se a filtração da massa resultante, a qual se separa em uma fase sólida (*okara* ou resíduo de soja) e uma líquida (extrato ou “leite” de soja). A fase sólida, onde ficam retidas as partículas da casca e do hilo, é descartada, seguindo para as etapas subsequentes apenas a fase líquida. O extrato é uma suspensão, cuja cor tende a ser uniforme, assim como o tofu, obtido pela coagulação do extrato. Embora o tofu não contenha partículas de casca ou hilo, a extração dos componentes solúveis em água quente poderia ocasionar arraste de pigmentos presentes nas partes externas do grão, influenciando a cor do produto

final (LIU, 1999). Cultivares com hilo escuro podem resultar em tofu de boa qualidade, desde que os grãos sejam previamente descascados ou que o extrato seja adequadamente filtrado (CUI et al., 2004). Porém, estes mesmos autores relatam que as cultivares de grãos com casca e hilo claros são preferidas para a produção de tofu, pois simplificam o processo.

A cor do tofu pode variar desde branca até amarela pálida, dependendo da cultivar e das condições ambientais no cultivo e na estocagem dos grãos. Segundo Cui et al. (2004), é desejada a cor mais branca possível, uma vez que o tofu sofre modificação na coloração durante o armazenamento, sendo a tonalidade amarelada associada a um produto envelhecido.

Grãos de soja e tofu necessitam métodos diferentes para medida de cor, devido às diferenças em suas características geométricas. A superfície lisa e uniforme das amostras de tofu permite a realização de leituras diretas com o colorímetro, enquanto a superfície dos grãos, por ser bastante heterogênea (inclui os espaços intersticiais), adapta-se melhor a um método que utilize imagens digitais (OLIVEIRA et al., 2003; ROMÃO et al., 2006).

Este trabalho visou medir a cor dos grãos de oito cultivares brasileiras de soja e dos tofus produzidos, verificando a influência da cor original dos grãos (casca e hilo) sobre os produtos obtidos.

METODOLOGIA

Para o experimento foram selecionadas oito cultivares de soja com diferentes características (CULTIVARES, 2005, 2008):

BRS 155 - teor reduzido (1/3 do normal) de inibidor de tripsina

BRS 216 - grãos pequenos, alto teor de proteínas e de isoflavonas

BRS 232 - grãos grandes

BRS 257 - ausência de enzimas lipoxigenases

BRS 258 - descendente da cultivar BR 36, bastante usada na alimentação humana

BRS 262 - hilo preto e alto teor de isoflavonas

BRS 267 - grãos de tamanho acima da média e sabor considerado suave

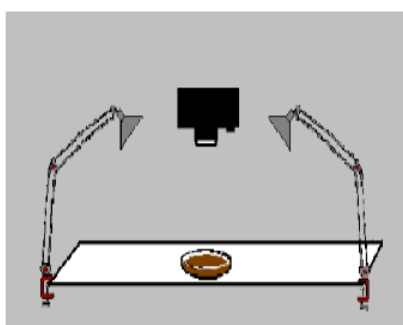
BRS MG 790A - casca alaranjada e sabor considerado bom

As cultivares desenvolvidas no programa de melhoramento genético da Embrapa Soja, Londrina/PR, foram obtidas na safra 2007/2008 em Londrina e Ponta Grossa, com exceção da BRS MG 790A, proveniente do Triângulo Mineiro. As amostras foram mantidas em câmara fria (10°C e 68% UR) até utilização.

Para determinação da cor, por meio de imagens digitais, os grãos foram colocados em uma placa de Petri (diâmetro 14,5 cm), regularizando-se o nível superior com auxílio de uma régua. Para tomada das imagens, cada amostra foi posicionada sobre uma plataforma especial, contendo dois suportes laterais articulados para colocação das lâmpadas e um

suporte em posição central, com distância regulável, para fixação da câmera fotográfica digital (Figura 1). A iluminação foi proporcionada pelo uso de lâmpadas com temperatura de cor 6500K (Philips Essencial 15W Electronic).

Foi utilizada câmera digital Canon 300D (lente 18-55 mm, diafragma 8, velocidade 1/15) e os arquivos foram registrados em formato RAW. As fotos digitais foram processadas no software Photoshop Lightroom® (Adobe, versão 2.7), padronizando-se o branco de todas as fotos com ajuste em 6.500K. Em seguida, os arquivos RAW foram convertidos ao formato JPG. Com auxílio do software MS PAINT® (Microsoft, versão 5.1), cada imagem foi recortada em quatro regiões periféricas e uma central (Figura 2), sendo cada uma das regiões registrada em formato BMP.



Fonte: Oliveira et al. , 2003.

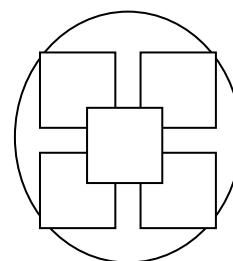


Figura 1. Esquema do sistema para fotografia **Figura 2.** Esquema de amostragem para leitura de cor em um conjunto de grãos de soja

A cor da casca e do hilo foram medidas separadamente. Em cada uma das cinco regiões, foram escolhidos quatro grãos que mostravam apenas a casca e não o hilo, selecionando sua área para leitura. Da mesma maneira, em cada região foram identificados quatro hilos que apareciam inteiros e em posição vertical ou horizontal, selecionando-se a área.

As áreas selecionadas tiveram a cor média medida e expressa no sistema RGB, utilizando-se o software “Conversor em cor média RGB para imagens BPM” (SACHS, 2001), que determina a cor média por leitura pixel a pixel. Os valores médios em RGB foram convertidos para o sistema CIELAB pelo software Munsell Conversion (COLORPRO, versão 4.01), para obtenção dos parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul), relativos à cor da casca e do hilo de cada uma das cultivares de soja.

A avaliação de cor dos tofus foi realizada com colorímetro (Color Reader CR13, Minolta, Japão), sendo as 12 repetições executadas diretamente sobre a superfície dos produtos, após calibração com o padrão branco fornecido. Foram medidos os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente verde-vermelho) e b^* (componente amarelo-azul).

Os resultados foram tratados por ANOVA, teste de Tukey e correlação linear de Pearson. O nível de significância foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros de cor, determinados na casca e no hilo dos grãos das cultivares, estão na Tabela 1 e as imagens dos grãos estão na Figura 3.

Tabela 1. Parâmetros de cor da casca e do hilo de grãos de cultivares brasileiras de soja¹

Cultivares	Cor da casca			Cor do hilo		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
BRS 155	75,6 ± 1,7 ^f	3,9 ± 1,1 ^b	56,7 ± 2,7 ^a	54,5 ± 4,4 ^c	8,8 ± 1,4 ^a	53,0 ± 3,4 ^{de}
BRS 216	82,4 ± 1,4 ^a	0,4 ± 1,2 ^{cd}	53,4 ± 2,3 ^b	70,9 ± 3,1 ^b	7,3 ± 1,5 ^b	64,7 ± 2,6 ^a
BRS 232	81,7 ± 0,8 ^{ab}	0,6 ± 0,5 ^{cd}	49,9 ± 3,1 ^c	69,6 ± 3,3 ^b	6,5 ± 1,0 ^b	56,9 ± 2,9 ^{bc}
BRS 257	81,5 ± 1,2 ^{abc}	1,2 ± 1,2 ^c	46,6 ± 2,9 ^d	54,5 ± 4,6 ^c	9,6 ± 2,1 ^a	51,4 ± 3,4 ^e
BRS 258	80,4 ± 1,6 ^{bcd}	0,3 ± 0,6 ^{cd}	50,2 ± 3,1 ^c	57,3 ± 3,5 ^c	8,8 ± 1,3 ^a	55,1 ± 1,9 ^{cd}
BRS 262	79,1 ± 2,0 ^d	0,0 ± 0,9 ^d	49,3 ± 3,3 ^{cd}	33,7 ± 3,9 ^d	0,8 ± 1,0 ^d	29,9 ± 2,3 ^f
BRS 267	77,5 ± 1,7 ^e	3,9 ± 1,0 ^b	58,2 ± 2,9 ^a	76,2 ± 2,9 ^a	4,1 ± 1,9 ^c	57,7 ± 3,1 ^{bc}
BRS MG 790A	80,1 ± 1,2 ^{cd}	5,4 ± 0,9 ^a	56,1 ± 3,5 ^{ab}	76,4 ± 3,7 ^a	6,4 ± 1,9 ^b	58,5 ± 3,7 ^b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Teste de Tukey, p≤0,05)

¹cor expressa no sistema CIE Lab. Média ± desvio padrão (20 medidas)

L*: 0=preto, 100=branco

a*: (+) vermelho, (-) verde

b*: (+) amarelo, (-) azul

Quanto à cor da casca, as cultivares apresentaram luminosidade (L*) que variou de 76 (BRS 155, a mais escura) até 82 (BRS 216, 232 e 257, as mais claras); a componente a* variou entre 0,0 (BRS 262) e 5,4 (BRSMG 790A, que apresentou mais nuances avermelhadas); em relação à componente b*, as amostras dividiram-se em 4 grupos, sendo BRS 155 e 267 as mais amareladas e BRS 257 e 262 as menos amareladas.

Quanto à cor do hilo, distinguiram-se as cultivares BRS 267 e MG 790A pela cor clara e a cultivar BRS 262 pela cor escura, enquanto as restantes se dividiram em dois grupos de luminosidade intermediária. As cultivares BRS 155, 257 e 258 apresentaram hilo de cor mais avermelhada, enquanto o da BRS 262 foi o menos avermelhado; BRS 216 foi a cultivar com hilo mais amarelado e a BRS 262, com o menos amarelado.

A cor dos tofus produzidos a partir das diferentes cultivares está na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de cor de tofus de diferentes cultivares brasileiras de soja¹

Cultivares	L*	a*	b*
BRS 155	85,8±0,8 ^b	0,0±0,5 ^c	14,3±0,3 ^c
BRS 216	86,6±0,4 ^a	-0,8±0,3 ^f	13,8±0,7 ^c
BRS 232	86,5±0,9 ^a	-0,3±0,4 ^{de}	12,6±0,5 ^d
BRS 257	85,4±0,5 ^{bc}	-0,5±0,4 ^e	17,7±0,7 ^a
BRS 258	86,6±0,8 ^a	-0,3±0,3 ^{de}	11,8±0,7 ^e
BRS 262	84,3±0,5 ^e	-0,1±0,3 ^{cd}	12,7±0,6 ^d
BRS 267	85,0±0,8 ^{cd}	0,4±0,5 ^b	13,1±0,9 ^d
BRS MG 790A	84,7±0,7 ^{de}	0,8±0,6 ^a	16,1±1,5 ^b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (Teste de Tukey, p≤0,05)

¹cor expressa no sistema CIE Lab. Média ± desvio padrão (20 medidas)

L*: 0=preto, 100=branco

a*: (+) vermelho, (-) verde

b*: (+) amarelo, (-) azul

Observa-se que os tofus mais claros foram obtidos a partir das cultivares BRS 216, 232 e 258 e o mais escuro, de BRS 262. Como os produtos são quase brancos, a componente a^* oscilou em torno do zero, desde -0,8 (para BRS 216) até 0,8 (BRSMG 790A). Quanto à componente b^* , foram obtidos valores positivos variando de 12 (a amostra menos amarelada, BRS 258) até 18 (BRS 257, a mais amarelada).

Influência da cor dos grãos sobre a cor dos tofus

A partir da análise de correlação entre os dados da Tabela 1 e da Tabela 2 (grãos x tofus), o único coeficiente significativo encontrado foi entre a^*_{casca} e a^*_{tofu} ($r=0,84$), indicando que a tonalidade avermelhada presente nas cascas dos grãos foi transferida aos tofus.

Pelas médias da Tabela 1, observa-se que BRS 262, única das cultivares a possuir hilo escuro (valores mais baixos para L^* , a^* e b^* do hilo), produziu o tofu mais escuro de todas as cultivares (Tabela 2), mostrando que a cor do hilo do grão pode também impactar a cor do tofu, especialmente a componente L^* , cujo valor máximo corresponde à cor branca, desejável para este produto.

CONCLUSÃO

A cor dos grãos de soja, tanto da casca como do hilo, afeta a cor do tofu produzido. Se apenas a cor fosse levada em consideração como critério de qualidade do tofu, as cultivares BRS 258, 232 e 216 seriam as mais indicadas para este processamento, por resultarem em produtos mais brancos. O método de imagens utilizado para determinar cor em grãos de soja permitiu diferenciar as cultivares estudadas.

REFERÊNCIAS

BENASSI, V. T.; VARÉA-PEREIRA, G.; PRUDÊNCIO, S. H. Tofus de diferentes cultivares: caracterização sensorial (ADQ) e análise de correlação com medidas instrumentais e de composição química (não publicado).

CUI, Z.; JAMES, A.T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R.F.; CARTER Jr., T.E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (ed.) **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.

COLORPRO – Munsell Conversion versão 4.01. Disponível em: www.colorpro.com/info/software/munsell.htm. Acesso em 23 julho de 2010.

CULTIVARES de Soja 2004/2005 Região Centro-Sul. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2005. 80 p. (Embrapa Soja. **Documentos**, 249).

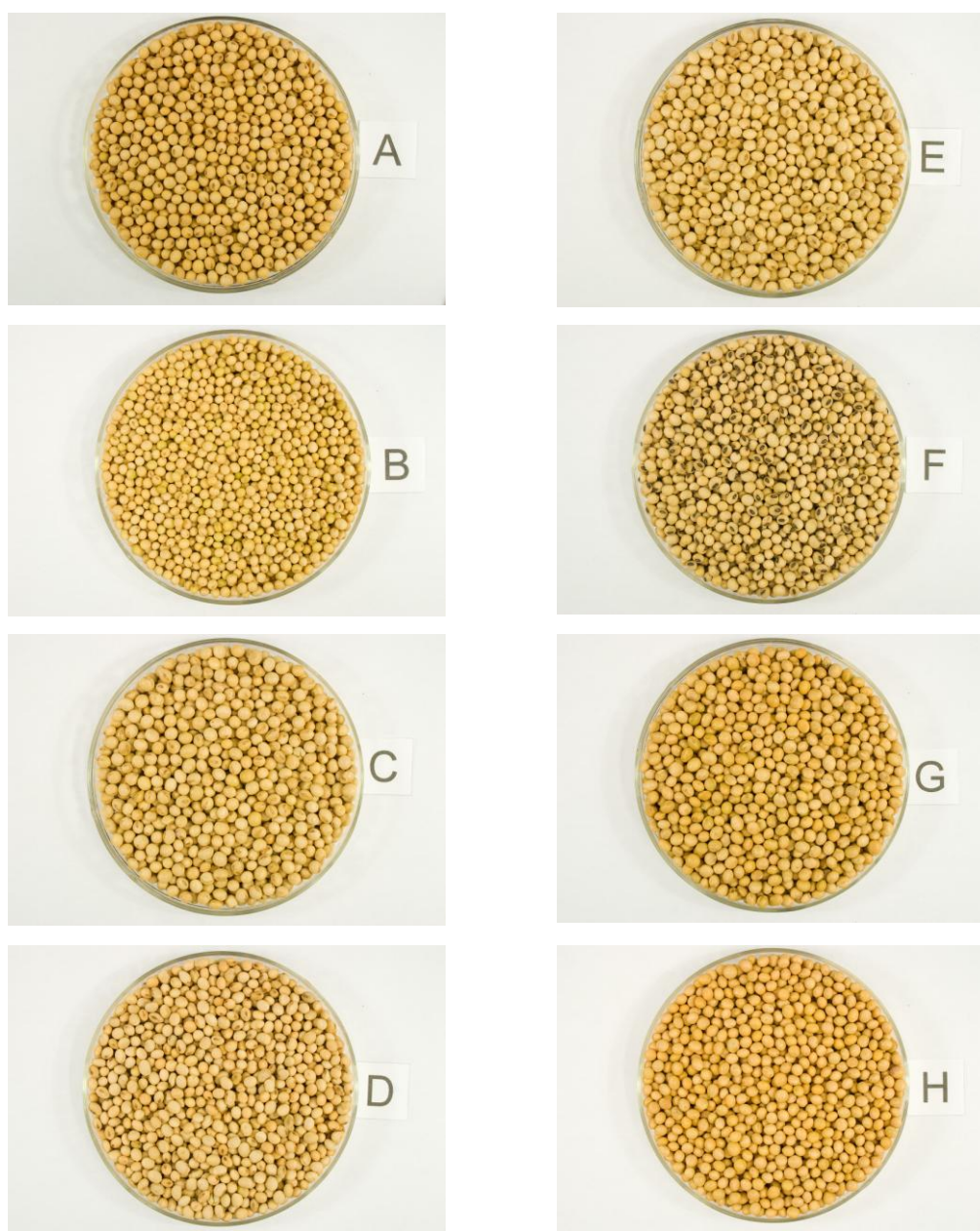
CULTIVARES de Soja 2007/2008 Região Centro-Sul. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2008. 80 p. (Embrapa Soja. **Documentos**, 299).

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. 1st ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.

OLIVEIRA, A.P.V.; FRASSON, K.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. de T. Medida Instrumental de Cor em Sobremesas Lácteas de Chocolate: uma Técnica de Baixo Custo e Versátil Utilizando Câmara Digital. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 191-196, 2003.

ROMÃO, R.B.M.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. de T.; SOARES, J.H. Nota Prévia – Metodologia para Avaliação de Cristalização em Balas Duras por Imagem Digitalizada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 2, p. 151-155, 2006.

SACHS, L.G.; PRUDENCIO-FERREIRA, S.H.; PORTUGAL, A.P.; FELINTO, A.S.; SACHS, J.P.D. Leitura de imagem pixel a pixel: I. Uso no controle de qualidade de alimentos. **Anais do IV Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos**, v. 1, n. 1, p. 258, 2001.



Legenda:

A = BRS 155	E = BRS258
B = BRS216	F = BRS262
C = BRS232	G = BRS267
D = BRS257	H = BRSMG 790A

Figura 3. Grãos das cultivares de soja.

RESUMO 1

Título: Tofus de diferentes cultivares de soja: aceitação e segmentação de consumidores

Autores: Vera de Toledo Benassi; Marta de Toledo Benassi; Sandra Helena Prudencio

Status: apresentado no VI Simpósio Ibero-Americano em Análise Sensorial – SENSIBER, em São Paulo/SP, agosto de 2010

sensiber

VI Simpósio Ibero-Americano em Análise Sensorial
VI Ibero-American Sensory Analysis Symposium



19 a 21 de agosto • 2010
Centro Universitário Senac
Campus Santo Amaro • São Paulo - SP
19 - 21 August 2010 • Senac University Center

Tofus de diferentes cultivares de soja: aceitação e segmentação de consumidores

V.T. Benassi¹, M.T. Benassi² & S.H. Prudencio²

¹Embrapa Soja, Brasil (benassi@cnpso.embrapa.br); ²Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, UEL, Brasil.

O tofu ou “queijo” de soja é um alimento nutritivo, saudável e versátil, obtido a partir da coagulação protéica do extrato de soja. O uso de diferentes cultivares de soja no processamento é um dos fatores que pode influenciar as características do tofu obtido. O objetivo deste estudo foi avaliar a aceitação sensorial de amostras de tofu obtidas a partir de oito diferentes cultivares de soja: BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267 e BRSMG 790A. Foi realizado um teste com 72 consumidores, utilizando escala hedônica estruturada de 9 pontos ancorada com termos verbais nos extremos e no meio, com relação à aceitação global do produto. Em paralelo, foi realizada avaliação instrumental de textura (TPA). Os resultados foram analisados por ANOVA, com teste de comparação de médias por Tukey e Mapa de Preferência Interno. Pela ANOVA, não se observou diferença na aceitação global (média de 5,8) entre os tofus de diferentes cultivares. Pelo Mapa de Preferência, foi possível discriminar 4 grupos distintos de consumidores com relação à aceitação global: 15 preferiram o tofu BRS 267; 31, o BRS 155; 14, o BRS 262 e 12 o BRS 216. Comparando-se com as medidas de dureza instrumental, nota-se que os tofus BRS 155 e BRS 216 têm em comum a textura mais firme (3,6 N), enquanto os tofus BRS 262 e BRS 267 se caracterizam por serem produtos mais macios (2,4 N). Pelo Mapa, foi possível discriminar os produtos feitos com diferentes cultivares de soja e visualizar uma separação entre um grupo maior de consumidores (60%) que prefere um produto mais firme, e outro, que dá preferência a um produto mais macio (40%). Conclui-se que, apesar de todos os tofus serem igualmente aceitos, a diferença na textura dos produtos permite que eles obtenham a preferência de públicos consumidores distintos.

PALAVRAS-CHAVE: Mapa de preferência, textura instrumental, teste hedônico, produtos de soja.

RESUMO 2

Título: Caracterização sensorial de tofus de diferentes cultivares de soja

Autores: Vera de Toledo Benassi; Sandra Helena Prudencio

Status: apresentado no VI Simpósio Ibero-Americano em Análise Sensorial – SENSIBER, em São Paulo/SP, agosto de 2010

sensiber

VI Simpósio Ibero-Americano em Análise Sensorial
VI Ibero-American Sensory Analysis Symposium



19 a 21 de agosto • 2010
Centro Universitário Senac
Campus Santo Amaro • São Paulo - SP
19 - 21 August 2010 • Senac University Center

Caracterização sensorial de tofus de diferentes cultivares de soja

V.T. Benassi¹ & S.H. Prudencio

¹Embrapa Soja, Brasil (benassi@cnpso.embrapa.br); ²Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, UEL, Brasil.

O melhoramento genético de cultivares de soja visa principalmente o desempenho agrônômico, mas a qualidade sensorial dos grãos e derivados vem sendo valorizada para o uso na alimentação humana. Tofu, alimento protéico e saudável, é obtido pela coagulação do extrato de soja. Com objetivo de identificar cultivares para produção de diferentes tipos de tofu, avaliaram-se características sensoriais e aceitação de tofus obtidos das cultivares BRS 155, BRS 216, BRS 232, BRS 257, BRS 258, BRS 262, BRS 267 e BRSMG 790A. Setenta e dois consumidores participaram do teste hedônico (escala de 9 pontos) e 12 provadores selecionados e treinados, da Análise Descritiva Quantitativa. A intensidade dos descritores (cor amarelada, cor creme, uniformidade de superfície, aroma e sabor de soja, gosto amargo, adstringência, dureza, suculência e granulidade) foi determinada usando escala não estruturada de 9 cm. Realizaram-se ANOVA, teste de Tukey e Análise de Componentes Principais (ACP). O primeiro Componente Principal explicou 32,4% da variabilidade dos dados, o segundo, 23,1% e o terceiro, 13,5%. O sabor de soja, gosto amargo e adstringência foram semelhantes em todos os produtos. A intensidade de aroma de soja foi maior nos tofus BRS 155, 258, 262 e 267 e menor no BRS 257. Além disso, o tofu BRS 155 caracterizou-se por maior dureza e granulidade; o BRS 216, pela maior uniformidade e menor suculência; o BRS 257, por cor amarelada e suculência mais intensas; o BRS 262, por menor granulidade; o BRS 267, pela menor uniformidade de superfície, e o BRSMG 790A, pela maior intensidade de cor creme e menor dureza. O tofu BRS 232 apresentou atributos com intensidades intermediárias. É possível obter tofus com diferentes características sensoriais a partir das cultivares estudadas, porém com aceitação idêntica (média 5,8).

PALAVRAS-CHAVE: Análise Descritiva Quantitativa, escala hedônica, consumidor, Análise de Componentes Principais, produtos de soja.

6 CONCLUSÕES

- É possível obter tofu a partir de todas as cultivares de soja estudadas, com rendimento aceitável e características nutricionais e sensoriais desejáveis, por meio de um protocolo de procedimento adequado às condições disponíveis em laboratório;
- Apesar dos grãos das cultivares serem diferentes em termos de cor, tamanho, conteúdo de cascas e capacidade de absorção de água, não diferem em seu rendimento no processo para produção de tofu;
- As cultivares não se distinguem em termos das frações protéicas, com exceção da cultivar BRS 257, por não possuir a fração lipoxigenase;
- Os grãos das cultivares são diferentes quando à composição centesimal e teor de isoflavonas, acontecendo o mesmo com os tofus;
- Os conteúdos dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn praticamente não variam entre os grãos das cultivares de soja e entre os tofus, enquanto Ca, K, Mg, P e S variam nos grãos e, no tofu, apenas Mg e S;
- O processamento tende a provocar a diminuição de todos os componentes, tanto pelo fato de iniciar com uma matéria-prima de baixa umidade e resultar em um produto com alta umidade, como pelas perdas de componentes que podem ocorrer durante as etapas do processo (principalmente na maceração, filtração e dessoragem);
- O total de isoflavonas se reduz e a proporção entre as formas se altera durante o processamento, uma vez que diminui o percentual de formas glucosídicas e aumenta o de agliconas.
- O teor de isoflavonas nos tofus é diretamente proporcional ao teor existente nos grãos das cultivares, o que não acontece com outros componentes (proteínas, lipídios, minerais);
- O uso do agente coagulante CaSO_4 (sulfato de cálcio) constitui uma vantagem, do ponto de vista nutricional, pois permite que o tofu seja mais rico em cálcio do que os grãos que lhe deram origem;
- Os tofus obtidos são diferentes na cor e textura (especialmente nos parâmetros dureza e gomosidade) determinados instrumentalmente;

- Os tofus das cultivares de soja apresentam diferenças nos atributos de aparência, aroma e textura, mas não nos atributos de sabor;
- Há diferença de aceitação de sabor e textura entre os tofus provenientes das diferentes cultivares mas, em relação à aceitação global, os tofus são todos iguais;
- Observa-se uma segmentação do público consumidor em relação à preferência e todos os tofus têm uma parcela de mercado potencial;
- Todas as cultivares estudadas podem ser comercializadas para a produção de tofu, mas as empresas fabricantes podem optar por alguma(s) das cultivares, dependendo das características sensoriais desejadas para o tofu e das demandas de seu público consumidor;
- Outras cultivares de soja podem ser direcionadas para a produção de tofu e novas cultivares podem ser desenvolvidas com base nas ferramentas descritas neste trabalho, atendendo melhor às demandas de qualidade de empresas fabricantes de tofu e/ou de empresas exportadoras de sementes e grãos.

REFERÊNCIAS

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.

ABD KARIM A.; SULEBELE G.A.; AZHAR M.E.; PING C.Y. Effect of carrageenan on yield and properties of tofu. **Food Chemistry**, London, v. 66, n. 2, p.159-165, 1999.

A SOJA: história, tendências e virtudes. **Revista Funcionais e Nutracêuticos**, n. 0, p. 28-40, 2007. Disponível em: <http://www.insumos.com.br/funcionais_e_nutraceuticos/edicoes_materias.php?id_edicao=16>. Acesso em: jul. 2011.

BARBOSA, A.C.L.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I. Influence of temperature, pH and ionic strength on the production of isoflavone-rich soy protein isolates. **Food Chemistry**, London, v. 98, p. 757-766, 2006.

BENASSI, V.T.; BENASSI, M.T.; PRUDENCIO, S.H. Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu e aceitação pelo mercado consumidor. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina (artigo 2).

BENASSI, V.T.; PRUDENCIO, S.H. Conteúdo de minerais e de isoflavonas em grãos e tofus de cultivares brasileiras de soja (artigo 4).

BENASSI, V.T.; VARÉA, G.S.; PRUDENCIO, S.H. Tofus de diferentes cultivares de soja: perfil sensorial e correlação com medidas instrumentais e de composição química (artigo 3).

BENASSI, V.T.; YAMASHITA, F.; PRUDENCIO, S.H. A statistical approach to define some tofu processing conditions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 4, p. , 2011.

BENEDETI, S. **Efeito do tratamento térmico em isoflavonas concentradas por nanofiltração**. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2010.

BERHOW, M.A. Modern analytical techniques for flavonoid determination. In: BUSLIG, B. S.; MANTHEY, J. A. (Ed.). **Flavonoids in the living cell**. New York: Kluser Academic, 2002. p.61-76.

BHARDWAJ, H.L.; BHAGSARI, A.S.; JOSHI, J.M.; RANGAPPA, M.; SAPRA, V.T.; RAO, M.S. Yield and quality of soymilk and tofu made from soybean genotypes grown at four locations. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p.401-405, 1999.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BROUNS, F. Soya isoflavones: a new and promising ingredient for the health foods sector. **Food Research International**, Barking, v. 35, p. 187-193, 2002.

BUZINARO, E.F.; ALMEIDA, R.N.A.; MAZETO, G.M.F.S. Biodisponibilidade de cálcio dietético. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, São Paulo, v. 50, n. 5, 2006.

CAI, T.D.; CHANG, K.C. Characteristics of production-scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size, mixing time and coagulant concentration. **Food Research International**, Barking, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.

CAI, T.D.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C.; HOU, H.J.; JI, M. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. **Food Research International**, Barking, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.

CALEGUER, V. F.; TOFFOLI, C.; BENASSI, M.T. Avaliação da aceitação de preparados sólidos comerciais para refresco sabor laranja e correlação com parâmetros físico-químicos. **Semina-Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n.4, p. 587-598, 2006.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; KITAMURA, K.; BELÉIA, A.D.; OLIVEIRA, M.C.N. Influence of growth locations on isoflavone contents in Brazilian soybeans cultivars. **Breeding Science**, Tokyo, v. 48, p. 409 - 413, 1998.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; BELÉIA, A. D.P.; FERREIRA, S.H.P.; OLIVEIRA, M.C.N.; KITAMURA, K. Effects of isoflavones on beany flavor and astringency of soymilk and cooked whole soybeans grains . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 1045 - 1052, 1999a.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; BELÉIA, A.D.P.; KITAMURA, K.; OLIVEIRA, M.C.N. Effects of genetics and environment on isoflavone content fo soybean from different regions of Brazil. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1788 – 1795, 1999b.

CARRÃO-PANIZZI, M.C. Melhoramento genético para obtenção de cultivares de soja mais adequados ao consumo humano. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, São Paulo, v. 15, p. 330 - 340, 2000.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; FAVONI, S.P.G.; KIKUCHI, A. Extraction time for isoflavone determination. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.45, n.4, p.515-518, 2002.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; PÍPOLO, A. E.; ALMEIDA, L. A.; MANDARINO, J. M. G.; KASTER, M.; ARIAS, C. A. A.; CARNEIRO, G. E. de S.; TOLEDO, J. F. F.de; MIRANDA, L. C.; YORINORI, J. T.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R.; DOMIT, L. A.; BENASSI, V. de T; ARANTES, N. E.; OLIVEIRA, A. C. B. de; BROGIN, R. L.; LAMBERT, E. de S.; BERTAGNOLLI, P. F.; RANGEL, M. A. S.; SOUZA, P. I. de M. de. BRS 267: cultivar de soja para alimentação humana. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 315-317. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; KWANYUEN, P.; ERHAN, S.Z.; LOPES, I.O.N. Genetic variation and environmental effects on beta-conglycinin and glycinin content in Brazilian soybean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.9, p. 1105-1114, 2008.

CARRÃO PANIZZI, M. C.; PÍPOLO, A. E.; MANDARINO, J. M. G.; ARANTES, N. E.; GARCIA, A.; BENASSI, V. de T.; ARIAS, C. A.; KASTER, OLIVEIRA, M. F. de; OLIVEIRA, M. A.; TOLEDO, J. F. F. de; MOREIRA, J. U. V.; CARNEIRO, G. E. de S. Breeding specialty soybean cultivars for processing and value-added utilization at Embrapa in Brazil. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 8., 2009, Beijing. Developing a global soy blue print for a safe secure and sustainable supply: proceedings. Beijing. **Proceedings...** Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences: Institute of Crop Science, 2009a. 1 CD-ROM.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; PÍPOLO, A. E.; MANDARINO, J. M. G.; OLIVEIRA, M. A.; GARCIA, A.; BENASSI, V. de T.; ARIAS, C. A. A.; KASTER, M.; OLIVEIRA, M. F.; TOLEDO, J. F. F.; CARNEIRO, G. E. de S.; MOREIRA, J. U. V.; ARANTES, N. E.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R.; DOMIT, L. A.; MIRANDA, L. C.; BROGIN, R. L. Cultivar de soja BRS 267 para consumo na alimentação humana como grãos maduros ou verdes como hortaliça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 5.; MERCOSOJA 2009, Goiânia. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2009b. p. 235, trab. 430.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; BERHOW M.; MANDARINO, J.M.G.; OLIVEIRA, M.C.N. Environmental and genetic variation of isoflavone content of soybean seeds grown in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 2009c.

CASÉ F.; DELIZA, R.; ROSENTHAL, A.; MANTOVANI, D.; FELBERG, I. Produção de 'leite' de soja enriquecido com cálcio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 86-91, 2005.

CIABOTTI, S. **Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos de soja convencional e livre de lipoxigenase**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CIABOTTI, S.; BARCELLOS, M. de F.P.; MANDARINO, J.M.G.; TARONE, A.G. Avaliações químicas e bioquímicas dos grãos, extratos e tofus de soja comum e de soja livre de lipoxigenase. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 920-929, 2006.

COWARD, L.; SMITH, M.; KIRK, M.; BARNES, S. Chemical modification of isoflavones in soyfoods during cooking and processing. **American Journal Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 68, p. 1486S – 14891S, 1998.

CUI, Z.; JAMES, A.T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R.F.; CARTER Jr., T.E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (Ed.) **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, 2004. p. 290-295.

CULTIVARES de Soja 2004/2005 Região Centro-Sul. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2005. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 249).

CULTIVARES de Soja 2007/2008 Região Centro-Sul. Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2008. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 299).

DA SILVA, J.B. **Características de cultivares de soja convencionais e para consumo humano: análises físicas, químicas e sensoriais (sentidos humanos e sensores eletrônicos)**. 2009. 187 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, 2009.

DA SILVA, J.B.; CARRÃO-PANIZZI, M.C.; PRUDENCIO, S.H. Chemical and physical composition of grain-type and food-type soybean for food processing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p.777-784, 2009.

DAMODARAN, S. Food proteins: an overview. In: DAMODARAN, S.; PARAF, A. (Eds.). **Food proteins and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 1-24.

EMBRAPA SOJA. Soja na alimentação. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/soja_alimentacao/index.php>. Acesso em: jul. 2011.

EVANS, D.E.; TSUKAMOTO, C.; NIELSEN, N.C. A small scale method for the production of soymilk and silken tofu. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 1463-1471, 1997.

FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 1996, p. 391-394.

FERREIRA, F.D. **Estatística Multivariada**. UFLA, Lavras, 1º Ed, 662 p., 2008.

FUKUSHIMA, D. Recent progress in research and technology on soybeans. **Food Science and Technology Research**, Tsukuba, v. 7, n. 1, p. 8-16, 2001.

GARTON, L. 9th International Soy Symposium on the Role of Soy in Health Promotion and Chronic Disease Prevention and Treatment. Disponível em: <http://www.sojanet.com/fileadmin/www_alpro-soya_com/content/www.sojanet.com/09-diverse/Reports/Washington_soy_HCP_article_final.pdf>. Acesso em jul/2011.

HARON, H.; ISMAIL, A.; AZLAN, A.; SHAHAR, S.; PENG, L.S. Daidzein and genistein contents in tempeh and selected soy products. **Food Chemistry**, London, v. 115, n. 4, p. 1350-1356, 2009.

HEANEY, R.P.; RAFFERTY, K. The settling problem in calcium-fortified soybean drinks. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 106, n. 11, p. 1753, 2006.

HOU, H.J.; CHANG, K.C.; SHIH, M.C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 4, p. 824-827, 1997.

IBGE. Produção: confronto das safras de 2010 e 2011 – Brasil – junho 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201106_5.shtm>. Acesso em: jul. 2011.

JACKSON, C.-J.C.; DINI, J.P.; LAVANDIER, C.; RUPASINGHE, H.P.V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; De GRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, London, v. 37, p. 1117-1123, 2002.

JOHNSON, L.D.; WILSON, L.A. Influence of soybean variety and the method of processing in tofu manufacturing: comparison of methods for measuring soluble solids in soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, p. 202-204, 1984.

KAO, F.J., SU, N.W., LEE, M.H. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 51, p. 6211-6216, 2003.

- KAO, T.H.; LU, Y.F.; HSIEH, H.C.; CHEN, B.H. Stability of isoflavone glucosides during processing of soymilk and tofu. **Food Research International**, Barking, v. 37, p. 891–900, 2004.
- KIM, Y.S.; CHOI, Y.M.; NOH, D.O.; CHO, S.Y.; SUH, H.J. The effect of oyster shell powder on the extension of the shelf life of tofu. **Food Chemistry**, Washington, v. 103, p. 155–160, 2007.
- KITAMURA, K.; KAIZUMA, N. Mutant strains with low level of subunits of 7S globulin in soybean seed. **Japanese Journal of Breeding**, Tokyo, v. 31, n. 4, p. 353-359, 1981.
- KOHYAMA, K.; SANO, Y.; DOI, E. Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu (*soybean curd*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 7, p. 1808-1812, 1995.
- GENOVESE, M.I.; LAJOLO, F.M. Isoflavones in soy based foods consumed in Brazil: levels, distribution and estimated intake. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 5987 – 5993, 2002.
- LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food**. 2nd ed. New York: Springer, 2010.
- LIM, B.T.; DE MAN, J.M.; DE MAN, L.; BUZZEL R.I. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: calcium sulfate coagulant. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 4, p. 1088-1092, 1990.
- LIU, K. Current constraints in soybean food utilization and efforts to overcome them.: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VI, 1999, Chicago. **Proceedings...** Champaign: Superior Printing, 1999a. p. 409-418.
- LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. Gaithersburg: Aspen, 1999b.
- LIU, Z.S.; CHANG, S.K.C.; LI, L.T.; TATSUMI, E. Efect of selective thermal denaturation of soybean proteins on soymilk viscosity and tofu´s physical properties. **Food Research International**, Barking, v. 37, n. 8, p. 815-822, 2004.

LU, J.Y., CARTER, E.; CHUNG, R.A. Use of calcium salts for soybean curd preparation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, p. 32-34, 1980.

MASUDA, R. Quality Requirement and Improvement of Vegetable Soybean. In: Shanmugasundaram, S. (Ed). **Vegetable soybean: Research needs for production and quality improvement**. Taiwan: Asian Vegetable Research Development Center, 1991. p. 92 – 102.

MEILGAARD, M.C.; CIVILLE, G.V.; CARR, T. **Sensory Evaluation Techniques**. 4th ed. New York: CRC Press. 2007.

MESSINA, M; MESSINA, V.; SETCHELL, K. **The simple soybean and your health**. Garden City Park: Avery, 1994.

MESSINA, M.; WATANABE, S.; SETCHELL, K.D.R. Report on the 8th International Symposium on the Role of Soy in Health Promotion and Chronic Disease Prevention and Treatment. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 139, p. 796S-802S, 2009.

MIN, S.; YU, Y.; ST. MARTIN, S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, n. 1, p. C8-C12, 2005.

MOSKOWITZ, H.R. **Product testing and sensory evaluation of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1983. 605p.

MUJOO, R.; TRINH, D.T.; NG P.K.W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. **Food Chemistry**, London, v. 82, n. 2, p. 265-273, 2003.

MULLIN, W.J.; FREGEAU-REID, J.A.; BUTLER, M.; POYSA, V.; WOODROW, L.; JESSOP, D.B.; RAYMOND, D. An interlaboratory test of a procedure to assess soybean quality for soymilk and tofu production. **Food Research International**, Barking, v. 34, n. 8, p. 669-677, 2001.

MURPHY, P.A.; RESURRECCION, A.P. Varietal and environmental differences in soybean glycinin and β -conglycinin content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 32, n. 4, p. 911-915, 1984.

NOH, E.J.; PARK, S.Y.; PAK, J.I.; HONG, S.T.; YUN, S.E. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans. **Food Chemistry**, London, v. 91, p. 715-721, 2005.

OAKENFULL, D.; PEARCE, J.; BURLEY, R.W. P. Protein gelation. In: DAMODARAN, S.; PARAF, A. (Eds.). **Food proteins and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 111-142.

OLIVEIRA, A.P.V.; FRASSON, K.; ALMEIDA, T.C.A.; BENASSI, M.T. Aceitação de sobremesas lácteas dietéticas e formuladas com açúcar: teste afetivo e mapa de preferência interno. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 627-633, 2004.

OP&P PRODUCT RESEARCH. **Senstools versão 2.3**. Utrecht: OP&P Product Research, 1995-1998. Conjunto de programas. 1 CD ROM.

PENG, I.C.; QUASS, D.W.; DAYTON, W.R.; ALLEN, C.E. The physicochemical and functional properties of soybean 11S globulin – a Review. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 61, n. 6, p. 480-490, 1984.

POYSA, V.; WOODROW, L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. **Food Research International**, Barking, v. 35, n. 4, p. 337-345, 2002.

POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. **Food Research International**, Barking, v. 39, n. 3, p. 309-317, 2006.

POYSA, V.; WOODROW, L.; YU, K. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. In: INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING UTILIZATION CONFERENCE, IV, 2004, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.68.

PRABHAKARAN, M.P.; PERERA, C.O.; VALIYAVEETIL, S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chemistry**, London, v. 99, n. 3, p. 492-499, 2006.

- REIS, R.C.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, J.C.S.; MINIM, V.P.R. Mapa de Preferência. In: MINIM, V.P.R. (Ed.) **Análise Sensorial: estudos com consumidores**. 1ª. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. p.111-126.
- RIBLETT, A.L.; HERALD, T.J.; SCHMIDT, K.A.; TILLEY, K.A. Characterization of β -conglycinin and glycinin soy protein fractions from four selected soybean genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 10, p. 4983-4989, 2001.
- ROBINSON, D.S.; WU, Z.; DOMONEY, C.; CASEY, R. Lipoxigenases and the quality of foods. *Food Chemistry*, London, v. 54, p. 33-43, 1995.
- ROCHER, J. Soja do Brasil bate recorde mundial de produtividade. **Jornal de Londrina**, Londrina, 10 set. 2011. Disponível em: <<http://www.jornaldelondrina.com.br/online/conteudo.phtml?id=1167704>>. Acesso em: 15 set. 2011.
- ROMÃO, R.B.M.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M.T.; SOARES, H. Nota Prévia – Metodologia para Avaliação de Cristalização em Balas Duras por Imagem Digitalizada. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 151-155, 2006.
- ROSS, A.C.; TAYLOR, C.L.; YAKTINE, A.L.; DEL VALLE, H.B. (Eds.) **DRI Dietary Reference Intakes: Calcium, Vitamin D**. Washington: The National Academies, 2011. p. 1108-1109. Disponível em: <http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13050&page=1103>. Acesso em: 20 jul 2011.
- ROSSET, M. **Distribuição de ácido fólico e minerais durante o processamento de extrato hidrossolúvel de soja e tofu**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, 2007.
- ROSSINI, M.C.; IRIGON, D.L.; KRZYZANOWSKI, F.C.; VERNETTI, F.J. Caracterização de 26 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) merrill] recomendadas para a Região Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 227-235, 1995.

SACKS, F.M.; LICHTENSTEIN, A.; VAN HORN, L.; HARRIS, W.; KRIS-ETHERTON, P.; WINSTON, M. Soy protein, isoflavones, and cardiovascular health: an American Heart Association Science Advisory for professionals from the Nutrition Committee.

Circulation, n. 113, p.1034-1044, 2006. Disponível em :

<<http://circ.ahajournals.org/content/113/7/1034.abstract>>. Acesso em: jul/11.

SAOWAPARK, S.; APICHARTSRANGKOON, A.; BELL, A.E. Viscoelastic properties of high pressure and heat induced tofu gels. **Food Chemistry**, London, v. 107, p. 984–989, 2008.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/STAT; user's guide: version 6**, 4. ed. Cary, SA, 1989. v.2, 846p.

SBARDELOTTO, A.; LEANDRO, G.V. Escolha de cultivares de soja com base na composição química dos grãos como perspectiva para maximização dos lucros para a indústria processadora. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 614 - 619, 2008.

SETCHELL, K. D. R., BROWN, N. M., DESAI, P., ZIMMER-NECHEMIAS, L., WOLFE, B. E., BRASHEAR, W. T. Bioavailability of pure isoflavones in healthy humans and analysis of commercial soy isoflavone supplements. **Journal of Nutrition**, v. 131, p. 1362S–1375S, 2001.

SHEN, C.F.; DE MAN, L.; BUZZEL, R.I.; DE MAN, J.M. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: glucono-delta-lactone. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 1, 109-112, 1991.

SHIH, M.C.; HOU, H.J.; CHANG, .C. Process optimization for soft tofu. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 4, p. 833-837, 1997.

SHIN, I.-S.; HAN, J.-S.; CHOI, K.-D.; CHUNG, D.-H.; CHOI, G.-P.; AHN, J. Effect of isothiocyanates from horseradish (*Armoracia rusticana*) on the quality and shelf life of tofu. **Food Control**, v. 21, p. 1081–1086, 2010.

STATISOFT. **Statistica for Windows. Computer program manual**. Tulsa: Statsoft, Inc., 1995.

STONE, H.; SIDEL, J.L. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. **Food Technology**, Chicago, v. 28, n.11, p.24-34, 1974.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1993.

SUN, N.; BREENE, W.M. Calcium sulfate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybean varieties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 6, 1604-1607, 1991.

TACO - Tabela brasileira de composição de alimentos - Versão 2. 2.ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em: 06 mai 2011.

TAKAHASHI, K.; BANBA, H.; KIKUCHI, A.; ITO, M.; NAKAMURA, S. An induced mutant line lacking the α -subunit of β -conglycinin in soybean. **Breeding Science**, Tokyo, v. 44, p. 65-66, 1994.

TITCHENAL, C.A.; DOBBS, J. A system to assess the quality of food sources of calcium. Short Communication. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, p. 717–724, 2007.

TODA, K.; CHIBA, K.; ONO, T. Effect of Components Extracted from Okara on the Physicochemical Properties of Soymilk and Tofu Texture. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 2, p. C108-C113, 2007.

TORRES-PENARANDA, A.V.; REITMEIER, C.A. Sensory descriptive analysis of soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 66, n. 2, p. 352 - 356, 2001.

TORRES-PENARANDA, A.V.; REITMEIER, C.A.; WILSON, L.A.; FEHR, W.R.; NARVEL, J.M. Sensory characteristics of soymilk and tofu made from lipoxigenase-free and normal soybeans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 6, p. 1084 - 1087, 1998.

TSAI, S.J.; LAN, C.Y.; KAO, C.S.; CHEN, S.C. Studies on the yield and quality characteristics of tofu. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 6, p. 734-740, 1981.

TSUKADA, Y.; KITAMURA, K.; HARADA, K.; KAIZUMA, N. Genetic analysis of subunits of two major storage proteins (β -conglycinin and glycinin) in soybean seeds. **Japanese Journal of Breeding**, Tokyo, v. 36, p. 390-400, 1986.

USDA. Production, supply and distribution on line. Disponível em:
<<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em set. 2011.

VERNETTI, F. de J. Simbologia genética dos descritores usados no Banco Ativo Germoplasma. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Recursos Genéticos (Brasília, DF). **Catálogo de Germoplasma de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Brasília, 1982. p.131-142. (EMBRAPA – CENARGEN, Documento, 3).

WANG, H.; MURPHY, P.A. Isoflavone content in commercial soybean foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 8, p. 1666 - 1673, 1994a.

WANG, H.; MURPHY, P.A. Isoflavone composition of American and Japanese soybeans in Iowa: effects of variety, crop year, and location. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 8, p. 1674 - 1677, 1994b.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; KWOLEK, W. F. Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 3, p. 245-248, 1983.

WILSON, L.A. Current developments in soyfood processing North America. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VI, 1999, Chicago. **Proceedings...** Champaign: Superior Printing, 1999. p. 394-402.

YAGASAKI, K.; TAKAGI, T.; SAKAI, M.; KITAMURA, K. Biochemical characterization of soybean protein consisting of different subunits of glycinin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 3, p. 656-660, 1997.

YOKOMIZO, G. K.; DUARTE, J. B.; VELLO, N. A. Correlações fenotípicas entre tamanho de grãos e outros caracteres em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2235 - 2241, 2000.

YUAN, S.; CHANG, S.K.C. Texture profile of tofu as affected by Instron parameters and sample preparation, and correlations of Instron hardness and springiness with sensory scores. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 2, p. S136- S145, 2007.

ZHAO, Y.; MARTIN, B.R.; WEAVER, C.M. Calcium bioavailability of calcium carbonate fortified soymilk is equivalent to cow's milk in young women. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 135, n. 11, p. 2379–2382, 2005.

ANEXO I

Processamento do tofu

Tratamento	Tratamento térmico*		Coagulante** (%)		t _{coagulação} (min)		Corte do coágulo		t _{dessoragem} (min)	
1	breve	(-1)	2,0	(-1)	10	(-1)	Não	(-1)	60	(+1)
2	longo	(+1)	2,0	(-1)	10	(-1)	Não	(-1)	30	(-1)
3	breve	(-1)	2,5	(+1)	10	(-1)	Não	(-1)	30	(-1)
4	longo	(+1)	2,5	(+1)	10	(-1)	Não	(-1)	60	(+1)
5	breve	(-1)	2,0	(-1)	20	(+1)	Não	(-1)	30	(-1)
6	longo	(+1)	2,0	(-1)	20	(+1)	Não	(-1)	60	(+1)
7	breve	(-1)	2,5	(+1)	20	(+1)	Não	(-1)	60	(+1)
8	longo	(+1)	2,5	(+1)	20	(+1)	Não	(-1)	30	(-1)
9	breve	(-1)	2,0	(-1)	10	(-1)	Sim	(+1)	30	(-1)
10	longo	(+1)	2,0	(-1)	10	(-1)	Sim	(+1)	60	(+1)
11	breve	(-1)	2,5	(+1)	10	(-1)	Sim	(+1)	60	(+1)
12	longo	(+1)	2,5	(+1)	10	(-1)	Sim	(+1)	30	(-1)
13	breve	(-1)	2,0	(-1)	20	(+1)	Sim	(+1)	60	(+1)
14	longo	(+1)	2,0	(-1)	20	(+1)	Sim	(+1)	30	(-1)
15	breve	(-1)	2,5	(+1)	20	(+1)	Sim	(+1)	30	(-1)
16	longo	(+1)	2,5	(+1)	20	(+1)	Sim	(+1)	60	(+1)

(*) o termo "breve" significa que o extrato foi aquecido até a ebulição e o termo "longo" significa que, após a ebulição, o aquecimento foi prolongado por mais 10 min, em banho-maria.

(**) porcentagem calculada sobre a massa inicial dos grãos.

Quadro 1. Planejamento fatorial fracionário 2^{5-1} para produção de tofu

AMOSTRAS	Rendimento (g tofu /100 g grãos)	Dureza (N)	Teor de Proteínas (g/100 g tofu)	Sólidos Totais (g/100 g tofu)
Comerciais				
Extra soft	-	3,2	6,7	15,1
Soft	-	3,7	8,3	15,3
Artesanal 1	-	4,3	9,5	18,3
Artesanal 2	-	7,1	10,9	21,5
Experimentais				
1	237,5	3,5	11,2	20,4
2	282,3	3,7	8,0	18,4
3	249,3	3,9	9,8	17,4
4	172,7	3,5	8,7	17,3
5	294,1	1,8	5,5	14,4
6	260,2	3,9	7,0	13,1
7	258,4	3,3	9,8	18,7
8	279,9	3,7	9,9	20,1
9	258,3	5,6	12,3	20,1
10	255,1	4,3	9,5	19,4
11	255,4	4,5	9,5	20,5
12	277,7	4,3	10,2	18,9
13	239,7	4,6	11,1	17,9
14	308,2	3,8	10,6	18,5
15	247,1	4,6	8,2	16,2
16	235,2	5,1	10,5	20,4
Média	256,9	3,9	10,1	18,3

Quadro 2. Características dos tofus comerciais e experimentais

Variáveis/ Interações	Dureza (N)	Rendimento (g tofu/100 g grãos)	Teor de proteínas (g/100 g tofu)	Sólidos totais (g/100 g tofu)
X ₁ (tratamento térmico extrato)	0,1	3,9	-0,40	1,0
X ₂ (quantidade coagulante)	0,3	-20,0	ns	1,2
X ₃ (tempo de coagulação)	-0,3	16,8	-0,88	-1,3
X ₄ (corte do coágulo)	1,2	5,3	1,60	1,1
X ₅ (tempo de dessoragem)	0,2	-35,4	0,39	1,1
X ₁ . X ₂	ns	-15,1	0,91	ns
X ₁ . X ₃	0,5	7,1	1,30	1,6
X ₁ . X ₄	-0,5	15,0	0,32	ns
X ₁ . X ₅	0,2	-20,9	-1,17	-2,1
X ₂ . X ₃	0,4	ns	0,89	2,7
X ₂ . X ₄	-0,2	8,5	-1,56	-1,6
X ₂ . X ₅	-0,3	ns	0,30	ns
X ₃ . X ₄	0,1	-20,9	0,57	ns
X ₃ . X ₅	0,6	ns	0,76	0,7
X ₄ . X ₅	ns	8,9	-0,55	-0,4
R ² _{adj}	0,99	0,99	0,91	0,99

ns = não significativo a 95% confiança
p-value > 0,05

Quadro 3. Efeito das variáveis de processo e interações binárias sobre as variáveis de resposta

Simulação Matemática									
Condições de processo						Valores calculados			
Tratamento	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	Dureza (N)	Rendimento (g/100 g grãos)	Teor de Proteínas (g/100 g tofu)	Sólidos Totais (g/100 g tofu)
A	+1	-1	-1	+1	-1	4,33	305,65	12,02	21,77
B	+1	+1	+1	+1	-1	4,33	279,81	11,88	21,01
C	+1	+1	-1	+1	-1	4,25	276,77	10,76	18,67
D	-1	-1	-1	+1	-1	5,31	257,85	13,12	20,29
Validação									
Condições de processo						Valores reais			
Tratamento A	+1	-1	-1	+1	-1	Dureza (N)	Rendimento (g/100 g grãos)	Teor de Proteínas (g/100 g tofu)	Sólidos Totais (g/100 g tofu)
Média de duas repetições						4,07	270,65	9,75	17,21
Diferença entre valor real e calculado						-6%	-11%	-19%	-21%

x₁=tratamento térmico do extrato, x₂=quantidade de coagulante, x₃=tempo de coagulação, x₄=corte do coágulo, x₅=tempo de dessoragem

Quadro 4. Respostas calculadas pelos modelos polinomiais em função das condições de processo selecionadas

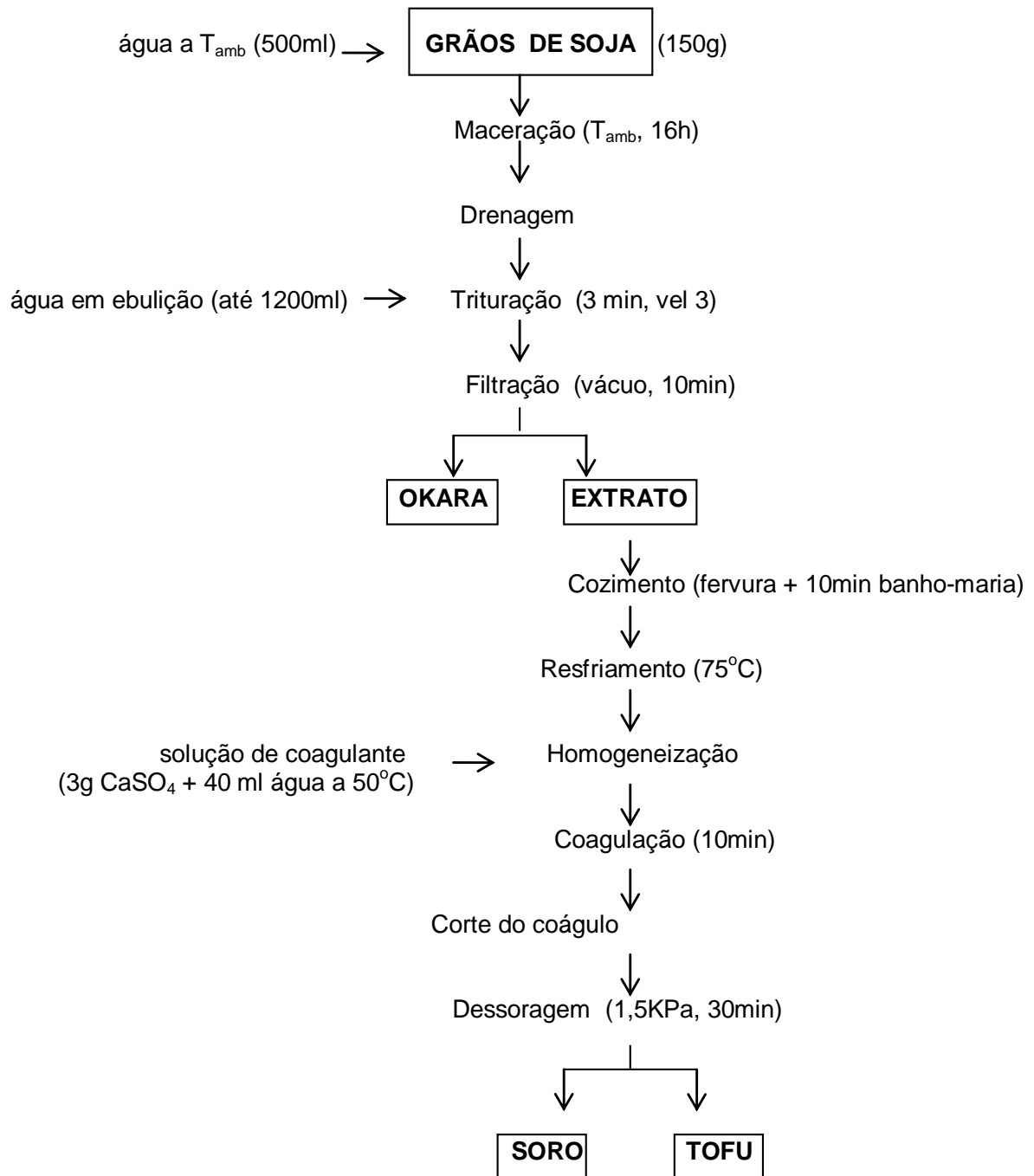


Figura 1. Etapas de processamento do tofu.
Figura 1. Fluxograma de processamento do tofu.

ANEXO II

Análise Sensorial



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS
 Universidade Estadual de Londrina/ Hospital Universitário Regional Norte do Paraná
 Registro CONEP 268

Parecer N° 216/07 CAAE N° 0216.0.268.000-07	Londrina, 24 de outubro de 2007
PESQUISADORA: SANDRA HELENA PRUDENCIO	
<p>Ilma Sra</p> <p>O "Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina/ Hospital Universitário Regional Norte do Paraná" de acordo com as orientações da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS, <u>APROVA</u> a execução do projeto:</p> <p align="center">"IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CULTIVARES DE SOJA VISANDO À PRODUÇÃO DE TOFU"</p> <p>Informamos que a Sra deverá comunicar, por escrito, qualquer modificação que ocorra no desenvolvimento da pesquisa, bem como deverá ser apresentado ao CEP/UEL relatório final da pesquisa.</p>	
Situação do Projeto: APROVADO	
<p align="center">Atenciosamente,</p> <p align="center">  Prof. Dra. Nilza Maria Diniz Coordenadora Comitê de Ética em Pesquisa-CEP/UEL </p>	

Campus Universitário: Rodovia Celega Garcia CM (PR-445), km 308 - Fone (043) 371-4000 FAXN - Fax 328-4440 - Caixa Postal 6.001 - CEP 86051-990 - Internet: <http://www.uel.br>
 Hospital Universitário/Centro de Ciências da Saúde: Av. Robert Koch, 40 - Vila Operária - Fone (043) 381-2000 FAXN - Fax 337-4041 e 337-7495 - Caixa Postal 791 - CEP 86038-440
 LONDRINA - PARANÁ - BRASIL

Form. Código 11.764 - Formato A4 (110x297mm)

Quadro 1. Parecer No. 216/07, do Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da UEL

QUESTIONÁRIO PARA RECRUTAMENTO DE PROVADORES

Você já deve ter ouvido falar de provadores profissionais de vinhos que diferenciam vinhos de safras diferentes apenas pelo odor. O que torna esses provadores capazes de tal façanha é, principalmente, o treinamento que eles recebem.

Neste momento, desejamos formar uma equipe treinada de provadores, capacitada para medir a intensidade das características sensoriais (aparência, sabor, aroma e textura) de *tofu* ou “queijo” de soja. Ser um provador não tomará muito de seu tempo e não envolverá nenhuma tarefa difícil. A equipe de provadores se reunirá uma ou duas vezes por semana, por um período de 30 minutos, na Cozinha Experimental da Embrapa Soja. Esperamos que os provadores permaneçam na equipe por cerca de 3 (três) meses para o presente estudo e, eventualmente, serão recrutados para realizar outras análises sensoriais na empresa.

Se você deseja participar da equipe de provadores, por favor, preencha este formulário.

Se você tiver alguma dúvida ou necessitar de informações adicionais, entre em contato com Vera (ramal 6273, benassi@cnpso.embrapa.br).

Dados Pessoais:

Nome: _____

E-mail: _____

Ramal: _____ Outro telefone/celular: _____

Faixa etária:

15-20 20-30 30-40 40-50 acima de 50 anos

Sexo: masculino feminino

Cargo: _____

Escolaridade:

1º grau 2º grau 3º grau outro _____

Gostaria que fosse feito contato com seu superior imediato para informá-lo da sua participação neste teste sensorial? Se sim, preencha abaixo.

Nome: _____ Ramal: _____

Horários e dias da semana disponíveis para participar do treinamento:

terça 16 h quarta 16 h quinta 16 h sexta 16 h

Indique o quanto você aprecia cada um destes produtos:

	Gosto	Nem gosto/ Nem desgosto	Não gosto	Nunca provei
<i>tofu</i> (“queijo” de soja)				
extrato (“leite”) de soja				
bebida de soja com sabor				
soja em grão cozida				
proteína texturizada de soja				

Cite alimentos e ingredientes que você desgosta muito:

Cite um ou mais exemplos de alimento:

Macio _____

Firme _____

Que gruda nos dentes _____

Especifique os alimentos que você não pode comer ou beber por razões de saúde. Por favor, explique o motivo.

Indique se você possui:

Diabetes Doença bucal

Hipertensão Dentadura

Hipoglicemia

Você já participou de algum teste sensorial antes?

() Não.

() Sim. De que tipo? () Aceitação () Discriminativo () Descritivo () Não sei

Marque na linha um trecho que indique a proporção da figura que está coberta de preto (use apenas sua capacidade visual de avaliar).



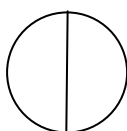
nenhuma

toda



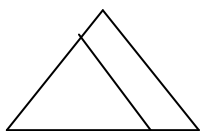
nenhuma

toda



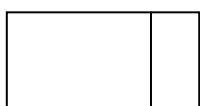
nenhuma

toda



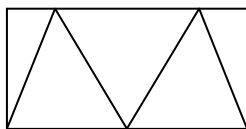
nenhuma

toda



nenhuma

toda



nenhuma

toda

Quadro 2. Questionário de recrutamento dos julgadores participantes da equipe da ADQ

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, declaro que fui satisfatoriamente esclarecido pelo pesquisador, em relação à minha participação no projeto de pesquisa “IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CULTIVARES DE SOJA VISANDO À PRODUÇÃO DE TOFU”, na qualidade de provador ou provador do produto. Sei que a função da equipe de provadores é, durante as sessões de avaliação, previamente agendadas, medir a intensidade das características sensoriais de aroma, gosto, sabor e textura em amostras de *tofu* (ou “queijo” de soja). Para tanto, antes da etapa de avaliação, os provadores serão selecionados e treinados em avaliar tais amostras. Fui informado de que os *tofus* serão produzidos a partir de diferentes cultivares de soja destinadas à alimentação humana e não transgênicas, tendo inteira consciência de que a ingestão de tais produtos não trará nenhum risco à minha saúde, por se tratar de um alimento consumido habitualmente por diversas populações do mundo. Estou ciente de que minha participação na equipe será por um período aproximado de três meses, conforme descrito no **Questionário para Recrutamento de Provadores**, em anexo, que respondi por desejar participar desta equipe sensorial.

Entendo que poderei, a qualquer momento, entrar em contato com o pesquisador responsável (ramal: 6273, cel. 8406-0803, email: benassi@cnpso.embrapa.br), caso haja algum efeito inesperado que possa prejudicar meu estado de saúde físico e/ou mental. Entendo também que poderei deixar de participar da pesquisa em qualquer fase, que minha participação não envolverá quaisquer custos, e que, ao participar, estarei colaborando para o desenvolvimento de uma tese de doutorado e o aperfeiçoamento de um profissional. Além disso, não coloco qualquer objeção quanto ao uso dos dados originados neste projeto para fins didáticos e de divulgação em revistas científicas brasileiras ou estrangeiras.

Desta forma, sem ter sido submetido a qualquer tipo de pressão ou coação, concordo voluntariamente e expresso meu total consentimento em participar do projeto.

Londrina, _____ de fevereiro de 2010.

Assinatura do Participante

Vera de Toledo Benassi, MSc.
Pesquisador Responsável

Nome:..... Data:.....
Amostras: e

Por favor, prove e compare as duas amostras quanto à aparência, aroma, sabor e textura. Descreva abaixo em quais aspectos elas são semelhantes e em quais são diferentes.

	Semelhanças	Diferenças
Aparência		
Aroma		
Sabor		
Textura		

Quadro 4. Ficha para Levantamento de Terminologia Descritiva

Atributo Sensorial	Definição	Referências de intensidade
APARÊNCIA Cor amarelada Cor creme Uniformidade da superfície	Intensidade de cor amarelada no tofu. Intensidade de cor creme no tofu, variando desde fraca até forte. Homogeneidade observada na superfície da amostra.	Fraca: 10 mL de extrato concentrado obtido da cultivar BRS 257 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 500 mL água a 90°C) + 10 mL água + 40 mL leite de vaca. Forte: 60 mL de extrato concentrado obtido da cultivar BRS 257. Fraca: 20 mL de extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 40 mL leite de vaca. Forte: 40 mL de extrato obtido da cultivar BRSMG 790A (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 20 mL de leite fermentado Yakult. Baixa (quando a amostra apresenta rugosidade, furinhos, etc): amostra de tofu comercial firme “da Tereza”. Alta (quando a amostra é totalmente lisa): amostra de tofu comercial extra-soft da Agronippo.
AROMA Aroma de Soja	Aroma característico do grão de soja cozido e de outros produtos de soja frescos não fermentados (extrato, tofu).	Baixa: tofu obtido a partir da cultivar BRS 232. Alta: tofu obtido a partir da cultivar BRSMG 790A.
SABOR Sabor de soja Gosto amargo Adstringência	Sabor característico do grão de soja cozido e de outros produtos de soja frescos não fermentados (extrato, tofu). Gosto associado à solução de cafeína. Sensação de “amarrar” ou “secar” a boca.	Baixo: tofu obtido a partir da cultivar BRS 232. Alto: tofu obtido a partir da cultivar BRSMG 790A. Ausente: água destilada. Intenso: extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 0,05% cafeína. Ausente: água destilada. Intensa: extrato obtido da cultivar BRS 258 (350 g de grãos de soja macerados, triturados com 1000 mL de água a 90°C) + 0,15% ácido tânico.
TEXTURA Dureza Suculência Granulosidade	Força necessária para comprimir a amostra entre os dentes molares. Quantidade de líquido liberada da amostra ao ser mastigada. Característica da amostra ao se desfazer na mastigação.	Baixa: amostra de tofu comercial extra soft da Agronippo. Alta: amostra de tofu comercial “da Tereza”. Baixa (amostra seca): amostra de tofu comercial firme “da Tereza”. Alta (amostra úmida): tofu obtido a partir da cultivar BRS 258. Pouca (quando a amostra é cremosa e se “desmancha”, sendo rapidamente engolida) : tofu obtido a partir da cultivar BRS 262. Muita (quando a amostra se desfaz em grânulos, os quais permanecem por mais tempo na boca antes de serem engolidos): amostra de tofu comercial “ firme da Tereza”.

Quadro 5. Atributos, definições e referências utilizados para a avaliação sensorial de tofus de cultivares brasileiras de soja por Análise Descritiva Quantitativa

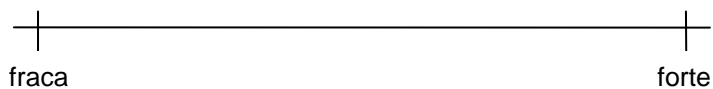
Nome: _____

Data: __/__/__

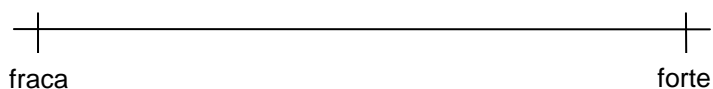
No. Amostra _____

Seguindo o protocolo fornecido, prove e avalie a intensidade dos seguintes atributos na amostra de tofu:

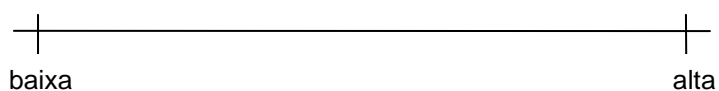
Cor amarelada



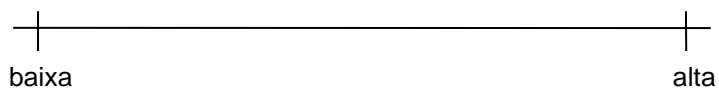
Cor creme



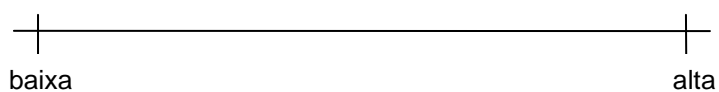
Uniformidade da superfície



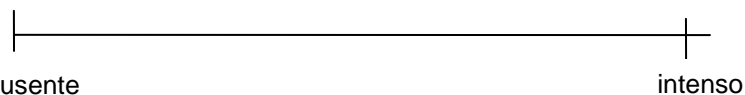
Aroma de soja



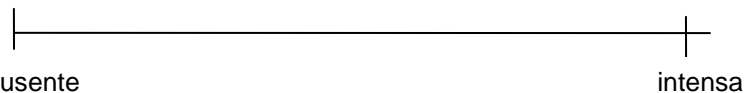
Sabor de soja



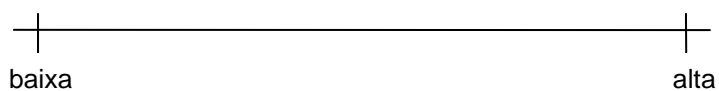
Sabor amargo



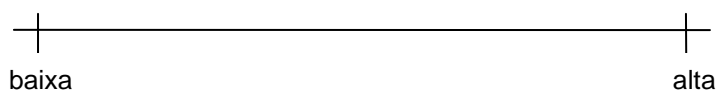
Adstringência



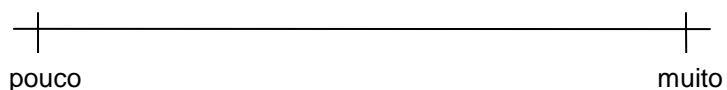
Dureza



Suculência



Textura granulosa



Quadro 6. Ficha de avaliação dos tofus

CARO PROVADOR

Você está recebendo 4 amostras de tofu. Avalie as amostras da esquerda para a direita e termine cada uma delas antes de passar para a seguinte.

Ao iniciar o teste e entre uma amostra e outra, lavar bem a boca com água, para retirar quaisquer resíduos.

Siga os passos:

- 1) Anote o número da amostra na ficha.
- 2) Levante a tampa plástica, aspire a amostra e registre na respectiva escala a nota relativa ao "aroma de soja".
- 3) Observe a porção de tofu fornecida, avalie a cor e a uniformidade da superfície e registre suas notas nas respectivas escalas.
- 4) Com auxílio dos talheres plásticos fornecidos, cortar a amostra em 4 cubos. Colocar um cubo na boca, entre os dentes molares, mastigando 1 vez/s (contando: um... dois...três... etc) até engolir. Observar ao mesmo tempo as características de sabor (soja, amargo e adstringente) e de textura (dureza, suculência e granulosidade). Repetir com outro(s) cubo(s) de tofu, para se certificar, registrando suas notas nas respectivas escalas.

MUITO OBRIGADA POR SUA COLABORAÇÃO!

Quadro 7. Protocolo para avaliação das amostras

Tabela 1. Avaliação do poder de discriminação de amostras (p de $F_{amostra}$) de cada julgador em relação a cada atributo

Julgador	Cor amarelada	Cor creme	Uniformidade da superfície	Aroma de soja	Sabor de soja	Sabor amargo	Adstringência	Dureza	Suculência	Textura granulosa
1	0,0007	0,0234	0,0413	0,0277	0,0092	0,1806	0,0672	0,0637	0,1964	0,0088
2	0,0001	0,2674	0,6968	0,1099	0,0203	*	*	0,0043	0,3965	0,0008
3	0,0566	0,0600	0,0071	0,2526	0,1912	0,2805	0,7388	0,023	0,3435	0,0056
4	0,1156	0,0252	0,1425	0,0409	0,3712	0,0910	0,0818	0,7489	0,2696	0,0137
5	0,1647	0,2881	0,0377	0,0425	0,0372	0,4547	0,7290	0,0003	0,0368	0,0121
6	0,0915	0,5040	0,4380	0,0653	0,0742	0,7875	0,0041	0,0006	0,1386	0,0131
7	0,1594	0,2348	0,7041	0,1832	0,9293	0,1677	0,2424	0,0218	0,0340	0,0062
8	0,0010	0,8323	0,8040	0,0263	0,4549	0,5092	0,3232	0,0014	0,8697	0,0902
9	0,0138	0,2918	0,0086	0,3285	0,8380	0,0609	0,1561	0,0459	0,8405	0,0102
10	0,0023	0,0678	0,0550	0,0001	0,0256	0,5569	0,0351	0,0581	0,3508	0,0958
11	0,9480	0,2342	0,4392	0,0040	0,0207	0,0006	0,0133	0,0339	0,4664	0,0682
12	0,0263	0,0071	0,3664	0,0378	0,2371	0,4947	0,1324	0,2833	0,2742	0,0098

Aprovação: $p < 0,5$

(*) julgador atribuiu nota igual a todas as amostras

Tabela 2. Avaliação da repetibilidade (p de $F_{repetição}$) de cada julgador em relação a cada atributo

Julgador	Cor amarelada	Cor creme	Uniformidade da superfície	Aroma de soja	Sabor de soja	Sabor amargo	Adstringência	Dureza	Suculência	Textura granulosa
1	0,6061	0,0617	0,2487	0,6360	0,6270	0,4088	0,5254	0,1156	0,8421	0,6912
2	0,4065	0,4314	0,4263	0,4751	0,5211	*	*	0,3566	0,1873	0,4315
3	0,4165	0,0934	0,5267	0,8469	0,2379	0,8742	0,8578	0,2448	0,5169	0,4479
4	0,3275	0,1380	0,4755	0,0039	0,5911	0,5186	0,4012	0,4390	0,1016	0,1585
5	0,1792	0,5336	0,0110	0,1174	0,2649	0,2993	0,4653	0,3139	0,4219	0,1166
6	0,4654	0,8687	0,6127	0,7691	0,0888	0,5943	0,1065	0,5384	0,8728	0,1255
7	0,0523	0,5522	0,4371	0,6480	0,9610	0,8766	0,9972	0,6403	0,7358	0,5450
8	0,9529	0,8320	0,5903	0,4111	0,7007	0,1681	0,8555	0,8721	0,8448	0,4166
9	0,9747	0,2072	0,4604	0,6250	0,4722	0,1838	0,0313	0,7216	0,6709	0,3425
10	0,4219	0,5746	0,1574	0,0676	0,5496	0,2826	0,3369	0,2141	0,2371	0,2770
11	0,2192	0,0515	0,6899	0,1779	0,9108	0,0647	0,5149	0,0387	0,6198	0,0773
12	0,4219	0,7274	0,2647	0,8354	0,6424	0,9627	0,0285	0,8647	0,1896	0,1092

Aprovação: $p > 0,05$

(*) julgador atribuiu nota igual a todas as amostras

Tabela 3. Avaliação da concordância de cada jogador com a equipe

Julgador	Am	Cor amarelada	Cor creme	Uniformidade da superfície	Aroma de soja	Sabor de soja	Sabor amargo	Adstringência	Dureza	Suculência	Textura granulosa
1	1	0,667	3,200	2,433	3,100	3,000	1,400	1,200	2,900	5,633	2,200
	2	0,867	1,433	4,133	1,033	2,067	2,000	1,667	2,733	3,600	2,567
	3	2,967	0,733	5,700	1,600	2,867	3,633	3,967	0,600	6,300	1,167
	4	0,733	2,167	1,700	5,133	6,700	1,533	1,167	5,767	2,467	6,400
2	1	0,967	5,433	8,633	0,500	0,667	0,000	0,000	2,433	5,333	1,900
	2	0,167	3,767	3,200	1,900	1,333	0,000	0,000	1,267	5,067	0,833
	3	7,567	0,167	6,167	0,167	0,167	0,000	0,000	0,433	5,333	0,000
	4	0,000	1,733	6,100	4,800	5,733	0,000	0,000	7,667	1,400	8,167
3	1	0,367	3,933	4,667	3,333	3,267	1,033	2,800	2,033	5,833	2,267
	2	0,567	3,133	5,200	5,767	4,833	1,300	4,333	2,633	2,933	2,600
	3	3,967	1,633	5,200	5,200	3,567	2,400	4,533	0,800	4,300	1,700
	4	0,267	2,600	0,500	8,500	0,500	4,067	3,567	8,333	1,600	8,500
4	1	0,633	6,000	6,033	1,967	3,700	6,067	5,833	3,733	4,067	7,400
	2	0,767	6,600	8,400	5,633	2,600	6,433	7,067	1,767	6,433	1,600
	3	2,567	2,667	6,500	4,500	6,633	4,467	4,867	2,867	6,133	1,500
	4	0,500	1,433	4,500	6,500	4,267	1,900	2,567	2,967	2,633	5,133
5	1	2,600	3,800	4,933	1,900	5,533	0,000	1,600	0,833	8,500	3,533
	2	1,800	5,400	6,733	4,267	1,400	0,000	1,767	0,500	8,500	1,933
	3	6,600	1,933	4,933	4,100	8,500	0,033	1,500	0,500	8,500	2,833
	4	2,667	2,033	3,367	8,133	5,600	0,200	2,467	6,267	3,800	7,900
6	1	0,133	5,067	4,400	5,533	7,067	3,300	6,800	2,700	5,000	4,033
	2	0,267	4,067	7,300	5,433	3,500	1,600	2,367	2,667	6,467	2,867
	3	1,767	3,733	6,500	1,333	2,800	3,133	3,833	1,667	7,900	1,967
	4	0,200	1,833	5,133	7,533	2,933	1,833	1,667	7,000	2,667	6,667
7	1	2,667	2,767	5,800	2,000	4,067	5,600	1,300	4,300	4,533	5,533
	2	3,933	1,500	5,967	5,267	4,900	1,967	2,167	2,433	5,667	4,733
	3	4,867	5,467	7,167	1,100	3,267	3,300	4,400	2,333	6,733	1,067
	4	1,633	2,400	5,300	4,100	3,567	1,167	1,000	7,167	1,533	7,833
8	1	1,300	1,967	4,467	0,867	2,300	0,533	1,633	1,800	3,333	6,700
	2	1,267	2,300	2,467	4,867	5,333	0,133	1,467	1,633	2,900	2,333
	3	7,233	0,600	3,867	2,167	4,367	0,100	4,333	0,633	5,467	2,333
	4	0,200	1,767	3,167	7,667	6,133	0,067	0,233	8,033	3,133	4,900
9	1	2,000	3,267	3,400	2,700	4,733	1,267	2,900	5,800	5,733	4,300
	2	4,167	4,000	7,533	2,367	5,500	3,833	2,767	5,667	4,900	3,833
	3	5,367	1,967	2,433	2,100	8,167	0,200	1,167	3,633	5,300	1,467
	4	0,633	1,067	2,800	4,500	6,223	0,967	3,233	7,033	4,133	6,467
10	1	0,000	2,667	4,333	6,100	5,667	0,567	1,400	6,067	3,333	4,400
	2	0,000	1,000	5,867	6,733	4,667	2,467	1,300	4,867	3,200	4,200
	3	5,233	0,000	3,833	2,000	1,900	1,400	2,567	2,967	4,967	2,433
	4	0,000	1,233	2,467	7,967	7,900	0,833	0,600	6,400	3,433	6,367
11	1	2,533	0,367	5,433	3,467	3,233	6,167	7,400	2,433	5,667	4,333
	2	2,367	0,900	6,800	6,133	6,100	7,667	8,133	5,400	5,400	5,867
	3	1,733	2,100	6,667	1,033	6,633	6,300	3,500	3,333	4,633	3,300
	4	2,000	0,867	5,100	7,433	1,400	1,300	2,733	6,567	2,867	8,233
12	1	0,000	2,100	3,267	3,267	3,467	4,467	6,600	3,833	7,100	2,633
	2	0,000	1,730	5,000	3,033	5,533	3,233	6,633	5,700	5,967	2,767
	3	4,667	0,000	3,633	0,767	7,467	3,600	4,633	1,167	4,933	1,067
	4	0,000	1,100	2,167	6,767	6,100	2,633	3,700	4,767	5,133	7,000
Média Equipe	1	1,156	3,381	4,817	2,895	3,892	2,533	3,289	3,239	5,339	4,103
	2	1,347	2,986	5,717	4,369	3,981	2,553	3,178	3,056	5,328	2,983
	3	4,545	1,750	5,217	2,172	4,695	2,381	3,275	1,744	5,875	1,736
	4	0,736	1,686	3,525	6,586	4,755	1,375	1,911	6,497	2,900	6,964