

**ASPECTOS QUÍMICO,  
FÍSICO-QUÍMICO E SENSORIAL DE  
EXTRATOS DE SOJA E TOFUS OBTIDOS  
DOS CULTIVARES DE SOJA  
CONVENCIONAL E LIVRE DE  
LIPOXIGENASE**

**SUELI CIABOTTI**

**2004**

**SUELI CIABOTTI**

**ASPECTOS QUÍMICO, FÍSICO-QUÍMICO E SENSORIAL DE  
EXTRATOS DE SOJA E TOFUS OBTIDOS DOS CULTIVARES DE  
SOJA CONVENCIONAL E LIVRE DE LIPOXIGENASE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

**Orientadora**

**Profa. Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Ciabotti, Sueli

Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase / Sueli Ciabotti. -- Lavras : UFLA, 2004.

122 p. : il.

Orientadora: Maria de Fátima Piccolo Barcelos.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Soja livre de lipoxigenase. 2.Extrato de soja. 3. tofu. 4. Análises sensorial e físico-química. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.34  
-664.07



A Deus, pela Presença e Luz.

A minha querida mãe, Yolanda pelo exemplo de amor, perseverança e vitória.

A minha família, eterna gratidão.

Ao meu filho, Lucas a razão de tudo.

Ao Luiz, pela presença constante, mesmo distante.

### **OFEREÇO**

A minha querida orientadora, Fátima, pelas suas palavras de apoio e amizade nas horas difíceis, pelo seu exemplo de fé, família e profissionalismo - a razão deste trabalho.

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Uberaba, pela oportunidade concedida para realização do curso.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela contribuição a minha formação acadêmica.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudo.

À EMBRAPA-Soja, pela doação dos grãos de soja e pela realização das análises de isoflavonas.

Ao Dr. Roberto Kazuhito Zito / EPAMIG – Uberaba, pela disposição e ajuda.

À EPAMIG - Lavras, Dr. Adauto Ferreira Barcelos, chefe do Centro Tecnológico do sul de Minas, ao Marcelo Malta e Samuel Brito, pelo apoio no uso de equipamentos.

Ao professor Paulo Roberto Clemente, pela confiança.

Aos professores da UFLA Fabiana Queiroz, Joelma Pereira, José Luiz Contado, Luiz Ronaldo de Abreu, Maria das Graças Cardoso pelo apoio técnico.

Às laboratoristas Constantina Braga Torres, Maria Aparecida Correa Lima, Creusa Rezende e Sandra Lacerda Silva, pelo apoio.

Ao Humberto Góis, pelas palavras de incentivo, que me levaram a buscar o mestrado.

Aos colegas Othon Carlos, Antonio Barreto e Paulo Sá, que me conduziram aos caminhos da UFLA, Pedro Henrique, pelo apoio e incentivo desde os primeiros dias de mestrado.

Aos meus amigos do CEFET-Uberaba, José Renato de Souza, Júlia Márcia Mendonça e Maria Alice Dias, pelo apoio nesta jornada.

Às minhas colegas de trabalho Elaine, Estelamar e Marlene, que assumiram minhas aulas.

Aos grandes amigos Humberto Minéu, Cleidice e Stela Magda, pela ajuda na chegada a Lavras.

A minha irmã de coração Graça, pela amizade e presença constante nas horas de alegrias e tristezas.

Aos amigos Isis, Joel, Rodrigo, Gustavo e Sheila, pelo apoio na chegada a Lavras, e pelo carinho e amizade demonstrados neste período.

À minha grande amiga Melissa, que me escutava nas horas difíceis e que foi grande companheira nos estudos, e à sua família maravilhosa, pelo carinho recebido.

Às minhas amigas Ana Carla Pinheiro, pelo carinho, amizade e ajuda nos momentos difíceis, Kelen Cristina dos Reis, pelo apoio nas análises de textura, e Adriana Gadioli, pela valiosa colaboração nas análises químicas.

Aos meus amigos Eliete, pelo apoio constante de materiais e pelas palavras de incentivo nas horas difíceis, juntamente com Tadeu e Ellen.

Aos meus amigos Priscila e Val, pela amizade e companheirismo, Regiana e Barbosa, pelo carinho e amizade; Vivi e Daniela, pela disposição e carinho; Michell, pelo incentivo e apoio nas dúvidas; Hessel, pelo carinho e amizade e exemplo de perseverança; Sibelli, Luizinho, Nélío, Luiz Carlos, Renata e Luiza, pelas sextas-feiras de descontração e de apoio em todas as horas.

Aos meus amigos Celeide, Helena e Rita, que contribuíram nas análises sensoriais.

Às minhas amigas Vera Abdala e Deyse Kabeya, mesmo distantes, mas sempre presentes pelos e-mails.

À minha querida mãe, pelas visitas de conforto e sempre ao meu lado apesar da distância.

Aos meus irmãos e irmãs, pelo apoio e carinho nos telefonemas.

Ao meu querido filho, pelo companheirismo, alegrias e ajuda.

Enfim, a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
CAPÍTULO 1 Abordagens tecnológica, química, físico-química, bioquímica e sensorial de soja, extratos de soja e tofus.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	5
2.1 Aspectos nutricionais da soja.....	5
2.2 Fatores antinutricionais da soja.....	7
2.3 A soja como alimento funcional .....	8
2.4 Processamento da soja para obtenção do extrato de soja (leite de soja) e respectivo tofu .....	13
2.4.1 Branqueamento dos grãos de soja .....	14
2.4.2 Hidratação dos grãos (maceração).....	15
2.4.3 Desintegração dos grãos com água.....	16
2.4.4 Tratamento térmico, filtração e correção do volume final.....	16
2.4.5 Obtenção do tofu e rendimento .....	18
2.5 Textura, cor e características sensoriais do tofu.....	21
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
CAPÍTULO 2 Estudos tecnológico e sensorial do extrato de soja e respectivo tofu produzidos com cultivares de soja convencional e livre lipoxigenase.....	39
RESUMO .....	40
ABSTRACT .....	41
1 INTRODUÇÃO .....	42
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 Processo de obtenção do extrato de soja (leite de soja) e tofu .....	44
2.2 Preparação do tofu.....	51
2.3 Análises dos sólidos totais da água de maceração, do extrato da soja (leite de soja) e do soro do tofu.....	51
2.4 Sólidos solúveis da água de maceração e do soro .....	51
2.5 Rendimento do tofu.....	52
2.6 Textura.....	52
2.7 Determinação da cor do tofu.....	52
2.8 Análises sensoriais .....	53
2.9 Análises estatísticas.....	54

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
3.1 Sólidos totais .....	55
3.2 Sólidos solúveis da água de maceração da soja e do soro do tofu .....	56
3.3 Rendimento dos tofus .....	58
3.4 Textura do tofu .....	59
3.5 Cor do tofu .....	61
3.6 Análises sensoriais .....	62
4 CONCLUSÕES .....	66
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
CAPÍTULO 3 Avaliações química, físico-química e bioquímica dos cultivares de soja convencional e de soja livre de lipoxigenase, dos extratos de soja e respectivos tofus .....	71
RESUMO .....	72
ABSTRACT .....	73
1 INTRODUÇÃO .....	74
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	76
2.1 Caracterização química da soja, extrato de soja (leite de soja) e respectivo tofu .....	76
2.1.1 Composição centesimal .....	76
2.1.2 Composição de minerais .....	78
2.1.3 pH .....	78
2.1.4 Análises de isoflavonas .....	78
2.2 Análises bioquímicas .....	79
2.2.1 Determinação da atividade da lipoxigenase .....	79
2.2.2 Determinação da atividade dos inibidores de tripsina .....	80
2.3 Análises estatísticas .....	80
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	81
3.1 Composição centesimal dos cultivares de soja, extratos de soja e respectivos tofus .....	81
3.2 Composição de minerais .....	85
3.3 pH do material nas várias etapas de obtenção do tofu .....	91
3.4 Análises de isoflavonas .....	93
3.5 Determinação da atividade de lipoxigenase .....	96
3.6 Análises de inibidores de tripsina dos grãos de soja e dos tofus .....	99
4 CONCLUSÕES .....	102
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
ANEXOS .....	108

## RESUMO

CIABOTTI, Sueli. **Aspectos químicos, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase**. 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)\* – Universidade Federal de Lavras, Lavras –MG.

Este trabalho foi conduzido nos Laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras-MG. Os grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] utilizados foram: cultivar convencional BRS 133 e o cultivar BRS 213, melhorada geneticamente e própria para consumo humano, livre de lipoxigenase, cedidas pela Embrapa-Soja. O consumo da soja tem aumentado nos países do ocidente, mas com um fator limitante pela população, que é o sabor e odor dos seus produtos, que são atribuídos à ação da enzima lipoxigenase nos grãos de soja pela hidroperoxidação dos ácidos graxos poliinsaturados e pela interação dos produtos de hidrólise com as proteínas. Realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar sob os aspectos tecnológico, químico, físico-químico, bioquímico e sensorial os extratos de soja e respectivos tofus obtidos de cultivares de soja: convencional, com e sem o uso do branqueamento em suas etapas iniciais de processamento e o cultivar livre de lipoxigenase. O processo de fabricação pelo uso do branqueamento dos grãos de soja convencional apresentou valores desfavoráveis quanto a perdas de sólidos solúveis na água de maceração e sólidos totais no extrato de soja, e ainda, apresentou baixo rendimento do tofu e a textura medida pelo texturômetro ficou consideravelmente afetada. Nas análises sensoriais, o processamento térmico a que a soja convencional foi submetida mostrou-se imprescindível para tornar o “sabor” do extrato de soja mais agradável ao paladar dos provadores, não interferindo na sua aparência e nem na sua cor, tendo sempre como referência a soja livre de lipoxigenase, porém, o branqueamento, por sua vez, depreciou não só o “sabor”, mas também a “textura” e a “aparência” dos respectivos tofus. A composição dos macronutrientes foi semelhante em ambos os cultivares de soja estudadas. Alterações na composição química dos extratos de soja e dos tofus foram atribuídas ao branqueamento (98°C/5’) e à hidratação dos grãos aos quais foi submetida a soja convencional, em que substâncias foram lixiviadas para a água de maceração dos grãos.

---

\*Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG – Uberaba.

A etapa do branqueamento do grão de soja convencional proporcionou maior retenção de isoflavonas no tofu (68%); e, o tofu que menos reteve isoflavonas foi o obtido com a soja livre de lipoxigenase (44%). O tratamento térmico (branqueamento) ao qual foi submetido o grão para elaboração do extrato de soja foi eficaz na redução da atividade da lipoxigenase, quando comparado com a soja livre dessa enzima, e suficiente para eliminar a atividade dos inibidores de tripsina em 79% do tofu de soja convencional. 81% no tofu de soja branqueada e 82% nos tofus de soja livre de lipoxigenase.

## ABSTRACT

CIABOTTI, Sueli. **Chemical, physical-chemical and sensorial aspects of soymilk and tofu obtained from conventional and lipoxygenase-free soybean cultivars.** 2004, 122p. Dissertation (Master Degree in Food Science)\* – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

This study was conducted in the laboratories of the Food Science Department of the Universidade Federal de Lavras – MG. The soybeans [*Glycine max* (L) Merrill] used in this work were: conventional BRS 133 and BRS 213, genetically improved and proper for human consumption, lipoxygenase free, granted by Embrapa-Soja. Soybean consumption has increased in western countries. But still is limited by the taste and odor of soybean products due to the action of lipoxygenase in the soybeans leading to an hydroperoxidation of polyunsaturated fatty acids and interaction of the products of the hydrolysis with the proteins. The objective of this work was to evaluate the technological, chemical, physical-chemical, biochemical and sensorial aspects of soymilk and tofu obtained from: conventional soybean cultivars bleached and non-bleached in their initial processing stages, and lipoxygenase-free soybean cultivar. The manufacturing process through the bleaching of conventional soybeans presented unfavorable values in relation to loss of soluble solids in soaking water and total solids in soymilk. It also presented a low yield of tofu, and texture as measured by the texturemeter was considerably affected. The thermal processing to which the conventional soybean was submitted proved indispensable to make the flavor of the soymilk more pleasant to the panelists, not interfering in its appearance or color, having as reference lipoxygenase-free soybeans. However, the bleaching depreciated the flavor, texture and aspect of the respective tofus. The macronutrient composition of both soybean cultivars was similar. Changes in the chemical composition of the soymilks and tofus were ascribed to the bleaching (98°C/5') and hydration to which conventional soybean grains were submitted, in which the substances were leached to the grain soaking water. The bleaching of the conventional soybean led to a greater retention of isoflavones in the tofu (68%). The tofu that least retained isoflavones was the one obtained from lipoxygenase-free soybean

---

\* Guidance Committee: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (advisor), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG - Uberaba

(44%). The thermal treatment (bleaching) to which the grain for soymilk production was submitted was efficient for reducing the activity of the lipoxygenase, when compared to the lipoxygenase-free soybean. It was also sufficient to eliminate the activity of tripsine inhibitors in 79% of the conventional soybean tofu, 81% of bleached soybean tofu and 82% in lipoxygenase-free soybean tofu.

## **CAPÍTULO 1**

**ABORDAGENS TECNOLÓGICA, QUÍMICA, FÍSICO-QUÍMICA,  
BIOQUÍMICA E SENSORIAL DE SOJA, EXTRATOS DE SOJA E  
TOFUS**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é um alimento muito utilizado pelos orientais e seu consumo vem se estendendo pelo Ocidente.

Trata-se de uma leguminosa cujas proteínas destacam-se não só pela qualidade, mas também pela quantidade, estabelecendo-se ainda como uma oleaginosa, uma vez que de seus grãos é extraído o óleo de soja, intensamente comercializado por todo o mundo.

Atualmente o noroeste da Europa, os EUA e a América do Sul, mais especificamente o Brasil, somam 90% do total da produção mundial de soja, e nas últimas décadas do século passado, iniciou-se o interesse maior no Ocidente na introdução da soja na alimentação humana (Roessing & Meneghelo, 2001).

A princípio, o valor da soja na nutrição foi atribuído ao seu teor de proteína (Smith & Circle, 1978), lipídeos, vitaminas e minerais. Entretanto, sabe-se que os grãos de soja são uma fonte rica em fitoquímicos, a exemplo das isoflavonas. Muitos desses componentes têm importantes efeitos benéficos à saúde humana como fonte preventiva de doenças crônico-degenerativas. (Hui et al., 2001; Jackson et al., 2002; Murphy et al., 2002).

A importância dessa leguminosa como alimento funcional tem sido analisada extensivamente, entre outros, os trabalhos do “*First International Symposium on the role of soy in preventing and treating chronic disease*”, realizado no Arizona – USA, em 1994, publicados no *Journal of Nutrition* e muitos outros trabalhos posteriores a esses vêm consolidando os benefícios da soja para a saúde humana.

A prática do consumo dessa leguminosa na alimentação humana nas suas mais variadas formas é bem difundida nos países do Oriente; porém, no Ocidente, um dos fatores limitantes do seu consumo é o sabor indesejável

devido à ação da enzima lipoxigenase sobre determinados ácidos graxos, liberando compostos de sabores estranhos e, ainda, pelo fato de o sabor da soja e seus produtos fugir dos padrões alimentares da população ocidental. Provavelmente por se estar constantemente comparando a soja (sabor, odor, textura, consistência do caldo, etc) com outros alimentos, principalmente com o feijão, em vez de estabelecer a prática do seu consumo como um alimento de características sensoriais próprias ou únicas.

Vários estudos tecnológicos (Wilkens et al., 1967; Wolf & Cowan, 1975; Nelson et al. 1976; Rackis et al., 1979) e de melhoramento genético (Kitamura et al., 1983; Davies & Nielsen, 1986) foram conduzidos para aumentar a aceitabilidade dos produtos da soja.

O extrato de soja, também conhecido como leite de soja e o tofu, bem como outros alimentos à base de soja vêm sendo muito consumidos nos últimos tempos, não somente pela riqueza em nutrientes, mas também pelas suas quantidades de isoflavonas, ditos fitohormônios (glicosídeos e agliconas), presentes nesses compostos, com suas ações prováveis no organismo da mulher em épocas de reposição hormonal e prevenção de algumas doenças.

Do extrato de soja, obtém-se o tofu, produto semelhante na aparência e mais especificamente na textura e cor ao queijo fresco, porém, com sabor característico ou próprio; esse produto já vem sendo fabricado no Brasil em escala industrial.

Sendo o Brasil grande produtor de soja e essa leguminosa muito rica em nutrientes, é viável estimular o seu consumo com características de palatabilidade mais aceitáveis, sendo os objetivos quando da realização do presente trabalho:

### **Objetivo geral**

Avaliar sob os aspectos tecnológico, químico físico-químico, bioquímico e sensorial os extratos de soja e respectivos tofus obtidos de cultivares de soja:

“convencional” (BRS 133) com e sem o uso do branqueamento em suas etapas iniciais de processamento, e o cultivar livre de lipoxigenase (BRS 213).

**Objetivos específicos:**

- Avaliar parâmetros químicos da composição centesimal, minerais e isoflavonas dos grãos de soja, extratos de soja e tofus.
- Determinar a atividade dos inibidores de tripsina e atividade da enzima lipoxigenase dos grãos de soja e tofus.
- Analisar parâmetros físico-químicos da água de maceração dos grãos de soja.
- Verificar o efeito do branqueamento da soja convencional nas características físicas: sólidos solúveis, sólidos totais, textura e cor dos extratos de soja e respectivos tofus, diante dos obtidos de soja convencional e da soja livre de lipoxigenase.
- Avaliar o rendimento final do tofu frente às variações da metodologia de fabricação e dos cultivares de soja utilizados.
- Avaliar as características sensoriais de sabor, textura, aparência e cor dos extratos e respectivos tofus.

Esta dissertação encontra-se dividida em três capítulos. No primeiro capítulo há a revisão bibliográfica, no qual enfocam-se enfocando os aspectos nutricionais e antinutricionais da soja, suas qualidades como alimento funcional, parâmetros tecnológicos de obtenção do extrato de soja e tofu, caracterização sob aspectos físicos e sensoriais de extrato de soja e tofu.

No segundo capítulo, estudam-se os aspectos tecnológicos, físicos e sensoriais dos extratos de soja e respectivos tofus obtidos de soja convencional, soja convencional branqueada e a soja livre de lipoxigenase.

No terceiro capítulo, são analisados quimicamente e bioquimicamente a soja convencional e livre de lipoxigenases, os extratos de soja e os respectivos tofus.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, a produção de soja na safra 2002/2003, conforme dados da CONAB (2004), foi da ordem de 52 milhões de toneladas, posicionando o Brasil em 2º lugar na produção mundial de soja, sendo superado apenas pelos Estados Unidos.

Dentro da versatilidade dessa leguminosa no campo da indústria de alimentos, são conhecidos e comercializados, além da soja em grãos, farinha de soja, concentrados e isolados de soja, soja texturizada, alimentos fermentados como *miso*, *shoyo*, *tempeh*, e ainda, o extrato de soja ou leite de soja (soymilk), comercializado em vários sabores; desse extrato, fabrica-se o tofu, além de outros produtos.

O tofu é o alimento à base de soja mais especificamente fabricado a partir do extrato de soja (leite de soja), após ter sido submetido a um processo de coagulação de suas proteínas, e é semelhante, apenas na sua textura e cor, ao queijo fresco, pois o sabor do tofu é bastante característico e seu formato para a comercialização é basicamente retangular e quadrado.

São várias as formas de se consumir o tofu, podendo ser individualmente puro ou com molhos, frito, com patês, como ingredientes de saladas, recheios de tortas, de panquecas, enfim, pode-se consumi-lo das mais variadas maneiras, algumas semelhantes às de consumo de queijos.

### 2.1 Aspectos nutricionais da soja

Do ponto de vista nutricional, a soja representa um alimento que contém componentes essenciais para a alimentação humana, constituindo-se em excelente fonte de proteína. Apresenta cerca de 30 a 45% de proteína nos grãos, sendo uma das leguminosas que se destacam nesse constituinte (Nielsen, 1991).

Quando um ou mais aminoácidos aparecem na proteína em quantidades inferiores à requerida pelo organismo receptor ou em relação a um padrão de referência, tais aminoácidos são tidos como limitantes (Sgarbieri, 1996). As proteínas de leguminosas, em geral, são limitantes em aminoácidos sulfurados (metionina e cistina) (Liener, 1978; Nielsen, 1991; Sgarbieri, 1996).

A soja tem grande potencial como alimento não somente pelo elevado teor protéico e de qualidade considerada, mas também pelo alto conteúdo de lipídeos, caracterizando-se como fonte energética, e ainda pela presença de determinadas vitaminas e minerais (Camacho et al., 1981).

O óleo da soja é rico em ácidos graxos essenciais, os poliinsaturados ácido linoléico 18:2 ( $\Delta^{9,12}$ ) ( $\omega$ -6) e ácido linolênico 18:3 ( $\Delta^{9,12,15}$ ) ( $\omega$ -3), que exercem importantes papéis fisiológicos (Voss, 1994).

Os grãos de soja ainda contêm carboidratos com teor mais elevado na casca (Carrão Panizzi, 1988) e oligossacarídeos (estaquiase e rafinose) que são hidrolisados por duas enzimas: invertase e  $\alpha$ -galactosidase; porém, em razão da ausência dessa última enzima no trato gastrointestinal humano, os oligossacarídeos acumulam-se nessa região, sofrendo fermentação por bactérias anaeróbicas, causando flatulência (Midio & Martins, 2000). Esses oligossacarídeos (estaquiase e rafinose) são reduzidos com a maceração e cozimento dos grãos (Liu & Markakis, 1987) e na fabricação do tofu, são eliminados no soro (Van der Riet et al., 1989).

A composição da soja é influenciada por uma série de fatores, tais como ambientais e genético, locação e safra de produção, causando alterações no rendimento e qualidade do extrato de soja e conseqüentemente no tofu (Bhardwaj et al., 1999).

## **2.2 Fatores antinutricionais da soja**

As leguminosas apresentam, em sua maioria, além da sua porção nutricional, outra porção considerada antinutricional, e quando consumidas principalmente cruas ou inadequadamente processadas, podem provocar efeitos fisiológicos adversos ao homem ou reduzir a biodisponibilidade de determinados nutrientes (Rackis, 1974; Liener, 1994)

Liener (1994) classificou os fatores antinutricionais presentes na soja em termolábeis e termoestáveis. Os termolábeis sensíveis ao calor são os inibidores de proteases, lectinas ou hemaglutininas, goitrogênicos e antivitaminicos e podem ser facilmente destruídos pelo calor; os termoestáveis são as saponinas, taninos, fitoestrógenos, fatores de flatulência, lisinoalanina (formada por resíduos de lisina ligados a cistina ou serina em condições alcalinas), alergênicos e fitato.

Desses fatores antinutricionais, os mais intensamente estudados são os inibidores de proteases, denominados inibidor de tripsina de Kunitz e o de Bowman-Birk (Wolf & Cowan, 1975).

Quimicamente os inibidores de proteases são proteínas antinutritivas e a especificidade desses inibidores não está necessariamente restrita à tripsina, mas também pela capacidade de inibir outras serino-proteases, tais como quimotripsina e elastase. A presença desses inibidores ativos no organismo de espécies animais impede a ação das enzimas responsáveis pela digestão das proteínas, provocando em animais uma hiperestimulação de enzimas pelo hormônio colecistoquinina (CCK), levando a uma hipertrofia (aumento do tamanho das células) e hiperplasia (aumento do número de células) do pâncreas. As enzimas digestivas secretadas são eliminadas nas fezes, representando uma perda endógena considerada de aminoácidos sulfurados, aminoácidos esses já deficientes nas proteínas da soja, prejudicando, assim, o crescimento de animais experimentais (Liener, 1994).

Outro fator antinutricional intensamente estudado são as lectinas ou hemaglutininas, que têm a propriedade de aglutinar hemácias e, por possuírem a capacidade de se ligar a receptores glicoprotéicos de membrana das células epiteliais, acabam danificando-as, interferindo na absorção de nutrientes (Liener, 1994).

A qualidade nutricional das leguminosas é melhorada mediante tratamento térmico para inativação dos fatores antinutricionais (Genovese & Lajolo, 2000).

Nelson et al. (1979) inativaram 94% do inibidor de tripsina com 10 minutos de cozimento de grãos de soja e, quando as amostras foram submetidas a 25 minutos, mostraram 100% da eliminação do inibidor de tripsina.

Com finalidade de reduzir custos no processamento de soja e diminuir os fatores antinutricionais, foram desenvolvidos cultivares de soja com baixas atividades de inibidor de tripsina e ausência do inibidor Kunitz. Tem-se também investigado cultivar com ausência do inibidor de Bowman-Birk e também cultivares livres desses dois inibidores de tripsina (Miura et al., 2001).

### **2.3 A soja como alimento funcional**

Nos países do Ocidente, o extrato de soja (leite de soja) tem sido utilizado como importante substituto do leite de vaca para as pessoas com intolerância à lactose e às alérgicas a esse leite. O extrato de soja é de baixo custo e de alta qualidade protéica e energética; portanto, trata-se de uma opção interessante para a população de baixa renda (Kwork & Niranjam, 1995; Rosenthal et al., 2003). Atualmente, é de conhecimento geral que a soja imprime outros benefícios à saúde humana, o que tem contribuído para aumentar não só o consumo do extrato de soja (Rosenthal et al., 2003), mas o de outros produtos, como farinhas, isolados protéicos, concentrados protéicos, proteína texturizada, bem como o tofu, que é um produto obtido do extrato de soja.

O consumo da soja tem aumentado nos últimos tempos pelo fato de se ter comprovado em recentes estudos os benefícios para a saúde, como fonte dietética preventiva das doenças crônico-degenerativas (Garcia et al., 1998), sendo incluída na relação dos alimentos funcionais (Park et al., 2001).

Defini-se como alimento funcional “o alimento ou ingrediente que além de exercer funções nutricionais básicas, quando se tratar de nutriente, produzir efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica” ANVISA (1999)

Em estudos recentes têm-se considerado os inibidores de proteases (inibidor de tripsina de Kunitz e o de Bowman-Birk) como agentes de várias atividades, como farmacológica, médica, aplicação em cosmética e agente químico-preventivo (Duranti et al., 2003).

A baixa incidência de certas doenças crônico-degenerativas nos países da Ásia é atribuída à alta ingestão de isoflavonas, com uma média de 40-80 mg/dia (Herman et al., 1995), ao passo que na América somente 1 a 3 mg/dia são consumidos (Kim & Kwon, 2001).

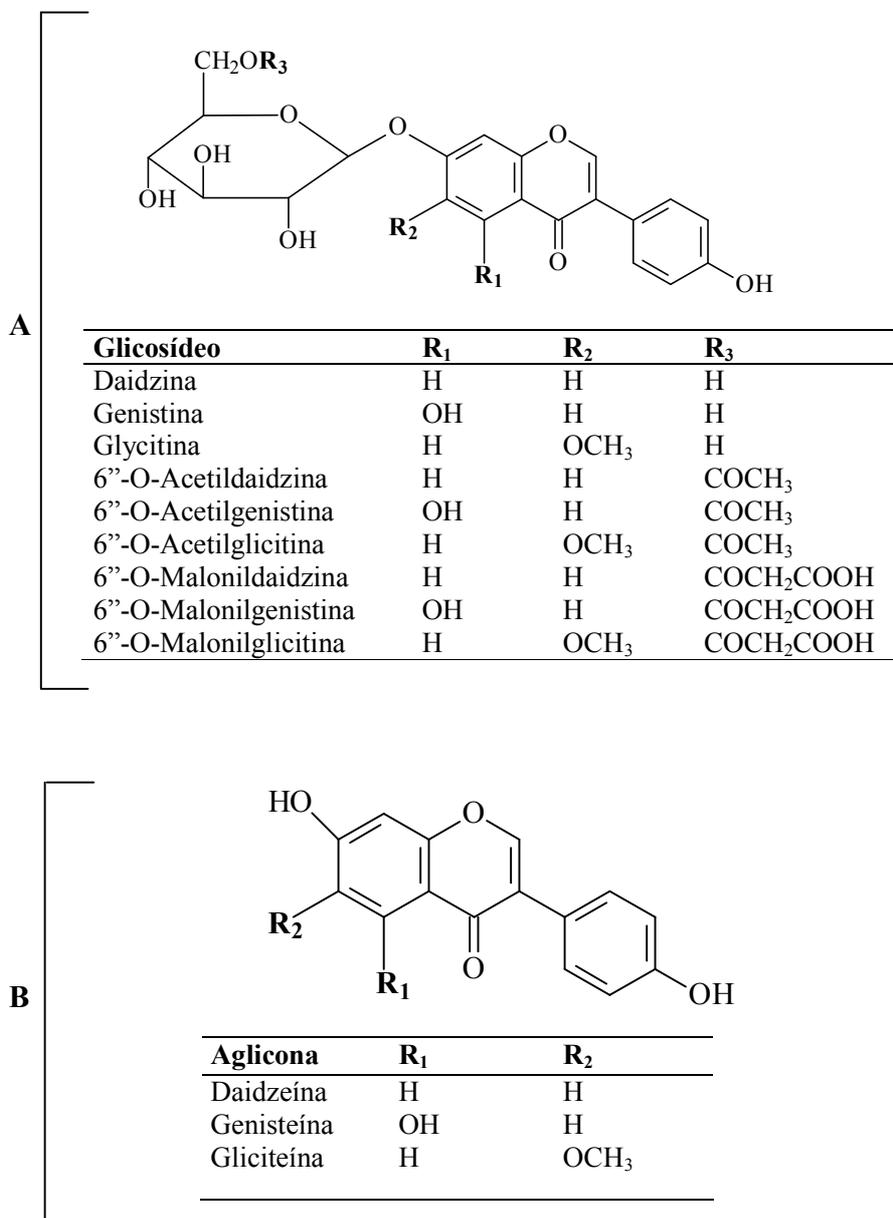
Os alimentos à base de soja, quando consumidos auxiliam na prevenção do câncer de mama, de próstata, do intestino, de fígado, de bexiga e do estômago (Barnes, 1995). A genisteína, que possui atividade estrogênica, tem mostrado sua ação em animais também como anti-estrogênica, e, portanto, pode atuar como papel protetor nos cânceres estrógenos-dependentes, tais como câncer de mama, de próstata e colon (Peterson, 1995; Kennedy, 1995; Barnes, 1995).

Em experimentos com animais e humanos tem sido verificado que as proteínas da soja possuem propriedades de ação hipocolesterolêmica e anti-aterogênica (Carroll & Kurowska, 1995; Sirtori et al., 1995). Em estudos de Carroll & Kurowska (1995), foram analisados os efeitos da proteína da soja e concluiu-se que diminuiu significativamente a concentração sérica do colesterol total, *low density lipoprotein* – cholesterol (LDL-c) e dos triacilgliceróis, quando

comparados à proteína de origem animal. Nos estudos com primatas observou-se que a proteína da soja pode exercer atividade de efeito anti-aterogênico, associado a isoflavonas (Anthony et al., 1995). As isoflavonas da soja têm propriedades anti-oxidantes, podendo proteger a LDL-c da oxidação (Hertog et al., 1993, citado por Dwyer, 1995).

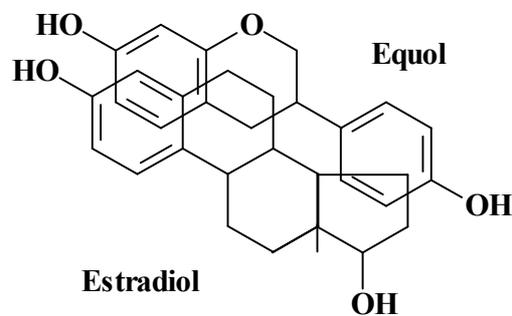
Foi constatado em estudos epidemiológicos que mulheres que consomem quantidades consideráveis de soja e seus produtos apresentam baixas incidências de osteoporose. A administração de genisteínas em dois modelos de ratos ovariectomizados reduziu a porcentagem de perda óssea, mostrando assim que o consumo de alimentos contendo isoflavonas pode contribuir na inibição de perda óssea. (Bahran et al., 1996). As isoflavonas, quando ingeridas da soja e seus derivados, são provavelmente uma alternativa no auxílio da terapêutica de reposição hormonal em mulheres no período pós-menopausa (Cassidy et al., 1994, citado por Jackson, 2002).

Os componentes das isoflavonas isoladas nos grãos de soja são doze, sendo nove conjugados glicosídeos (Figura 1A) e três agliconas (daidzeína, genisteína e gliciteína) (Figura 1B). Os glicosídeos incluem três 7-*O*-glicosídeo (daidzina, genistina e glicitina), três 6''-*O*-acetil glicosídeo (6''-*O*-acetil-daidzina, 6''-*O*-acetil-genistina, e 6''-*O*-acetil-glicitina) e três 6''-*O*-malonil-glicosídeo (6''-*O*-malonil-daidzina, 6''-*O*-malonil-genistina e 6''-*O*-malonil-glicitina) (Jackson et al., 2002). Quando esses compostos são ingeridos, vão ser metabolizados por bactérias no intestino grosso para formar o equol, que se assemelha à estrutura química do estradiol (estrógeno humano), o que pode ser observado na Figura 2.



**FIGURA 1** Estruturas das isoflavonas da soja: **(A)** glicosídeos e **(B)** agliconas.  
 Fonte: Jackson et al. (2002) com modificações.

Vários fatores podem influenciar a concentração das isoflavonas da soja. Carrão-Panizzi et al. (1999) analisaram em cultivares de soja os efeitos da genética e de fatores ambientais nos teores de isoflavonóides provenientes de diferentes regiões do Brasil, observando diferenças significativas entre médias do conteúdo total de isoflavonas de 27,6 e 218,7 mg/100g.



**FIGURA 2** Estruturas moleculares do equol e estradiol.  
Fonte: Murkies et al. (1988), com modificações.

A variabilidade dessas concentrações de isoflavonas foi atribuída, além de ao genótipo, à influência das diferentes localizações de plantio, safras, variações de temperatura regional, latitude e altitude (Carrão-Panizzi et al. 1999).

Tem sido demonstrado em estudos que o processamento do alimento também altera o conteúdo dos conjugados de glicosídeos de isoflavonas, ou seja, durante a extração, processamento e cozimento (Coward et al., 1998; Hui et al., 2001; Jackson et al., 2002). O calor do processamento, a hidrólise enzimática e a

fermentação alteram significativamente a distribuição das isoflavonas em alimentos com soja (Wang & Murphy, 1994).

Cultivares de soja com altas concentrações de genistina e malonil genistina originam a formação de genisteína quando processadas. Genisteína é o composto formado pela hidrólise da genistina glicosídica pela  $\beta$ -glicosidase (Matsuura et al., 1989, citado por Carrão-Panizzi et al., 1999).

Em outros trabalhos, igualmente se afirmam que o calor do processamento da soja, a hidrólise enzimática e a fermentação alteram significativamente a distribuição dos compostos de isoflavonas em alimentos de soja. Certos métodos de processamento, tais como fervura, moagem e a coagulação da proteína na obtenção do tofu não destroem daidzeína e genisteína significativamente, como a tostagem a altas temperaturas (Hui et al., 2001, Jackson et al., 2002, Murphy et al., 2002).

#### **2.4 Processamento da soja para obtenção do extrato de soja (leite de soja) e respectivo tofu**

O processamento da soja para obtenção de extrato de soja (leite de soja) e de tofu tem sido amplamente estudado, objetivando-se avaliar a qualidade desses produtos (Cai et al., 1977; Lu et al., 1980; Escueta et al., 1986; Fuchigami et al. 1988; Lim et al., 1990; Fukutake et al, 1996; Lambrech et al., 1996; Hou et al., 1997; Murphy et al., 1997; Cai & Chang, 1998; Bhardwaj et al., 1999; Chai et al., 1999; Hui et al., 2001; Mullin et al., 2001; Jackson et al., 2002; Mujoo et al.; 2003; Chang et al., 2003).

O extrato de soja (leite de soja) é um produto obtido de uma quantidade adequada de grãos de soja e água, numa proporção soja:água (p/v) geralmente 1:10. As etapas rotineiras para a obtenção do extrato de soja são: pesagem dos grãos, maceração (12 horas), trituração, processamento térmico (em torno de

98 °C/5'), filtração e correção do volume final (Smith & Circle, 1978; Lim et al., 1990; Jackson et al., 2002).

O tofu é produto obtido do extrato de soja com adição de sais de cálcio ou de magnésio ou adição de ácidos (glucona- $\delta$ -lactona, ácido acético ou outros) para precipitação das proteínas (Smith & Circle, 1978), produzindo gel resultante da formação de uma rede com retenção de água, lipídeos e outros constituintes (Lu et al., 1980; Poysa et al., 2002;), com textura lisa, macia e elástica (Wang, 1984).

Os tipos de tofu orientais foram classificados por Wang (1984) pela composição aproximada de 85% de água, 7,55% de proteínas e 4,3% de lipídios como tofu *soft*, que tem uma textura macia e firme o bastante para manter sua forma quando cortado. O tofu com quantidade de 87-90% de água é macio e a sua textura é frágil, sendo especialmente popular no Japão e os tofus com baixa quantidade de água, entre 50-60%, são típicos dos chineses. Já os tofus encontrados no mercado Americano contêm em torno de 75-80% de água.

#### **2.4.1 Branqueamento dos grãos de soja**

Nelson et al. (1976) propuseram um processo de branqueamento dos grãos de soja crus para obtenção de extrato de soja (leite de soja), para inativar a enzima lipoxigenase, baseando-se na suposição de que os compostos responsáveis pelo sabor indesejável estão ausentes no grão intacto, mas a quebra ou danificação desses tecidos resulta em seu desenvolvimento instantâneo. Foi proposta a inativação das enzimas lipoxigenases por branqueamento dos grãos de soja macerados imersos em água fervente por 10 minutos ou de grãos inteiros secos diretamente na água fervente por 20 minutos, causando hidratação simultânea e inativação das enzimas.

A trituração da soja macerada à temperatura de 80 °C foi proposta por Wilkens et al. (1967), para eliminar o sabor desagradável nos produtos da soja pela inativação da lipoxigenase.

#### **2.4.2 Hidratação dos grãos (maceração)**

A hidratação da soja é etapa primordial para a produção de alguns alimentos derivados dessa leguminosa, incluindo extrato de soja para obtenção do tofu.

As proteínas do grão contêm numerosas cadeias peptídicas polares ao longo da sua superfície, tornando-as hidrofílicas (Wolf & Cowan, 1975), e a hidratação é essencial para amaciar a estrutura celular, reduzindo os requerimentos de energia para moagem e aumentando, conseqüentemente, a extração das proteínas e emulsificação das gorduras (Wang et al., 1979).

O tempo médio de hidratação (maceração) da soja é de até 12 horas, quando atinge 134,42% do peso inicial do grão, ocorrendo a sua estabilização. A partir deste tempo são lixiviadas grandes quantidades de sólidos para a água de maceração (Bayran et al., 2003).

A perda de sólidos da soja durante a hidratação inclui diferentes constituintes químicos solúveis, tais como ácido fítico, compostos nitrogenados não-protéicos, açúcares, minerais (Fe, Cu, Zn, Mn, P, Ca, Mg), pigmentos, amido (muito pouco ou nenhum), proteínas e vitaminas hidrossolúveis, tais como tiamina, riboflavina e niacina (Wang et al. 1979; Pan & Tangratanavalee, 2003).

Para determinar as substâncias lixiviadas, pode-se utilizar o pH da água, que mede os compostos ácidos dissolvidos; a absorbância, que mede a turbidez e substâncias tais como proteínas, amido e outros; teor de sólidos solúveis em graus Brix, que mede os compostos orgânicos e inorgânicos e a cor, os pigmentos solúveis, vitaminas e compostos de coloração (Bayran et al., 2004).

A hidratação influencia ainda na coagulação e rendimento do tofu (Lambrecht et al., 1996), pelo fato de o grão hidratado facilitar a trituração, contribuindo para maior extração das proteínas.

#### **2.4.3 Desintegração dos grãos com água**

Após a maceração dos grãos, segue a etapa de trituração da soja com água, que é essencial para a extração das proteínas e demais nutrientes. É muito importante nessa etapa verificar a proporção soja:água (peso inicial da soja crua/volume de água) que será utilizada no processo, pois influi notadamente no teor de proteína do extrato de soja. Verificam-se na literatura proporções soja:água variando de 1:6 a 1:15, sendo a mais utilizada 1:10 (Bourne et al., 1976).

As proteínas são armazenadas em corpúsculos protéicos também denominados grãos de aleurona, que são envoltos por uma membrana fosfolipídica. A elevada extratibilidade das proteínas indica que as membranas fosfolipídicas que envolvem os corpúsculos protéicos são facilmente rompidas, com liberação das proteínas. A extratibilidade das proteínas da soja é influenciada por diversos fatores, incluindo tamanho das partículas na trituração, temperatura, pH, concentrações de sais e outros (Wolf, 1978).

#### **2.4.4 Tratamento térmico, filtração e correção do volume final**

O tratamento térmico adequado no processamento da soja melhora a sua qualidade nutritiva, eliminando ou reduzindo os fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina, hemaglutininas e fator goitrogênico (Liener, 1994), ocorrendo uma desnaturação das proteínas, aumentando, assim, a sua digestibilidade e a utilização mais completa de todos os aminoácidos (Longenecker et al., 1964). O aquecimento da soja também elimina sabor e

odores estranhos pelo fato de inativar as lipoxigenases antes ou durante a trituração dos grãos de soja com água (Wilkens et al., 1967; Nelson et al., 1976).

Apesar dos muitos efeitos benéficos do tratamento térmico sobre a qualidade do leite de soja, o superaquecimento causa mudanças químicas indesejáveis que podem levar à destruição de aminoácidos e vitaminas, escurecimento e desenvolvimento de sabor “cozido” (Kwork & Niranjana, 1995).

Os efeitos do calor úmido e do pH são extremamente importantes no processamento da soja. Como essa leguminosa é sempre submetida ao aquecimento durante um ou mais estágios de seu processamento, ocorre naturalmente a desnaturação das proteínas, interferindo na solubilidade das mesmas, havendo uma redução do valor inicial de 80% para apenas 20 a 25% do seu potencial de solubilidade após o aquecimento por apenas 10 minutos (Wolf & Cowan, 1975). Isso pode interferir no processo de coagulação para obtenção do tofu. Em estudos recentes, constata-se que o processamento térmico do extrato de soja para a obtenção do tofu é bastante variável, incluindo tempos de 95 °C/10' (Chang et al., 2003) a 98 °C/2' (Jackson et al., 2002).

Beddows & Wong (1987) concluíram em seus estudos que melhorias nos rendimentos e na qualidade do tofu eram obtidas quando a etapa de filtração do resíduo (grãos de soja macerado e triturado com água) era realizada antes do aquecimento. O calor provoca a desnaturação da proteína, dificultando posteriormente a filtração.

O resíduo da soja resultante da filtração do extrato que é também conhecido por *okara*, tem sido estudado quanto aos componentes químicos. Jackson et al. (2002) concluíram que isoflavonas e outros nutrientes são retidos no resíduo da soja e sugerem que esse produto seja aproveitado em outros subprodutos derivados dessa leguminosa.

A correção do volume final do extrato de soja deve ser realizado utilizando água potável, baseando-se na proporção soja:água proposta na

metodologia de obtenção do extrato de 1:10, ou seja, o volume final sempre foi corrigido para 1 litro.

#### **2.4.5 Obtenção do tofu e rendimento**

Uma vez que o extrato de soja (leite de soja) esteja preparado, segue a etapa de obtenção do tofu, que se estabelece em coagulação das proteínas, por um tempo adequado (utilizando agentes coagulantes), corte da massa e enformagem para separação do soro.

A maior parte das proteínas da soja denominadas glicinina e conglucina são classificadas em globulinas. São insolúveis em água em seu ponto isoelétrico em pH 4,0 – 5,0 (Wolf, 1978; Sgarbieri, 1996).

As proteínas da soja constituem-se de uma mistura de macromoléculas de tamanhos, densidades de cargas e estruturas diferentes, e são separadas por ultracentrifugação. Essas proteínas são separadas em quatro frações com velocidades de sedimentação equivalentes a 2S, 7S, 11S e 15S. As quantidades relativas, os componentes e as faixas de pesos moleculares representado as nas várias frações protéicas estão representadas na Tabela 1.

Alguns fatores influenciam a produção do tofu, tais como a quantidade total de proteínas nos grãos de soja - glicinina (11S) e  $\beta$ -conglucina (7S) (Saio et al., 1969, citado por Mujoo et al., 2003), que perfazem 70% da proteína total da soja, ficando o restante sedimentado na fração 2S e 15S (Fukushima, 1980).

A coagulação das proteínas de soja para obtenção do tofu ocorre quando essas são insolubilizadas irreversivelmente como resultado do desdobramento das moléculas que são atraídas pela neutralização das cargas para formar pontes intermoleculares, quando adicionados sais ou agentes acidificantes (Smith & Circle, 1978; Fukushima, 1980).

Quando íons de sais de cálcio ou de magnésio são adicionados ao extrato de soja quente, ocorre a coagulação, em consequência da diminuição das cargas

negativas da proteína como resultado da união de íons positivos com aminoácidos carregados negativamente nas moléculas de proteína. Conseqüentemente, a molécula aberta é capaz de se agregar, devido à repulsão eletrostática, e, dessa forma, a coagulação é irreversível. Na coagulação ácida, as cargas negativas das proteínas são diminuídas pela protonação de  $\text{-COO}^-$  ácido com resíduos de aminoácidos. O coagulante “glucona- $\delta$ -lactona” é hidrolisado para ácido glucônico e age como agente acidificante (Fukushima, 1980).

**Tabela 1** Médias de sedimentação das proteínas da soja separadas por ultracentrifugação. Fonte: Wolf & Cowan, 1975.

Fração protéica	Porcentagem do total	Componentes	Peso molecular
2S	22	Inibidores de tripsina	8.000-21.500
		Citocromo C	12.000
		Globulina 2,3 S	18.200
		Globulina 2,8 S	32.000
		Alantoinase	50.000
7S	37	Hemaglutininas	110.000
		Lipoxigenases	108.000
		$\beta$ -amilase	61.700
		Globulina 7S	186.000-210.000
11S	31	Globulina 11S	350.000
15S	11	-	600.000

A insolubilização irreversível das proteínas pode ocorrer principalmente pela formação de ligações dissulfídricas e hidrofóbicas intermoleculares. O produto pode ser bem diferente, dependendo da contribuição relativa desses dois tipos de ligações. As ligações hidrofóbicas são formadas entre as cadeias laterais de aminoácidos hidrofóbicos, principalmente valina, leucina, isoleucina e fenilalanina. Essas cadeias laterais compartilham uma falta comum de afinidade

pela água e são empurradas juntas para fora da rede de moléculas de água, a fim de que a água possa preservar a sua estrutura. Toda ligação hidrofóbica é uma ligação fraca, mas contribui significativamente para a estabilização do estado polimerizado se houver resíduos hidrofóbicos expostos suficientes entre as moléculas. Em contraste, ligações dissulfídicas são covalentes e fortes. Portanto, a quantidade de formação de ligação dissulfídica intermolecular terá uma grande influência nas propriedades físicas das proteínas insolúveis (Fukushima, 1980).

Ocorre uma diferença acentuada entre as propriedades físicas e o gel de tofu feito de globulinas 7S e 11S. A globulina 7S ( $\beta$ -conglucina) não contém grupos -SH livres e apenas duas ligações dissulfeto por molécula, ao passo que a globulina 11S (glicina) tem vários grupos -SH livres e um grande número de ligações dissulfídicas. Portanto, o gel de tofu feito de globulina 7S é principalmente estabilizado por ligações hidrofóbicas, ao passo que o gel de tofu feito de globulina 11S é estabilizado por ligações dissulfídicas formadas pela reação de intercâmbio sulfidril/ dissulfeto e ligações hidrofóbicas. Essa é a razão por que o gel de tofu 7S é macio e menos elástico, ao passo que o gel de tofu 11S é muito mais elástico (Fukushima, 1980; Mujoo et al., 2003).

O processo de obtenção do tofu envolve um complexo de interação de alguns fatores, incluindo composição química e atributos físicos da soja e condições e técnicas de processamento (Watanabe, 1997, citado por Poysa & Woodrow, 2002). Cai & Chang (1998) mostraram que as condições de processamento, incluindo proporção de soja e água, moagem e métodos de separação do soro e resíduo, condições de coagulação e concentração do coagulante que podem elevar o rendimento e qualidade do tofu.

Fabricantes de tofu acreditam que os cultivares de soja com teores de proteínas mais altos e grãos de soja maiores resultam numa melhor qualidade de tofu e maiores rendimentos (Evans et al., 1997).

Bhardwaj et al. (1999) e Poysa & Woodrow (2002) encontraram efeitos significativos nos diferentes genótipos de soja utilizados na obtenção de extratos de soja e tofus nas características de cor, quantidade de proteína e rendimento.

Poysa & Woodrow (2002) encontraram diferenças altamente significativas no rendimento do extrato de soja, sólidos totais e pH nos diferentes genótipos de soja e o tofu foi afetado no rendimento e níveis de sólidos, pelos coagulantes, genótipos e anos de produção, e concluíram em seus estudos que quando se comparam diferentes condições sobre o efeito da composição da soja e rendimento e qualidade do tofu, é importante notar a metodologia usada para obtenção desse produto, que pode ser uma das responsáveis pelas diferentes respostas relatadas.

## **2.5 Textura, cor e características sensoriais do tofu**

Tem sido bem relatado que algumas reações podem influenciar a cor dos alimentos durante o processamento. As causas mais comumente encontradas são a degradação de pigmentos, especialmente carotenóides e clorofila; as reações de escurecimento enzimático; as reações de escurecimento não-enzimático, como a reação de *Maillard*, entre outras (Abers & Wrolstad, 1979; Aguilera et al., 1987).

As mudanças na cor do extrato de soja normalmente são devidas ao tratamento térmico, pela ocorrência da reação de *Maillard* que envolve inicialmente o grupamento carbonila dos açúcares, reagindo com o grupamento amino dos aminoácidos, mais especificamente da lisina, tornando-a indisponível para o organismo (Kwork & Niranjana, 1995; Kwork et al., 1999; Bayran et al., 2003; Song et al., 2003), e essa reação é seguida de outras etapas que culminam na formação de pigmentos escuros (melanoidinas).

A textura do tofu mostra ser lisa e firme por causa do gel formado pelas proteínas da soja, mais especificamente do extrato da soja (Poysa & Woodrow, 2002).

O processamento do tofu tem como um dos determinantes de qualidade a textura, um fator que interfere na aceitabilidade do produto (Karin, 1999). O tofu chinês tem característica mais rígida, com teor de umidade menor e o tofu japonês é mais macio, com teor de umidade maior, porém, ambos caracterizam-se pela textura lisa (Wang, 1984).

Murphy et al. (1997) mostraram que a composição de proteínas e distribuição de glicinina e  $\beta$ -conglucina tem relação com a característica de textura do tofu dependente da variedade da soja e condições de estocagem, interferindo na qualidade do tofu.

A textura pode ser considerada como uma manifestação das propriedades reológicas de um alimento. A reologia se define como o estudo da deformação e fluxo da matéria ou a relação entre o esforço aplicado a um material e a sua deformação. A textura é um atributo importante de qualidade e varia em função do tipo de alimento, entre outros fatores (Morgado & Abreu, 2001).

Por razões comprovadas, o consumo da soja tem aumentado nos países do Ocidente, mas com um fator limitante pela população, que é o sabor e odor dos produtos da soja (Torres-Penaranda & Reitmeier, 2001). No campo da análise sensorial, pesquisas mostram que as equipes de provadores de soja e seus produtos têm relatado após a sua degustação os seguintes termos: “gosto de feijão cru”- *beany*; “verde”- *green*; “mato”- *grassy*; “tinta”- *painty* –; adstringente e amargo, o que reduz a aceitação dos produtos da soja por alguns consumidores, por preferirem sabores brandos (Torres-Penaranda et al., 1998).

Esses sabores são atribuídos à ação da enzima lipoxigenase, que produz o *off flavor* nos grãos de soja pela hidroxidação dos ácidos graxos

poliinsaturados e pela interação dos produtos de hidrólise com as proteínas (Rackis et al., 1979).

As isoenzimas lipoxigenase (linoleato: oxigênio oxireductase EC 1.13.11.12) são proteínas globulares, que possuem um átomo de ferro não-heme em sua molécula, constituindo o grupamento prostético, sem o qual não desempenhariam seu papel enzimático. Refere-se a uma classe de dioxigenases que catalisam a adição de oxigênio molecular às moléculas de ácidos graxos poliinsaturados contendo o sistema *cis*, *cis*-1,4-pentadieno. Esse sistema ocorre comumente nos ésteres e ácidos graxos di e tri-insaturados, como o ácido linoléico ( $\omega 6$ ) e o ácido linolênico ( $\omega 3$ ), os quais são os principais substratos para as lipoxigenases em vegetais. (Axerold et al., 1981; Davies & Nielsen, 1986; Wong, 1989; Fox, 1991;).

A variação de isômeros formados (9-ROOH e 13-ROOH) depende da isoenzima envolvida, portanto, as lipoxigenases de diferentes fontes diferem, em especificidade, quanto ao substrato, pH e atividade oxidativa. O peróxido é o produto imediato da ação da enzima lipoxigenase, acumulam-se nos tecidos celulares e sofrem reorganizações para dar lugar a uma variedade de produtos secundários que exercem efeitos de qualidade nos alimentos (Wong, 1989; Belitz & Grosch, 1988; Fox, 1991).

A soja têm sido o material mais utilizado para os estudos enzimológicos de lipoxigenase, pois essa enzima está presente nos grãos em grande quantidade, principalmente no grão de soja madura, aproximadamente 2% do total de proteína (Davies & Nielsen, 1986). A lipoxigenase encontra-se presente também em sementes de pepino, melão e alfafa, pêra, maçã, tomate, aspargos, banana, brócolis, repolho e outros vegetais (Wong, 1989; Fox, 1991).

As lipoxigenases de sementes de soja, conhecidas já na sua forma purificada, foram descritas como quatro isoenzimas distintas (Axelrod et al., 1981) que foram originalmente designadas como: L-1; L-2, L-3a e L-3b.

Contudo, existem semelhanças tão comuns no comportamento e composição das L-3a e L-3b, que normalmente as consideram como única: a L-3.

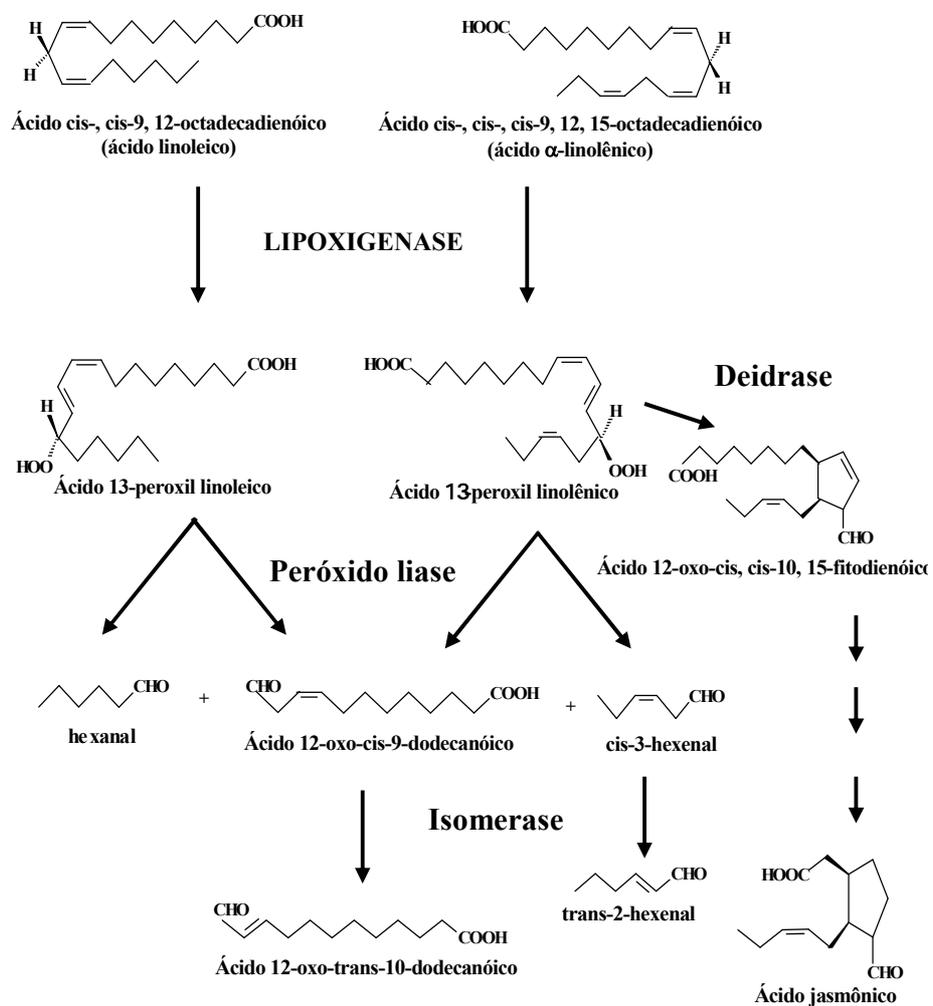
Tais isoenzimas diferem entre si na especificidade pelo substrato, pH ótimo para atividade catalítica, ponto isoelétrico e estabilidade térmica (Belitz & Grosch, 1988; Fox, 1991).

Um grande número de diferentes tipos de compostos voláteis e não-voláteis contribuem para o aroma de frutas e outros vegetais. Alguns compostos são produzidos durante o metabolismo normal da planta e alguns voláteis são produzidos somente quando a fruta ou outro vegetal cru é sujeito à mastigação, corte e processamento, permitindo misturar enzimas e substratos que são normalmente compartimentalizados (Bild et al., 1977, citado por Fox, 1991; Axerold et al., 1981).

A catálise pela lipoxigenase forma os hidroperóxidos dos ácidos linoléico e linolênico, seguidos da clivagem dos hidroperóxidos pela liase (Figura 3), sendo o caminho para a produção de diferentes voláteis de compostos carbônicos, importantes para o “*flavor*” de muitos vegetais (Axerold et al., 1981; Whitaker, 1991; Wong, 1989; Belitz & Grosh, 1988; Fox, 1991).

Alguns pesquisadores citam três enzimas envolvidas em todo o processo de hidrólise enzimática na soja: lipoxigenases, peróxido liases e isomerases, na formação dos compostos do ácido linoléico e linolênico (Belitz & Grosh, 1988).

Os produtos iniciais dessa reação são os hidroperóxidos, que sofrem rapidamente degradação a uma variedade de produtos incluindo diversos aldeídos, cetonas e álcoois, muitos dos quais responsáveis pelo “*flavor*” não aceitável (Davies & Nielsen, 1986; Hildebrand et al., 1988; Torres-Penaranda et al., 1998).



**FIGURA 3** Degradação dos ácidos graxos linoléico e  $\alpha$ -linolênico pela ação da enzima lipoxigenase, liase e isomerase.  
 Fonte: Fox (1991) com modificações.

Arrai et al. (1970), citado por Matoba et al. (1985), observaram que os componentes voláteis que mais influenciam na qualidade dos produtos de soja são: hexanal, hexanol, pentanol e heptanol. Matoba et al. (1985) informam: - hexanal é o que produz maior impacto sobre o *flavor* da semente de soja.

Segundo Moreira (1999), a inativação térmica das lipoxigenases tem sido utilizada pelas indústrias de alimentos, pois sabor, odor e cor são características importantes para a indústria. Mesmo após a inativação das isoenzimas pelo tratamento térmico, o processo de degradação pelos ácidos graxos poliinsaturados continua, mas, a uma menor velocidade, por meio de reações de auto-oxidação (Rackis et al., 1979).

O tratamento térmico não permite a total inativação das isoenzimas lipoxigenases do grão inteiro, uma vez que cada isoenzima possui sua particularidade de ação. Entretanto, sua ineficiência tem estimulado a pesquisa genética a obter linhagens isentas dessas isoenzimas (Bordingnon & Mandarino, 1994).

A remoção genética das isoenzimas de lipoxigenase pode reduzir ou eliminar o sabor indesejável da soja, aumentando o seu consumo em alguns mercados (Torres-Penaranda et al., 1998; Torres-Penaranda & Reitmeier, 2001).

Furuta et al. (1996) verificaram que a soja livre de lipoxigenase apresenta baixos índices de hexanal quando comparada à soja convencional.

Segundo Davies et al. (1987), a remoção da isoenzima lipoxigenase-2 produziu baixo percentual de sabor de “feijão cru”, rancidez e aroma de óleo atribuído ao extrato de soja e farinha.

Wilson (1995 e 1996), citado por Torres-Penaranda et al. (1998), relata que o extrato de soja tem um impacto maior nos atributos sensoriais do que o tofu, que é um produto intermediário. O tofu feito com a semente livre de lipoxigenase 2 apresentou sabor característico de “feijão cru” de forma menos acentuada, avaliado pelos provadores sensoriais.

Diferença cultural entre os consumidores de produtos de soja pode ser responsável pelos distintos atributos sensoriais em produtos feitos com soja livre de lipoxigenase (Torres-Penaranda & Reitneier, 2001).

Pesquisadores têm demonstrado que outros compostos contribuem para o sabor indesejável da soja. O extrato de soja produzido pelo método tradicional (hidratação dos grãos, moagem, tratamento térmico, filtragem) tem um sabor adstringente e amargo que é atribuído à presença de compostos fenólicos na soja (Arrai et al., 1996 citado por Kwork & Niranjana). Okubo et al. (1992) investigaram o sabor de produtos de soja e descobriram que as agliconas de isoflavona têm um *flavor* que causa mais objeção do que os glicosídeos de isoflavona.

Vários ácidos fenólicos foram identificados por Okubo et al. (1992), entre eles etil- $\alpha$ -D-galactopiranosídeo, L-triptofano, fosfatidilcolina-3-oxidase, isoflavonas e saponinas, e esses foram caracterizados por contribuírem para o sabor indesejável da soja e seus produtos.

Pesquisadores atribuem as condições de estocagem da soja como fator significativo para alterações nos seus produtos. Reações enzimáticas e não enzimáticas são aceleradas quando a soja é estocada sob elevadas temperaturas, influenciando principalmente as características do extrato de soja e do respectivo tofu (Lambrecht et al., 1996).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, J. E.; WROLSTAD, R. E. Causative factors of colours deterioration in strawbrry reserves during processing and storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 1, p. 75-78, Jan./Feb. 1979.

AGUILERA, J. M.; OPPERMAN, K.; SANCHEZ, F. Kinetics of browning of sultana grapes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, p. 990-993, 1987.

ANTHONY, M. S.; CLARKSON, T. B.; WEDDLE, D. L.; WOLF, M. S. effects of soy protein phytoestrogens on cardiovascular risk factors in rhesus monkeys. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 803-804, Mar. 1995. Supplement, 3.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária - **Diretrizes para utilização da alegação de propriedades funcionais ou de saúde**: resolução nº 18 de 30 de abril de 1999.

AXEROLD, B.; CHEESEBROUGH, T. M.; LAAKSSO, S. Lipoxygenase from soybeans. **Methods Enzymology**, Oxford, v. 71, p. 441-451, 1981.

BAHRAN, H. A.; ALEKEL, L.; HOLLIS, B. W.; AMIN, D.; STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M.; GUO, P.; KUKREJA, S. C. Dietary soybean protein prevents bone loss in an ovariectomized rat model of osteoporosis. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 126, n. 1, p. 161-167, Jan. 1996.

BARNES, S. Effect of genistein on in vitro and in vivo models of câncer. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 777-783, 1995. Supplement, 3.

BAYRAM, M.; KAYA, A.; ONER, M. D. Changes in properties of soaking water during production of soy-bulgur. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, n. 2, p. 221-230, Feb. 2004.

BAYRAM, M.; KAYA, A.; ONER, M. D. Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, , n. 2, p. 331-39, Feb. 2004.

BEDDOWS, C. G.; WONG, J. Optimization of yield and properties of silken tofu from soybeans. III. Coagulant concentration, mixing and filtration pressure.

**International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 22, n. 1, p. 29-34, Feb. 1987.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1988. p.

BHARDWAJ, H. L.; BHAGSARI, A. S.; JOSHI, J. M.; RANGAPPA, M.; SAPRA, V. T.; RAO, M. S. 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, Mar./Apr. 1999.

BORDINGNON, J. R.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: composição química, valor nutricional e sabor**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1994. 32 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documento, 70)

BOURNE, E. G.; CLEMENTE, M. G.; BANZON, J. survey of suitability of thirty cultivars of soybean for manufacture. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 41, n. 5, p. 1204-1208, Sept./Oct. 1976.

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

CAI, T. D.; CHANG, K. C.; SHIH, M. C.; HOU, H. J. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties. **Food Research International**, Amsterdam, v. 30, n. 9, p. 659-668, Sept. 1977.

CAMACHO, J. L.; BOURGEUS, R.; MORALES, J.; BANAFUNZI, N. Direct consumption of the soybean. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, p. 362-366, Mar. 1981.

CARRÃO-PANIZZI, M. C. **Valor nutritivo da soja e potencial de utilização na dieta brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1988. p. 13. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 29)

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

CARROLL, K. K.; KUROWSKA, E. M. Soy consumption and cholesterol reduction: review of animal and human studies. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 594S-597S, Mar. 1995. Supplement, 3.

CHAI, X.; MI, Y.; YUE, P. L.; CHEN, G. Bean curd wastewater treatment by membrana separation. **Separation and Purification Technology**, Madison, v. 15, p. 175-180, 1999.

CHANG, K. L. B.; LIN, Y. S.; CHEN, R. H. The effect of chitosan on the gel properties of tofu (soybean curd). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 57, n. 4, 315-319, May 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Série histórica de produção Safra 2002/2003**. Disponível em “<http://www.conab.gov.br/>”. Acesso em: junho de 2004.

COWARD, L.; SMITH, M.; KIRK, M.; BARNES, S. Chemical modification of isoflavonas in soyfoods during cooking and processing. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 68, n. 6, p. 1486-1491, Dec. 1998. Supplement.

DAVIES, C. S.; NIELSEN, N. C. Genetic análisis of a null-allele for lipoxygenase – 2 in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 460-463, May/June 1986.

DAVIES, C. S.; NIELSEN, S. S.; NIELSEN, N. C. Flavor improvement of soybean preparations by genetic removal of lipoxygenase-2. **Journal of the American Oil chemistry Society**, Champaign, v. 64, n. 10, p. 1428-1433, Oct. 1987.

DURANTI, M.; BARBIROLI, A.; ALESSIO, S.; TEDESCHI, G.; MORAZZONI, P. One-step purification of kunitz soybean trypsin inhibitor. **Protein Expresión e Purification**, San Diego, n. 30, n. 2, p. 167-170, Aug. 2003.

DWYER, J. Overview: dietary approaches for reducing cardiovascular disease risks. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 656-665, 1995. Supplement.

ESCUETA, E. E.; BOURNE, M. C.; HOOD, L. F. Effect of boiling treatment of soymilk on the composition, yield, textura and sensory properties of tofu. **Canadian Institute of Science and Technology**, Ottawa, v. 19, n. 2, p. 53-56, May 1986.

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, Sept./Oct. 1997.

FOX, P. F. **Food enzymology**. London: Elsevier Applied Science, 1991. 636 p.

FUCHIGAMI, M.; TERAMOTO, A.; OGAWA, N. Structural and textural quality of kinu-tofu frozen-then-thawed at high-pressure. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n.6, p. 1054-1056, Nov./Dec. 1988.

FUKUSHIMA, D. Deteriorative changes of proteins during soybean food processing and their use in foods. In: \_\_\_\_\_. **Chemical deterioration of proteins**. Washington: American chemical society, 1980. cap. 10, p. 211-239.

FUKUTAKE, M.; TAKAHASHI, M.; ISHIDA, K.; KAWAMURA, H.; SUGIMURA, T.; WAKABAYASHI, K. Quantification of genistein and genistin in soybean and soybean products. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 34, n. 5, p. 457-461, May 1996.

FURUTA, S.; NISHIBA, Y.; IGITA, K.; SUDA, L. DETBA value and hexanal production with the combination of unsaturated fatty acids and extracts prepared from soybeans seeds lacking two or three lipoxygenase isozymes. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 44, n. 1, p. 236-239, July 1996.

GARCIA, M. C.; MARINA, M. L.; LABORDA, F.; TORRE, M. Chemical characterization of commercial soybean products. **Food Chemistry**, Oxford, v. 62 n. 3, p. 325-331, 1998.

GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Inativação dos inibidores de proteases de leguminosas: uma revisão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 34, n. 2, p. 107-112, jul./dez. 2000.

HERMAN, C. Soybean phytoestrogen intake and cancer risk. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 757-770, Mar. 1995. Supplement, 3.

HILDEBRAND, S. F.; HAMILTON – KEMP, T. R.; LEGG, C. S.; BOOKJANS, G. Plant lipoxygenases: occurrence, properties, and possible functions. **Current Topics Plantation Biochemistry and Physiology**, Oxford, v. 7, p. 201-219, 1988.

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, July/Aug. 1997.

HUI, E.; HENNING, S. M.; PARK, N.; HEBER, D.; GO, V. L. W.; Genistein and daidzein/glycitein content in tofu. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 14, n. 2, p. 199-206, Apr. 2001.

JACKSON, C. J. C.; DINI, J. P.; RUPASINGHE, H. P. V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; DEGRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 10, p. 1117-1123, May 2002.

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

KENNEDY, A. R. The evidence for soybean products as cancer preventive agents. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 733-743, 1995. Supplement, 4.

KIM, J. S.; KWON, C. S. Estimated dietary isoflavone intake of Korean population based on national nutrition survey. **Nutrition Research**, Oxford, v. 21, n. 7, p. 947-953, July 2001.

KITAMURA, K.; DAVIES, C. S.; KAIZUMA, N.; NIELSEN N. C. Genetic analysis a null-allele for lipoxygenase-3 in soybean seeds. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 5, p. 924-927, Sept./Oct. 1983.

KWOK, K. C.; MACDOUGALL, D. B.; NIRANJAM, K. Reaction kinetics of heat-induced colour changes in soymilk. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 15-20, Jan. 1999.

KWOK, K. C.; NIRANJAM, K. Effect of thermal processing on soymilk. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 263-295, June 1995.

LAMBRECHT, H. S.; NIELSEN, B. J.; LISKA, B. J.; NIELSEN, N. C.; Effect of soybean storage on tofu and soymilk production. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 19, n. 3, p. 189-202, June 1996.

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

LIENER, I. E. Nutricional value of protein products. In: SWITH, A. K. , CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and tecnologia**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 978. v. 1, p. 470.

LIM, B. T.; DeMAN, M. J.; DeMAN, 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, July/Aug. 1990.

LIU, K.; MARKAKIS, P. Effect of maturity and processing on the trypsin inhibitor and oligosaccharides of soybeans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 1, p. 222-225, Jan./Feb. 1987.

LONGENECKER, J. B.; MARTIN, W. H.; SARETT, H. P. Improvement in protein efficiency of soybean concentrates e isolates by heat treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 12, n. 5, p. 411-412, Sept./Oct. 1964.

LU, J. Y.; CARTER, E.; CHUNG, R. A.; Use of calcium salts for soybeans curd preparation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 1, p. 32-34, Jan./Feb. 1980.

MATOBA, T.; HIDAKA, H.; NARITA, H.; KITAMURA, K.; KAIZUMA, N.; KITO, M. Lipoxygenase – 2 isozyme is responsible for generation of n-hexanal in soybeans homogenate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 33, n. 5, p. 852-855, Sept./Oct. 1985.

MIDIO, A. F.; MARTINS, D. I. **Toxicologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000. 295 p.

MIURA, E. M. Y.; BINITTI, M. A. R.; CAMARGO, D. S.; MIZUBITO, I. Y.; IDA, E. I. Avaliação biológica de soja com baixas atividades de inibidores de tripsina e ausência do inibidor Kunitz. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 51, n. 2, p. 195-198, June 2001.

MOREIRA, A. M. Programa de melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina, PR. **Anais...** EMBRAPA-SPI, 1999. p. 99-104.

MORGADO, R. H.; ABREU, J. A. D. Textura de sólidos y semisólidos. In: **Métodos para medir propiedades físicas em industrias de alimentos**. Zaragoza, España: Editora ACRIBIA, 2001. 410 p.

MUJOO, R.; TRINH, D. T.; PERRY, K. W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. **Food Chemistry**, Oxford, v. 82, n. 2, p. 265-273, Aug. 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**, Amsterdam, v. 34, n. 8, p. 669-677, Aug. 2001.

MURKIES, A. L.; WILCOX, G.; DAVIS, S. R. Phytoestrogens. **Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 297-303, Feb. 1998.

MURPHY, P. A.; BARUA, K.; HAUCK, C. C. Solvent extraction in the determination of isoflavones in soy foods. **Journal of Chromatography, B**, Amsterdam, v. 777, n. 1/2, p. 129-138, Sept. 2002.

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, Mar. 1997.

NELSON, A. I.; STEINBERG, M. P.; WEI, S. L. . Illinois process for preparation of soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 41, n. 1, p. 57-61, Jan./Feb. 1976.

NELSON, A. I.; WEI, S. L.; STEINBERG, M. P. Foods from whole soybeans. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 2., 1979, Corbinn. **Proceedings...** Corbin, F. T.: Westview Press, Boulder, 1979. p. 745-61.

NIELSEN, S. S. Digestibility of legume proteins. **Food Technology**, Chicago, v. 45, n. 9, p. 112-114, Sept. 1991.

OKUBO, K.; LYJIMA, M.; KOBAYASHI, Y.; YOSHIKOSHI, M.; UCHIDA, T.; KUDOU, S. Components responsible for the undesirable taste of soybean seeds. **Bioscience Biotechnology and Biochemisstry**, Tokyo, v. 56, n. 1, p. 99-103, Jan. 1992.

PAN, Z.; TANGRATANAVALEE, W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie-Food-Science Technology**, San Diego, v. 36, p. 143-151, 2003.

PARK, Y. K.; AGUIAR, C. L.; ALENCAR, S. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Biotransformação de isoflavonas de soja. **Biotechnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 4, n. 20, p. 12-14, maio/jun. 2001.

PETERSON, G. Evaluation of the biochemical targets of genistein in tumor cells. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 784-789, 1995. Supplement, 3.

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

RACKIS, J. J. biological and physiological factors in soybeans. **Journal of the American oil Chemists Society**, Champaign, v. 51, n. 1, p. 161A-174A, 1974.

RACKIS, J. J.; SESSA, D. J.; HONIG, D. H. Flavor problems of vegetable food proteins. **Journal of the American Oil Chemistry Society**, San Diego, v. 56, n. 6, p. 262-271, 1979.

ROESSING, A. C.; MENEGHELO, D. G. **Perspectiva de crescimento da produção de soja no Mato Grosso frente a política de subsídios dos Estados Unidos: Tecnologia de produção da soja – região central do Brasil – 2001/2002/Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001.

ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; CABRAL, L. M. C.; CABRAL, L. C.; FARIAS, C. A. A.; DOMINGUES, A. M. Effect of enzymatic treatment and filtration on sensory characteristics and physical stability of soymilk. **Food Control**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 187-192, Apr. 2003.

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

SIRTORI, C. R.; LOVATI, M. R.; MANZONI, C.; MONETTI, M.; PAZZUCCONIT, F.; GATTI, E. Soy and cholesterol reduction: Clinical experience. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 598-605, 1995. Supplement, 3.

SONG, J. Y.; AN, G. H.; KIM, C. J. Color, texture, nutrient contents, and sensory values of vegetable soybeans [*Glycine max* (L.) Merrill ] as affected by blanching. **Food Chemistry**, Oxford, v. 83, n. 1, p. 69-74, Oct. 2003.

SMITH, A. K. CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and technology**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1978. v. 1, p. 470.

TORRES-PENARANDA, A. V.; REITMEIER, C. A. Sensory descriptive analysis of soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 66, n. 2, p. 352-356, Mar./Apr. 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 lipoxygenase-free and normal soybeans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 6, p. 1084-1087, Nov./Dec. 1998.

VAN DER RIET, W. B.; WIGHT, A. W.; CILLIERS, J. J. L.; DATEL, J. M. Food chemical investigation of tofu and its byproduct okara. **Food Chemistry**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 193-202, 1989.

VOSS, A. Atualidades dietéticas: ácidos graxos ômega-3. **Abbott**, v.1, n. 1, jul. 1994.

WANG, H. L. Tofu e tempeh as potential protein sources in the western diet. **Journal of the Association Oil Chemistry science**, Champaign, v. 61, n. 3, p. 528-534, 1984.

WANG, H. L.; MURPHY, P. A. Isoflavone content in commercial soybean foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 8, p. 1666-16673, Aug. 1994.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; HESSELTINE, C. W.; HEAT, H. D. Hydration of whole soybean affects solids losses and cooking quality. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 1510-1513, Sept./Oct. 1979.

WHITAKER, J. R. Lipoxygenases. In: ROBINSON D. S.; ESKIN, N. A. M. **Oxidative enzymes in foods**. London: Academic Press, 1991. Cap. 5, p. 175-208.

WILKENS, W. F.; MATTICK, L. R.; HAND, D. B. Effect of processing method on oxidative off-flavors of soybean milk. **Food Technology**, Chicago, v. 21, n. 12, p. 1630-1633, Dec. 1967.

WOLF, W. J. Purification and properties of the proteins. In: SMITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans**: chemistry and technology. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1978. v. 1, p. 470.

WOLF, W. J.; COWAN, J. C. **Soybean as a food source**. Cleveland: CRC press, 1975.

WONG, D. W. S. **Química de los alimentos**: mecanismos y teoría. Zaragoza: Acribia, 1989.



## **CAPÍTULO 2**

**ESTUDOS TECNOLÓGICO E SENSORIAL DO EXTRATO DE SOJA E  
RESPECTIVO TOFU PRODUZIDOS COM CULTIVARES DE SOJA  
CONVENCIONAL E LIVRE DE LIPOXIGENASE**

## RESUMO

CIABOTTI, Sueli. **Estudos tecnológico e sensorial de extratos de soja e respectivos tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenases**. 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras –MG.\*

Este trabalho foi realizado nos laboratórios de Bioquímica Nutricional e de Análise Sensorial do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA – MG, com o objetivo geral de selecionar o processo de obtenção de extrato de soja e respectivo tofu que forneça um produto com sabor agradável; sendo os objetivos específicos verificar a influência do branqueamento ou não dos grãos de soja convencional anterior à sua maceração nas características físicas e sensoriais do extrato de soja e do tofu; comparar as características de cor, sabor, aparência e textura do extrato de soja e tofu produzidos com a soja convencional, soja convencional submetida ao processo de branqueamento e a soja livre de lipoxigenase. O processamento térmico a que foram submetidos os grãos de soja convencional anterior à maceração, apresentou grandes perdas de sólidos solúveis e sólidos totais na água de maceração prejudicando o rendimento do tofu obtido de soja convencional branqueada, a sua textura e alteração da sua cor. Baseado nos resultados das análises sensoriais, o processamento térmico a que a soja convencional foi submetida mostrou-se imprescindível para tornar o “sabor” do extrato de soja mais agradável ao paladar dos provadores, não interferindo na sua aparência e nem na sua cor. O tofu produzido com soja livre de lipoxigenase e soja convencional não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) nas características de sabor, textura, aparência e cor. O tofu obtido da soja convencional branqueada teve, por sua vez, depreciação no “sabor”, “textura” e a “aparência”.

---

\*Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG – Uberaba.

## ABSTRACT

CIABOTTI, Sueli. **Technological and sensorial evaluation of soymilk and tofu obtained from conventional, lipoxygenase-free soybeans.** 2004, 122p. Dissertation (Master Degree in Food Science)\* – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

This work was undertaken in the Nutritional Biochemistry and Sensorial Analysis laboratories of the Food Science Department of UFLA – MG. The general objective was to select the soymilk and tofu obtainment process that provides a product with a pleasant taste. The specific objectives were: to verify the influence of bleaching and non bleaching of conventional soybeans, previous to their soaking, on physical and sensorial characteristics of the soymilk and tofu; and, to compare color, taste, aspect and texture of the soymilk and tofu produced with conventional soybean, conventional soybean submitted to bleaching process and lipoxygenase-free soybean. The thermal process to which conventional soybeans pre-soaking were submitted, led to great losses of soluble and total solids in the soaking water. This depreciated the yield, texture and color of the tofu obtained from conventional bleached soybean. Based on the results of the sensorial analysis, the thermal process to which the conventional soybean was submitted was indispensable for the obtainment of a better taste of the soymilk, not interfering in its aspect and color, according to the panelists. Tofu produced with lipoxygenase-free and conventional soybeans did not present significant differences ( $p > 0.05$ ) in taste, texture, aspect and color. Tofu obtained from bleached conventional soybeans presented depreciation in “taste”, “aspect” and “texture”.

---

\* Guidance Committee: Maria de Fátima Píccolo Barcelos – UFLA (Advisor), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG - Uberaba

## 1 INTRODUÇÃO

Os mais importantes produtos não-fermentados da soja no Oriente incluem o extrato de soja (leite de soja) e o tofu (Smith & Circle, 1978; Cai & Chang, 1998; Chai et al., 1999). Esses produtos, entretanto, não têm igual popularidade nos países do Ocidente (Lim et al., 1990; Murphy et al., 1997), principalmente por fatores sensoriais, como sabor e odor desagradáveis, reduzindo a aceitação por alguns consumidores, por preferirem alimentos com sabores mais brandos (Torres-Penaranda et al., 1998; Torres-Penaranda & Reitmeier, 2001).

A enzima lipoxigenase presente na soja crua ou inadequadamente processada possui a capacidade de agir sobre determinados ácidos graxos produzindo sabores e odores desagradáveis nos produtos de soja em consequência dos compostos liberados (Axeold et al., 1981; Davies & Nielsen, 1986) e tem sido inativada pelo tratamento térmico, a exemplo do branqueamento anterior à moagem do grão macerado, para prevenir a formação do “*flavor*” oxidativo (Nelson et al., 1976; Moreira, 1999).

A enzima lipoxigenase (linoleato: oxigênio oxirredutase EC 1.13.11.12) é uma dioxigenase que catalisa a oxigenação dos ácidos graxos poliinsaturados que possuem sistema *cis, cis* 1,4 pentadieno (ácidos linoléico e ácidos linolênico, como substratos para enzimas de tecidos vegetais e o ácido araquidônico, como substrato para enzimas de tecidos animais) conduzindo a peróxidos, iniciando reações em cadeia (Axeold et al., 1981; Davies & Nielsen, 1986).

Por razões comprovadas, o consumo dos produtos da soja tem aumentado nos países do Ocidente, devido ao valor nutricional e aos seus benefícios para a saúde humana. O tofu é um dos produtos que vem se

destacando no consumo dos americanos e tem aumentado 15% ao ano a sua produção (Cai & Chang, 1998).

O tofu tradicional é um produto gelatinoso, altamente hidratado e contém aproximadamente 88% de água (Smith & Circle, 1978). O seu rendimento e qualidade são influenciados, entre outros, pelo cultivar de soja e condições de processamento (Wang et al., 1979; Lim et al., 1990; Cai & Chang, 1998).

A coagulação do extrato de soja (leite de soja, *soymilk*) pelo uso de coagulantes específicos é a etapa mais importante da produção do tofu e a mais difícil, por depender da complexa interação de alguns fatores: composição química da soja, temperatura de cozimento do extrato, volume processado, quantidade de sólidos, pH, tipo de coagulante e sua concentração, método de mexedura, tempo e temperatura de coagulação (Cai & Chang, 1998).

As técnicas tradicionais de processamento do extrato de soja (Figura 2) e respectivo tofu já são conhecidas, e, para viabilizar as técnicas de obtenção no sentido de oferecer ao consumidor produtos de soja com sabores mais agradáveis com este trabalho teve-se como objetivo geral selecionar o processo de obtenção de extrato de soja e respectivo tofu que forneça um produto com sabor agradável; sendo os objetivos específicos verificar a influência do branqueamento ou não dos grãos de soja convencional anterior à sua maceração nas características físicas e sensoriais do extrato de soja e do tofu; comparar as características de cor, sabor, aparência e textura do extrato de soja e tofu produzidos com a soja convencional, soja convencional submetida ao processo de branqueamento e a soja livre de lipoxigenase.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido nos Laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras-MG.

Foram utilizados grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] do cultivar convencional BRS 133, que se destaca em produtividade em alguns Estados brasileiros, e do cultivar BRS – 213, melhorado geneticamente e próprio para consumo humano, livre de lipoxigenase - Lox<sub>1</sub>, Lox<sub>2</sub> e Lox<sub>3</sub>, ambos safra 2002/2003, cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa-Soja.

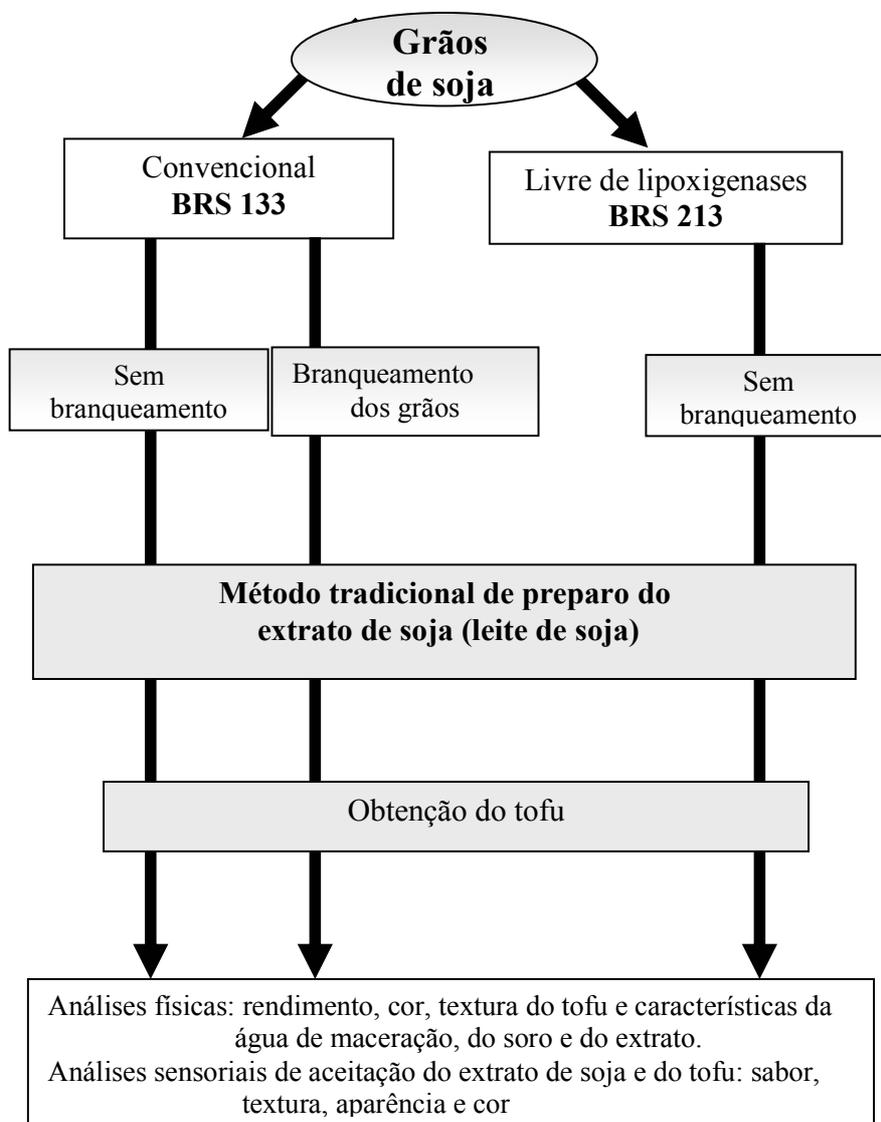
Na Figura 1 verificam-se o fluxograma geral do trabalho e as análises físicas realizadas.

### 2.1 Processo de obtenção do extrato de soja (leite de soja) e tofu

Inicialmente foram obtidos os extratos de soja (leite de soja, *soymilk*) originados de três tratamentos:

- soja convencional (SC), pela metodologia usual, tratamento 1 (T1);
- soja convencional branqueada (SCb), pela metodologia usual, porém com uma modificação no início do processo, em que os grãos foram submetidos ao branqueamento em água (98 °C/5'), seguido de resfriamento, tratamento 2 (T2)
- Soja livre de lipoxigenase (SLL), pela metodologia usual, tratamento 3 (T3).

Os grãos de soja usados neste trabalho foram do cultivar BRS 133 (soja convencional) e do cultivar BRS 213 (livre de lipoxigenase). Os grãos foram pesados em 5 repetições de 100 g para cada tratamento.



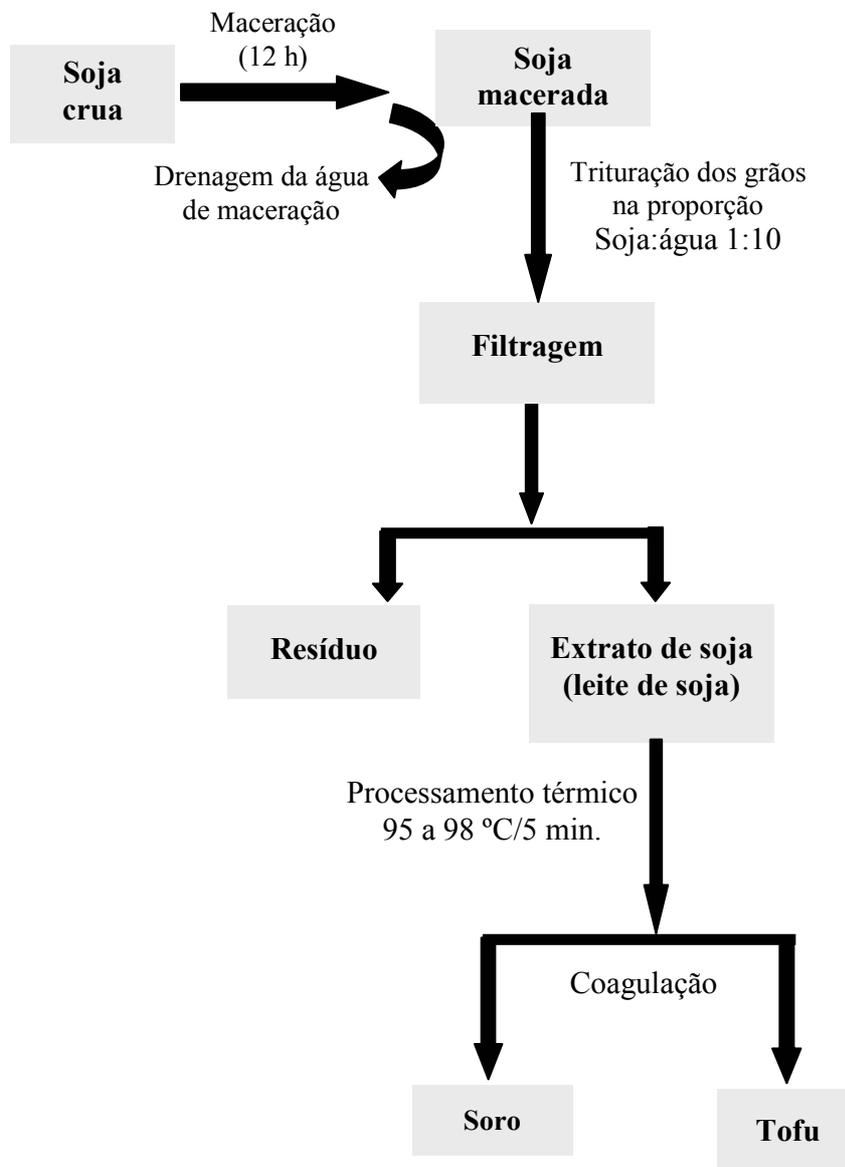
**FIGURA 1** Fluxograma geral do trabalho e das análises físicas e sensoriais realizadas.

O método usual de preparo do extrato de soja (leite de soja) se estabeleceu-se no seguinte: os grãos foram pesados para obtenção do produto final (extrato) na proporção soja : água 1:10, ou seja, 100 g de soja para 1 litro de água (Figura 2 e 4).

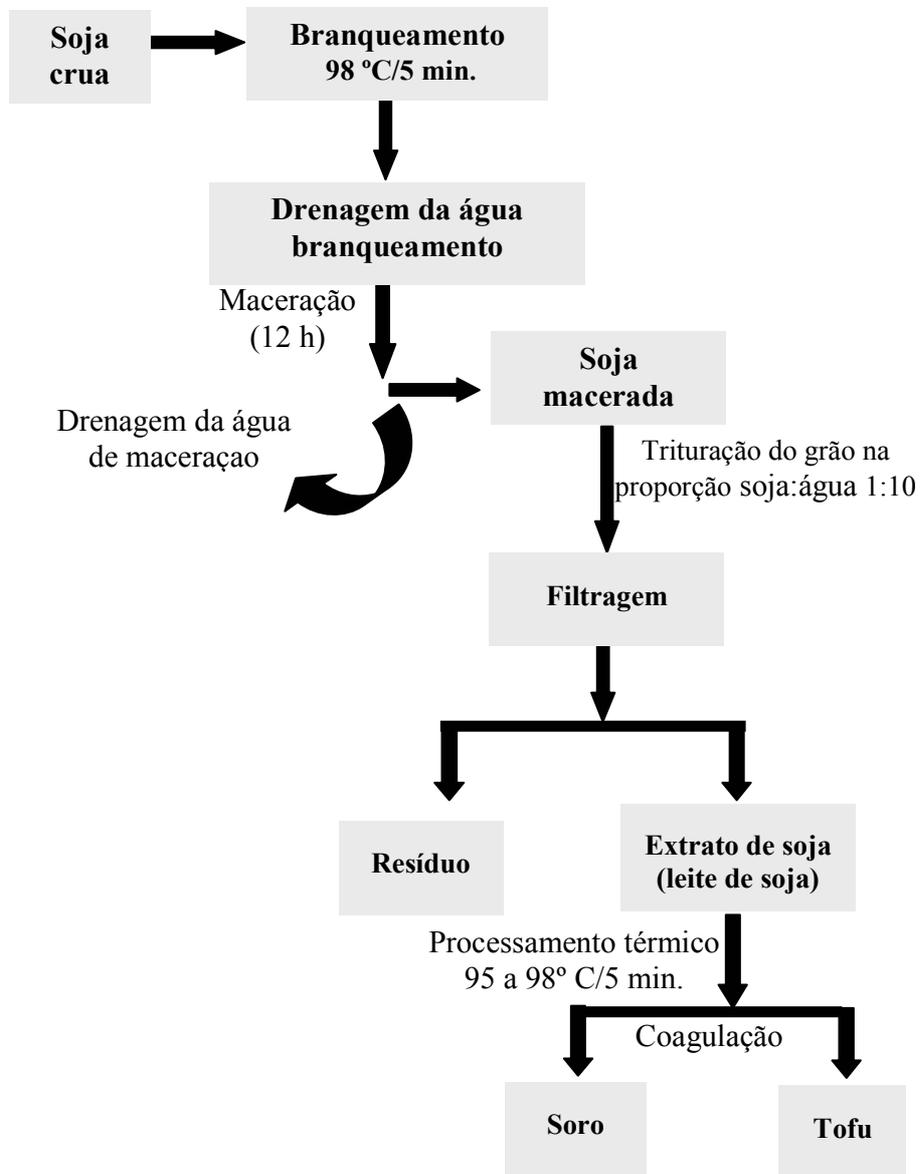
Após a pesagem, os grãos foram lavados e colocados em 500 mL de água destilada à temperatura ambiente (média de 23 °C). O tempo utilizado para a hidratação foi de 12 horas. Concluído o tempo de maceração, a água foi drenada e reservada para análise dos sólidos totais, sólidos solúveis (°Brix).

Os grãos de soja macerados e após drenagem da água de maceração foram triturados com o uso do liquidificador, com adição de água na proporção soja:água = 1:10, por 3 minutos, filtrados (o resíduo foi prensado e descartado); em seguida, o extrato foi submetido a aquecimento (95 a 98 °C /10') e correção do volume final para 1 L.

A diferença do segundo método de obtenção do extrato de soja deste trabalho diante do método usual foi apenas o branqueamento dos grãos de soja ocorrido anteriormente à fase de maceração.



**FIGURA 2** Principais passos para obtenção do extrato de soja (leite de soja) pelo método tradicional e para a obtenção do tofu.



**FIGURA 3.** Principais passos: para obtenção do extrato de soja (leite de soja) pelo método tradicional com modificação (inserindo a etapa do branqueamento do grão antes da maceração) para obtenção do tofu.



a) Pesagem da soja (100g) e hidratação por 12 horas (maceração)



b) Drenagem da água de maceração



c) Trituração com água proporção soja:água 1:10 (100g/1L)



d) Filtragem



e) Processamento térmico 98°C/5' e ajuste do volume final com água potável para 1 litro.

**FIGURA 4.** Ilustração dos passos para obtenção do extrato de soja pelo método tradicional.



a) Preparo do coagulante (2g/20mL de água) e adição ao extrato de soja (20mL/1 litro de extrato de soja)



b) Coagulação por 10' e corte da coalhada



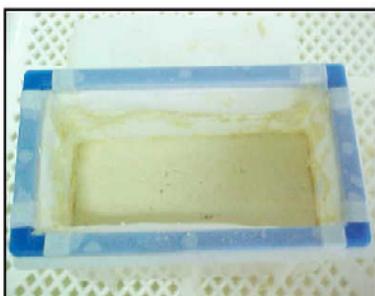
c) Mexedura



d) Enformagem



e) Prensagem



f) Tofu prensado



g) Tofus nas embalagens

**FIGURA 5.** Ilustração das etapas de obtenção do tofu.

## **2.2 Preparação do tofu**

Os extratos de soja obtidos foram resfriados à temperatura de 75-80 °C e, em 1 L de extrato, foram adicionados 2,0 g de glucona- $\delta$ -lactona - GDL (marca Sigma), diluído em 20 mL de água destilada, usado como agente coagulante ácido para formação da coalhada, para obtenção do tofu. Após 10 minutos, foram efetuados os cortes da coalhada, que foi colocada em formas de polietileno com dessorador e prensada em torno de uma hora e meia com peso sobre as formas de 0,9 kg. O tofu foi resfriado (5 °C por 4 horas) e pesado para análise de rendimento (Figura 5).

O tempo de preparo do tofu partindo do extrato de soja (leite de soja) já preparado, se estabelece em torno de 1 hora.

Pelos fluxogramas (Figura 2 e 3) verificam-se os procedimentos de obtenção dos extratos e tofus e respectivos tratamentos.

## **2.3 Análises dos sólidos totais da água de maceração, do extrato da soja (leite de soja) e do soro do tofu**

Os sólidos totais da água de maceração, do extrato de soja (leite de soja) e do soro do tofu foram determinados pelo método gravimétrico com emprego de calor, baseando-se na perda de peso do material quando submetido a aquecimento (105 °C) até peso constante (AOAC, 1990), expressos em porcentagem.

## **2.4 Sólidos solúveis da água de maceração e do soro**

Foram determinados no filtrado da água de maceração e do soro, por leitura em refratômetro digital Atago, modelo PR-100 Palette, com compensação de temperatura automático a 25 °C e expresso em °Brix, segundo AOAC (1990).

## 2.5 Rendimento do tofu

O rendimento do tofu foi verificado comparando-se o peso da matéria-prima, o grão de soja, pelo peso do tofu fresco produzido por kilogramas de grãos de soja seca (peso inicial), expresso em quilograma.

## 2.6 Textura

Foi realizado o teste de análise do perfil de textura (TPA) do tofu (em cubos). Utilizou-se o Texturômetro *Stable Micro System* modelo TAXT2i com uma probe cilíndrica de alumínio com 20 mm de diâmetro, com extremidade plana. Os pedaços de tofus foram cortados em cubos de 10 mm.

Foi analisada a firmeza do primeiro ciclo de compressão, sendo expresso em N. Foi configurada uma compressão de 7,5 mm, correspondente a uma deformação de 75% da amostra. Os parâmetros de configuração do aparelho foram:

- velocidade do pré-teste = 4,0 mm/s
- velocidade do pós-teste = 2,0 mm/s
- força = 0,196 N
- tempo = 5,00 s
- distancia de compressão = 7,5 mm
- velocidade do teste = 1,0 mm/s

## 2.7 Determinação da cor do tofu

A cor do tofu foi determinada pelo colorímetro marca Minolta, modelo Chroma Meter CR-3000, sistema L\*a\*b CIELAB. Os parâmetros de cor, medidos em relação à placa de cor branca, foram:

- L= luminosidade (0= cor preta a 100= cor branca);
- a= variando da cor verde ao vermelho (-60,0 a +60,0 respectivamente);
- b= variando da cor azul ao amarelo (-60,0 a +60,0 respectivamente).

## **2.8 Análises sensoriais**

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência dos Alimentos – UFLA.

As amostras dos extratos de soja (leite de soja) e os respectivos tofus obtidos dos três tratamentos (T1 = soja convencional - SC; T2 = soja convencional branqueada 98° C/5' - SCb; e T3 = soja livre de lipoxigenase - SLL) foram avaliados sensorialmente por 11 provadores treinados utilizando-se teste triangular (Anexo 1A), com o objetivo de verificar se existiam diferenças entre os tratamentos.

O teste baseou-se em apresentar ao provador simultaneamente três amostras, sendo duas iguais e uma diferente, avaliando-as em cabines individuais, iluminadas com luz verde de baixa intensidade.

A análise e interpretação dos resultados baseou-se no número de acertos (números de respostas corretas) e, para tanto, consultou-se a tabela de “número mínimo de respostas corretas para estabelecer diferença significativa entre as amostras em vários níveis de significância”, conforme O’Mahony, 1986, citado em Ferreira et al. (2000). Escolheu-se o nível de 5% de probabilidade para detecção das diferenças.

As amostras foram avaliadas à temperatura de 23° C em quantidades de 30 mL para o extrato de soja (leite) e em cubos de 1,5 cm cortados uniformemente para os testes com o tofu. As amostras foram servidas em recipientes descartáveis de cor branca, dotados de suportes codificados com três dígitos numéricos. Os provadores receberam as amostras e as fichas (Anexo 1A) nas quais se pedia ao julgador para identificar se havia diferença perceptível entre as três amostras oferecidas. As avaliações constaram de sete sessões com duas repetições: uma no período da manhã e outra no período da tarde, separadamente para cada produto.

Em seguida ao teste triangular, aplicou-se o teste de qualidade utilizando a escala de avaliação numérica (escala de qualidade) de 9 pontos (Anexos 2A e 3A) para avaliar sabor, textura, cor e aparência dos extratos e respectivos tofus (Teixeira, et al. 1987; Meilgaard et al.,1991).

Para o teste de aparência e cor dos tofus e extratos de soja, as amostras foram apresentadas simultaneamente em uma única cabine, com iluminação branca, em recipientes de vidro transparente (incolor) e identificadas com códigos de três dígitos.

## **2.9 Análises estatísticas**

O experimento constou de dois modelos experimentais distintos em função das variáveis analisadas.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições para análises de sólidos solúveis, sólidos totais, rendimento e cor. E nas análises sensoriais utilizou-se o delineamento em blocos casualizados.

Os efeitos de tratamentos foram comparados pelo teste F e quando houve significância foi utilizado o teste Scoot & Knot (1974) a 5% de probabilidade para identificar as diferenças. As análises de variância e teste de médias foram realizadas segundo técnicas usuais do *software* SISVAR (Ferreira, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Sólidos totais

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de sólidos totais da água de maceração da soja, extrato de soja e soro do tofu produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

**TABELA 1** Valores médios de sólidos totais da água de maceração da soja, extrato de soja e soro do tofu produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	Sólidos totais (%)			umidade
	água de maceração	extrato de soja	Soro do tofu	extrato de soja
SC	0,744 b	6,244 a	1,902 a	93,70 b
SCb	2,984 a	4,732 b	1,258 b	95,18 a
SLL	0,440 c	6,038 a	1,892 a	93,79 b
C.V. (%)	15,29	8,70	3,94	0,28

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Observando os valores médios na Tabela 1 de sólidos totais da água de maceração da soja convencional branqueada e do respectivo extrato de soja, a perda na água de maceração diminuiu o teor de sólidos totais do extrato de soja. O teor de sólidos totais do extrato de soja branqueada de 4,732% diferenciou-se

significativamente do extrato de soja convencional de 6,244 e do livre de lipoxigenase de 6,038, devido ao branqueamento dos grãos, podendo ter ocorrido uma maior solubilização das proteínas, aumentando, conseqüentemente, o teor de umidade do extrato e diminuindo os sólidos totais. A perda de sólidos totais na água de maceração da soja convencional diferenciou-se significativamente da livre de lipoxigenase e no extrato de soja as médias de sólidos totais não apresentaram diferença significativa ( $p>0,05$ ).

A perda de sólidos da soja durante a hidratação incluem compostos nitrogenados, oligossacarídeos, ácidos orgânicos, minerais e eletrolíticos (Wang et al. 1979; Pan & Tangratanavalee, 2003), que podem influenciar no processo de coagulação e rendimento do tofu (Lambrecht et al., 1996).

Observa-se nos teores de sólidos totais do soro do tofu obtido de soja convencional branqueada, que foi de 1,258%, diferença significativa ( $p<0,05$ ) dos obtidos de soja convencional com 1,902% e do soro do tofu de soja livre de lipoxigenase com 1,892, fato esse que provavelmente se explica pelas perdas já ocorridas dos sólidos totais e solúveis na água de maceração.

Lim et al. (1990) determinaram valores entre 2,75 a 3,4% de sólidos totais no soro de tofu obtidos de nove diferentes cultivares. Comparando os resultados deste trabalho, houve perdas menores de sólidos totais.

### **3.2 Sólidos solúveis da água de maceração da soja e do soro do tofu**

Na Tabela 2 apresentam-se os valores médios de sólidos solúveis (°B) da água de maceração da soja convencional, soja convencional branqueada e da soja livre de lipoxigenase e do soro dos tofus obtidos das respectivas sojas.

Verifica-se na Tabela 2 que a água de maceração da soja convencional branqueada (SCb) apresentou diferenças significativas ( $p<0,05$ ), com valor mais alto na média de 2,88 °B, seguido da água da soja convencional, com 0,88 °B e da água da soja livre de lipoxigenase, com 0,48 °B. O resultado da água de

maceração SCb representou perdas excessivas, provavelmente em razão do tratamento térmico a que foram submetidos os grãos da soja anteriormente à maceração. Esse arraste de sólidos para a água de maceração que será descartado pode provavelmente comprometer a riqueza de constituintes químicos importantes do produto final obtido com a soja. Baseado em outros resultados, diferentes constituintes químicos solúveis podem estar sendo lixiviados do grão de soja para a água de maceração, tais como proteínas solúveis, ácido fítico, compostos nitrogenados não-protéicos, açúcares, minerais, pigmentos, amido, proteína, vitaminas hidrossolúveis, tais como tiamina, riboflavina e niacina (Wang et al., 1979).

**TABELA 2** Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) da água de maceração (12 h de maceração a 23°C) da soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL) e do soro dos tofus obtidos das respectivas sojas.

Tratamentos	Sólidos solúveis (°B)	
	água maceração	soro tofu
SC	0,880 b	2,040 a
SCb	2,880 a	1,240 b
SLL	0,480 c	2,034 a
C.V. (%)	10,88	4,85

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Pelos resultados obtidos por Bayram et al. (2003), verifica-se o efeito de diferentes tempos e temperaturas de maceração resultando no aumento das perdas de sólidos solúveis, em que temperaturas de maceração mais elevadas

podem, em 70 minutos, proporcionar perdas de 2,3%. Wang et al. (1979) chegaram a resultados, nas quais na água de maceração da soja apresenta perdas de 0,7 a 1,25% em temperaturas de 20 a 37 °C, por tempo de 2 horas.

### 3.3 Rendimento dos tofus

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de rendimento dos tofus em g/100 g de grãos de soja crus, produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

**TABELA 3** Valores médios de rendimento dos tofus (g/100g de grãos de soja) produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	Rendimento (g de tofu/100g de grãos de soja)	% rendimento
SC	275,37 a	100,00
SCb	204,09 b	074,11
SLL	287,44 a	104,38
C.V. (%)	6,77	-

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Vários fatores externos podem interferir no rendimento do tofu, tais como tipo e concentração de coagulante, o tempo de maceração e o processamento do grão para a produção do tofu. Fatores intrínsecos, como quantidade de proteína total do grão, são também influenciáveis no rendimento. Os cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase utilizados nos

tratamentos para obtenção dos tofus não apresentaram diferença significativa de quantidade de proteína total no grão (Ciabotti, 2004).

O menor rendimento do tofu proveniente de soja convencional branqueada que foi de 204,09 g (74,11% comparado com o tofu de soja convencional), pode ter sido afetado pelo tratamento térmico a que foi submetido o grão, favorecendo, assim, uma desnaturação protéica já no início do processo, proporcionando maior solubilidade das proteínas e formação de pontes de hidrogênio em decorrência de maior umidade no extrato. O rendimento pode ter ainda sido afetado pelas perdas de compostos solúveis em água e que são importantes no processo de coagulação, tais como proteínas e minerais. Os íons cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ) são essenciais para a ligação de resíduos de aminoácidos carregados negativamente das moléculas de proteínas (Witaker & Fujimaki, 1979), na coagulação do tofu; conseqüentemente, contribuem para aumentar o rendimento.

O rendimento dos tofus obtidos de soja convencional e livre de lipoxigenase encontra-se de acordo com os padrões de tofu *soft* observados na literatura. Jackson et al. (2002) encontram rendimento de 274,8 g de tofu em 100 g de soja seca.

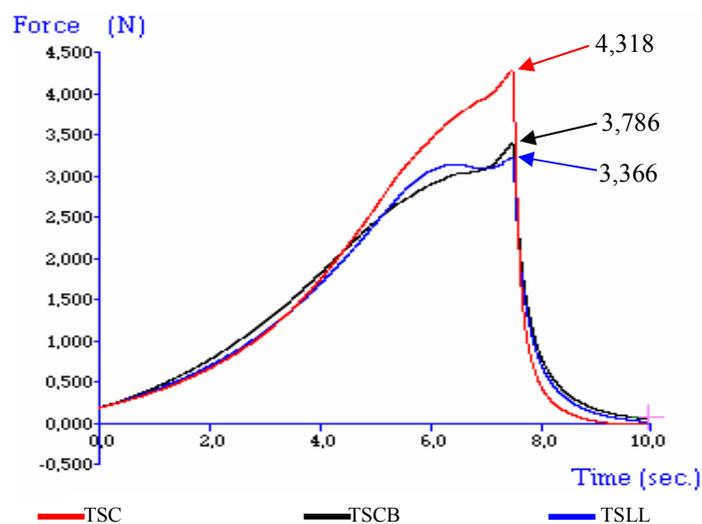
### **3.4 Textura do tofu**

Na Figura 6 observa-se a curva de força e tempo obtido após aplicação de compressão de 75% de deformação dos tofus nos diferentes tratamentos.

Observa-se que o tofu obtido de soja convencional apresentou maior resistência à compressão de 4,318 de força (N), apresentando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) com relação aos tofus obtidos de soja convencional branqueada e de soja livre de lipoxigenase com valores de 3,786 e 3,366 respectivamente. O tofu de soja convencional branqueada mostrou-se afetado

pelo branqueamento, comparativamente com o tofu de soja convencional sem o branqueamento, que apresentou maior firmeza.

As proteínas têm um papel fundamental na formação da rede tridimensional da coalhada na produção do tofu, ocorrendo uma diferença acentuada entre as propriedades físicas e o gel de tofu feito de globulina 7S e 11S (Kwork & Niranjana, 1995). O gel do tofu com globulinas 11S (glicinina) é estabilizado por ligações disulfídicas, que são ligações mais fortes, o que pode ser explicado talvez pelo fato de se predominar esse tipo de ligações no tofu obtido de soja convencional, conferindo, assim, mais firmeza. O tofu de soja branqueada apresentou-se menos firme, possivelmente devido ao excesso de pontes de hidrogênio com a água, ocasionado pela desnaturação das proteínas em decorrência do tratamento térmico dos grãos anterior à maceração.



**FIGURA 6** Curva típica de força e tempo de aplicação de compressão de 75% de deformação dos tofus obtidos de soja convencional, convencional branqueada e livre de lipoxigenases.

A desnaturação térmica influi nas propriedades físicas de geleificação, texturização ou fibrilação das proteínas (Sawazaki et al., 1987), provocando a formação de uma rede tridimensional mais fraca e com retenção de umidade desuniforme na sua estrutura (Witaker & Fujimaki, 1979).

### 3.5 Cor do tofu

Na Tabela 4 observam-se os valores médios da leitura da cor dos tofus medidas pelo sistema “CIELAB”.

**TABELA 4.** Valores médios de cor medida pelo sistema “CIELAB” dos tofus produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	Pontuação “CIELAB”	
	Luminosidade (L)	amarelo (b)
SC	84,814 a	11,084 c
SCb	85,140 a	11,858 b
SLL	84,696 a	12,994 a
CV (%)	1,17	1,16

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

A cor do tofu normalmente expressa a qualidade do produto e varia entre o branco e o amarelo-claro. Todas as amostras apresentaram coloração entre os padrões; a luminosidade (L) não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos. A intensidade do amarelo (b) no tofu produzido de soja livre de lipoxigenases (SLL) teve o valor de 12,994 mais alto, comparado com

os outros tratamentos. Nos tofus obtidos com a mesma soja, porém, o submetido ao branqueamento teve a leitura de 11,854, diferindo significativamente do obtido da soja convencional, com a leitura de 11,084, fato que provavelmente pode se explicado pelo calor do branqueamento nos grãos de soja que afetou ainda a biodisponibilidade pela reação de *Maillard* (Kwork et al., 1999; Bayran et al., 2003).

Uma série de fatores explica a diferença de cor entre as sementes de soja e seus produtos finais. Reações enzimáticas e não-enzimáticas em sementes de soja são aceleradas quando são estocadas a temperaturas baixas e/ou muito elevadas e os pigmentos escuros formados são transferidos para o extrato de soja e tofu (Lambrecht et al., 1996), além do genótipo dos grãos (Bhardwaj et al., 1999).

No trabalho de Karin et al. (1999), apresentaram-se os valores médios de tofus obtidos com glucona- $\delta$ -lactona, próximos aos apresentados na Tabela 7 com as leituras médias de luminosidade (L) de 82,51, os valores do amarelo 13,01.

### **3.6 Análises sensoriais**

O teste de qualidade em relação às características de sabor, aparência e cor do extrato de soja está representado na Tabela 5.

O sabor dos extratos de soja produzidos com a soja convencional branqueada (98 °C/5') e os produzidos de soja livre de lipoxigenase diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) do extrato produzido com a soja convencional, provavelmente devido à ação do calor, que inativou as enzimas lipoxigenases responsáveis pelo sabor desagradável dos extratos. Em estudo de Okubo et al. (1992) houve relato de que além dos flavonóides, outros compostos fenólicos favorecem a adstringência do extrato de soja.

Torres-Penaranda & Reitmeier (2001), estudando o sabor dos extratos de soja obtidos de soja convencional e livres de lipoxigenases, verificaram diferenças em quase todos os atributos de sabor. Em outro estudo de Torres-Penaranda et al. (1998), foi verificado nos extratos de soja obtidos de soja convencional e livre de lipoxigenase menor intensidade para o sabor de “feijão cru”, pelos provadores americanos do que pelos chineses, ao passo que os japoneses não encontraram diferença alguma.

**TABELA 5** Valores médios da “escala de avaliação numérica”\* (escala de qualidade) dos extratos de soja produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Extrato de soja	Valores de qualidade dos extratos de soja*		
	Sabor	Aparência	Cor
SC	6,14 b	7,27 a	7,23 a
SCb	7,14 a	7,45 a	7,32 a
SLL	7,41 a	7,45 a	7,18 a
C.V. (%)	9,97	9,45	9,46

\*Escala de avaliação numérica (1 = péssimo, 9 = ótimo).

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

O teste de qualidade em relação às características de sabor, textura, aparência e cor dos tofus está representado na Tabela 6.

Os tofus produzidos com sojas livres de lipoxigenases e soja convencional não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) nas características de sabor, textura, aparência e cor.

A remoção do soro durante o processamento de tofu com a soja convencional provavelmente contribuiu para a eliminação dos compostos hidrossolúveis que contribuem para o sabor indesejável (Watanabe & Kishi, 1984, citado por Torres-Penaranda et al., 1998). Em trabalho realizado por Torres-Penaranda et al. (1998), foi verificado que os americanos e chineses não encontraram diferença entre algumas características sensoriais dos tofus de soja convencional e de livre de lipoxigenase; os japoneses classificaram os tofus da soja livre de lipoxigenase como de sabores mais suaves do que os obtidos de soja convencional.

**TABELA 6** Valores médios da “escala de avaliação numérica”\* (escala de qualidade) dos tofus produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tofu	Valores de qualidade dos tofus*			
	Sabor	Textura	Aparência	Cor
SC	7,233 a	7,569 a	7,595 a	7,486 a
SCb	5,622 b	5,327 b	6,144 b	7,259 a
SLL	7,592 a	7,645 a	7,804 a	7,406 a
C.V. (%)	12,19	13,80	8,59	6,26

\*Escala de avaliação numérica (1 = péssimo, 9 = ótimo).

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

O tofu produzido com a soja convencional branqueada apresentou menor valor (Tabela 2) do que os demais tratamentos, para sabor, textura e aparência, devido à ação do calor (branqueamento - 98 °C/5', seguido de

resfriamento), que alterou não somente o pH (Ciabotti, 2004), como também a textura. Sabe-se que as proteínas são facilmente desnaturadas pelo calor e contata-se, no caso, que nas proteínas da soja o aquecimento excessivo pode causar mudanças químicas indesejáveis na conformação das moléculas, causar escurecimento e o desenvolvimento de “sabor cozido” (Kwork & Niranjana, 1995).

## 4 CONCLUSÕES

Quanto aos aspectos tecnológicos analisados na obtenção dos extratos de soja e respectivos tofus, o processo de fabricação pelo uso do branqueamento dos grãos de soja convencional apresentou valores desfavoráveis quanto a perdas de sólidos solúveis na água de maceração e sólidos totais no extrato de soja, e ainda apresentou baixo rendimento do tofu e a textura medida pelo texturômetro ficou consideravelmente afetada.

Baseado nos resultados das análises sensoriais, o processamento térmico a que a soja convencional foi submetida mostrou-se imprescindível para tornar o “sabor” do extrato de soja mais agradável ao paladar dos provadores, não interferindo na sua aparência e nem na sua cor, tendo sempre como referência a soja livre de lipoxigenase, porém, o branqueamento, por sua vez, depreciou não só o “sabor”, mas também a “textura” e a “aparência” dos respectivos tofus, mostrando-se indiferente para o aspecto sensorial “cor”.

O extrato de soja (leite de soja) para ser consumido como tal, deve ser obtido ou da soja livre de lipoxigenase (BRS 213) ou da soja convencional (133) branqueada, e o extrato de soja para a fabricação do tofu deve ser obtido ou da soja livre de lipoxigenase ou da soja convencional, sem a prática do branqueamento.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analytical of the Association of Official analytical chemistry**. 15. ed. Washington, 1990. v. 2.

AXEROLD, B.; CHEESEBROUGH, T. M.; LAAKSSO, S. Lipoxygenase from soybeans. **Methods Enzymology**, Oxford, v. 71, p. 441-451, 1981.

BAYRAM, M.; KAYA, A.; ONER, M. D. Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 331-339, Feb. 2004.

BHARDWAJ, H. L.; BHAGSARI, A. S.; JOSHI, J. M.; RANGAPPA, M.; SAPRA, V. T.; RAO, M. S. 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, Mar./Apr. 1999.

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

CHAI, X.; MI, Y.; YUE, P. L.; CHEN, G. Bean curd wastewater treatment by membrana separation. **Separation and Purification Technology**, Madison, v. 15, p. 175-180, 1999.

CIABOTTI, S. Avaliações química, físico-química e bioquímica dos cultivares de soja convencional e de soja livre de lipoxigenase, dos extratos de soja e respectivos tofus. In: \_\_\_\_\_. **Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase**. 2004. Cap. 2, p. 36-51. Dissertação (Pós-graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

DAVIES, C. S.; NIELSEN, N. C. Genetic análisis of a null-allele for lipoxigenase – 2 in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 460-463, May/June 1986.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4. 0. In: REUNIAO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. UFSCar, 45, 200, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, V. L. P. et al. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos.** Campinas: SBCTA, 2000. 127 p. (Manual: série qualidade)

JACKSON, C.; DINI, J. P.; RUPASINGHE, H. P. V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; DEGRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 10, p. 1117-1123, May 2002.

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

KWOK, K. C.; MACDOUGALL, D. B.; NIRANJAM, K. Reaction kinetics of heat-induced colour changes in soymilk. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 15-20, Jan. 1999.

KWOK, K. C.; NIRANJAM, K. Effect of thermal processing on soymilk. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 263-295, June 1995.

LAMBRECHT, H. S.; NIELSEN, B. J.; LISKA, B. J.; NIELSEN, N. C.; Effect of soybean storage on tofu and soymilk production. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 19, n. 3, p. 189-202, June 1996.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques.** 2 ed. Flórida-USA: CRC Press, 1991. 354 p.

LIM, B. T.; DeMAN, M. J.; DeMAN, 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, July/Aug. 1990.

MOREIRA, A. M. Programa de melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina, PR, **Anais...** Embrapa-SPI, 1999. p. 99-104.

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, Mar. 1997.

NELSON, A. I.; STEINBERG, M. P.; WEI, S. L. Illinois process for preparation of soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 41, n. 1, p. 57-61, Jan./Feb. 1976.

OKUBO, K.; LYJIMA, M.; KOBAYASHI, Y.; YOSHIKOSHI, M.; UCHIDA, T.; KUDOU, S. Components responsible for the undesirable taste of soybean seeds. **Bioscience and Biotechnology Biochemistry**, Tokyo, v. 56, n. 1, p. 99-103, Jan. 1992.

PAN, Z.; TANGRATANAVALEE, W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie – Food Science Technology**, San Diego, v. 36, n. 1, p. 143-151, 2003.

SAWAZAKI, H. E.; TEIXEIRA, J. P. F.; MIRANDA, M. A. C. Avaliação da atividade da lipoxigenase em linhagem de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 371-380, 1987.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, sept. 1974.

SMITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and technology**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1978. v. 1, p. 470.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987. p.180.

TORRES-PENARANDA, A. V.; REITMEIER, C. A. Sensory descriptive analysis of soymilk. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 66, n. 2, p. 352-356, Mar./Apr. 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 lipoxygenase-free and normal soybeans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 6, p. 1084-1087, Nov./Dec. 1998.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; HESSELTINE, C. W.; HEAT, H. D.  
Hydratation of wole soybean affects solids losses and cooking quality. **Journal  
of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 1510-1513, Sept./Oct. 1979.

WHITAKER, J. R.; FUJIMAKI, M. (Eds.) **Chemical deterioration of proteins**.  
Washington: American Chemical Society, 1979.

## **CAPÍTULO 3**

**AVALIAÇÕES QUÍMICA, FÍSICO-QUÍMICA E BIOQUÍMICA DOS  
CULTIVARES DE SOJA CONVENCIONAL E DE SOJA LIVRE DE  
LIPOXIGENASE, DOS EXTRATOS DE SOJA E RESPECTIVOS TOFUS**

## RESUMO

CIABOTTI, Sueli. **Avaliações química, físico-química e bioquímica de extratos de soja e respectivos tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenases.** 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras –MG.

Este trabalho foi conduzido nos laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, com o objetivo de avaliar a composição química e aspectos bioquímicos de soja convencional, convencional branqueada e livre de lipoxigenases e o efeito do processamento dos seus respectivos extratos de soja e tofus. A composição química dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase não se diferenciaram ( $p>0,05$ ). Alterações na composição química dos extratos de soja e dos tofus foram atribuídas ao tratamento térmico ( $98^{\circ}\text{C}/5'$ ) a que foi submetido o grão de soja convencional e à etapa de maceração dos grãos, ficando evidente que algumas substâncias hidrossolúveis, principalmente os minerais, foram lixiviados para a água de maceração dos grãos; o branqueamento na soja convencional no início do processamento reduziu o teor de alguns minerais do extrato de soja (leite de soja), bem como no tofu. A etapa do branqueamento do grão de soja convencional proporcionou maior retenção de isoflavonas no tofu (68%) e, o tofu que menos reteve isoflavonas foi o obtido com a soja livre de lipoxigenase (44%). O tratamento térmico (branqueamento) a que foi submetido o grão para elaboração do extrato de soja foi eficaz na redução da atividade da lipoxigenase, quando comparado com a soja livre dessa enzima. O processamento térmico utilizado para obtenção dos tofus foi suficiente para eliminar a atividade dos inibidores de tripsina em 79% do tofu de soja convencional, 81% no tofu de soja branqueada e 82% nos tofus de soja livre de lipoxigenase.

---

\*Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG – Uberaba.

## ABSTRACT

CIABOTTI, Sueli. **Chemical, physical-chemical and biochemical evaluation of conventional and lipoxygenase-free soybeans, soymilk and respective tofus.** 2004, 122p. Dissertation (Master Degree in Food Science)\* - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

This work was undertaken in the laboratories of the Food Science Department of UFLA. The objective was to evaluate the chemical composition and biochemical aspects of conventional, conventional bleached and lipoxygenase-free soybean cultivars and the processing effect of the respective soymilk and tofu. Chemical composition of conventional and lipoxygenase-free soybean cultivars did not differ ( $p > 0.05$ ). Changes in the chemical composition of soymilk and tofu were ascribed to the thermal treatment ( $98^{\circ}\text{C}/5'$ ) to which the conventional soybean was submitted and to the grain maceration phase. In this phase it was evident that some hydrosoluble substances, especially minerals, were leached to the grain maceration water, being that the bleaching of the conventional soybean in the beginning of the processing reduced the content of some minerals in the soymilk and tofu. The soybean processing evidenced the losses of isoflavones in the tofu, and the lipoxygenase-free soybean presented a greater instability in relation to the retention of these compounds. The thermal treatment (bleaching) to which the grain was submitted in order to produce soymilk was efficient for reducing the lipoxygenase activity when compared to the lipoxygenase-free soybean. The thermal process used to obtain tofu was sufficient to eliminate the activity of the tripsine inhibitors in 79% of conventional soybean tofu, 81% of bleached soybean tofu and 82% in lipoxygenase-free tofus.

---

\* Guidance Committee: Maria de Fátima Píccolo Barcelos – UFLA (Advisor), Maria das Graças Cardoso – UFLA, Luiz Ronaldo de Abreu – UFLA, Roberto Kazuhiko Zito – EPAMIG – Uberaba.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] e os seus produtos vêm sendo amplamente estudados em razão não somente do seu valor nutricional, principalmente com relação à excelência da qualidade de proteína dessa leguminosa mediante as proteínas dos alimentos de origem vegetal, mas também de suas propriedades funcionais na indústria de alimentos, e ainda pela sua utilização já constatada como alimento funcional, a exemplo da ação moduladora de determinados mecanismos fisiológicos de ambos os componentes da soja: proteínas e isoflavonas.

O extrato de soja (leite de soja) e o tofu são alguns dos produtos que mais se destacam em popularidade no Ocidente, tornando imprescindível a utilização de técnicas adequadas de processamento para preservar as suas qualidades.

O processamento do alimento pode proporcionar mudanças no seu teor de nutrientes e, conseqüentemente, na sua qualidade nutricional. No processamento da soja, a etapa de imersão dos grãos na água visando ao seu amaciamento é quase sempre necessária, e o tratamento térmico adequado da soja aumenta a digestibilidade de sua proteína, bem como inativa os inibidores de proteases e outros fatores antinutricionais. Vale salientar que o tratamento térmico das leguminosas deve ser eficaz para garantir a inativação das substâncias antinutricionais, pois tem sido demonstrado que pode ser encontrada atividade residual significativa de inibidores de proteases em produtos da soja, mesmo após tratamento térmico, indicativo da presença de outros antinutrientes (Rockland & Radke, 1981; Silva & Braga, 1982; Escueta et al., 1986; Wang & Murphy, 1996; Bayran et al., 2004).

Os produtos da soja sofrem restrições de consumo pela população em consequência do sabor característico desagradável atribuído à ação das lipoxigenases em alguns ácidos graxos poliinsaturados (Axerold et al., 1981; Davies & Nielsen, 1986; Rackis et al., 1979). Nelson et al. (1979) propuseram o processo de branqueamento dos grãos visando a inativar ação de lipoxigenases em soja. Esses autores propuseram a etapa do branqueamento já no início do processamento do extrato de soja (leite de soja).

Wang et al. (1979) e Wang & Murphy (1996) observaram que quantidades de isoflavonas em alguns cultivares de soja e respectivos produtos têm sido reduzidos e/ou quimicamente modificados por influência do seu processamento.

Pelo fato de o tratamento térmico, mais especificamente o branqueamento, inativar a atividade da lipoxigenase e ainda por se ter o conhecimento da existência de cultivares de soja livre dessa enzima, com este trabalho teve-se por objetivos: avaliar a composição química do grão de soja da cultivar convencional (SC) e da cultivar livre de lipoxigenase (SLL), bem como avaliar química e bioquimicamente os produtos (extrato de soja e respectivos tofus) obtidos de SC, SC branqueada (SCb) e SLL, comparando-os.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras-MG, mais especificamente no Laboratório de Bioquímica Nutricional.

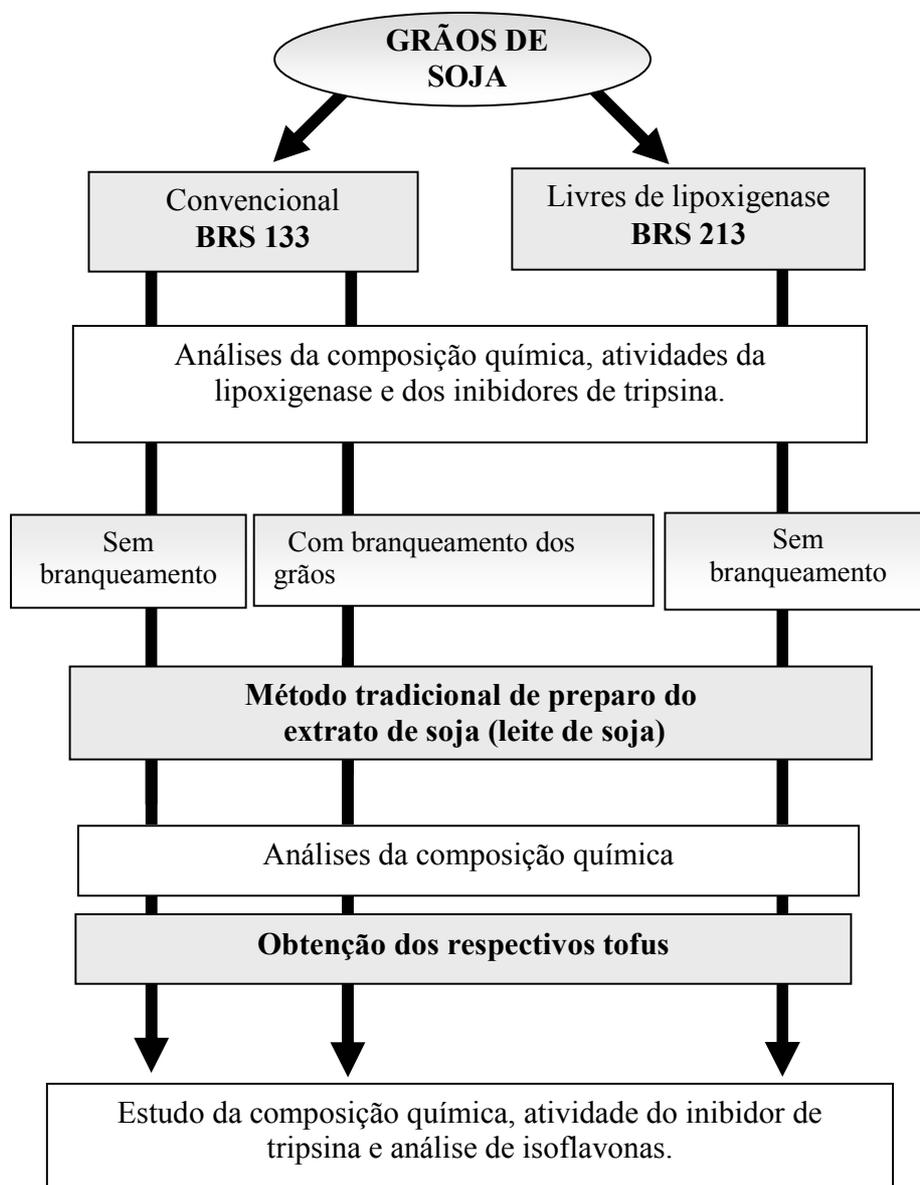
A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] cultivar convencional BRS 133, e a variedade BRS – 213, livre de lipoxigenase – lipoxigenase I, lipoxigenase II e lipoxigenase III, safra 2003, foram cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -Embrapa-Soja – PR.

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma dos procedimentos gerais do trabalho.

### **2.1 Caracterização química da soja, extrato de soja (leite de soja) e respectivo tofu**

#### **2.1.1 Composição centesimal**

Pela composição centesimal dos grãos de soja, do extrato de soja e do tofu, foi determinada: a umidade pelo método gravimétrico com emprego de calor, em que determinou a perda de peso do material quando submetido ao aquecimento (105 °C) até obtenção de peso constante, segundo AOAC (1990). A fração protéica foi obtida pela determinação da porcentagem de nitrogênio total da amostra segundo método de Kjeldahl descrito pela AOAC (1990) e multiplicado pelo fator 6,25. O extrato etéreo dos grãos crus de soja e do tofu foi determinado segundo o método da AOAC (1990) e do extrato de soja pelo método de Gerber, conforme Pereira et al. (2001). A fibra bruta foi determinada pelo método gravimétrico, após a hidrólise ácida, segundo metodologia descrita por Van de Kamer & Van Ginkel (1952).



**FIGURA 1** Fluxograma geral da produção do extrato de soja e respectivos tofus e das análises químicas e bioquímicas realizadas.

O resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado pela incineração das amostras em temperatura de 550° C, segundo AOAC (1990), e a fração glicídica foi obtida pelo cálculo de diferença.

### **2.1.2 Composição de minerais**

As análises de Ca, P, Fe e K foram determinadas segundo Sarruge & Haag (1974) e Malavolta et al. (1989). Os extratos foram obtidos por digestão nitroperclórica. O P foi determinado por colorimetria, segundo AOAC (1990); Ca e Fé, por espectrofotometria de absorção atômica, e K, por fotometria de chama.

### **2.1.3 pH**

O pH foi determinado com peagâmetro com inserção do eletrodo diretamente na água de maceração dos grãos de soja, no extrato de soja e na coalhada do tofu. No tofu, a inserção do eletrodo foi em uma solução de análise obtida segundo Pereira et al. (2001).

### **2.1.4 Análises de isoflavonas**

As análises de isoflavonas dos cultivares de soja e respectivos tofus foram realizadas no Laboratório de Análises Cromatográficas da EMBRAPA-SOJA-PR, por HPLC.

Foi utilizada a metodologia adaptada de Berhow (2002) e Berhow et al. (2002), que teve como princípio a extração das isoflavonas em amostras sólidas. Inicialmente, desengorduraram-se as amostras com N-Hexano e, após secagem, pesou-se a amostra seca e desengordurada, sendo adicionada solução extratora - 80% de metanol e 20% de dimetilsulfóxido (DMSO); em seguida, a solução foi ultrasonificada e deixada em repouso, para posterior filtragem da amostra.

As amostras foram injetadas seguindo os procedimentos usuais do

aparelho de *high-performance liquid chromatography* – HPLC. Para quantificação das isoflavonas, utilizou-se o sistema de gradiente binário, com fase móvel de acetonitrila e metanol, e a temperatura da coluna de 26 °C. Utilizou-se a coluna de fase reversa do tipo ODS-C18 com partículas de 5 µm, comprimento de 250 mm e diâmetro interno de 4,6 mm (YMC-Pack ODS-AM, S-5 µm).

## **2.2 Análises bioquímicas**

### **2.2.1 Determinação da atividade da lipoxigenase**

Foi utilizado para determinação da atividade da lipoxigenase I e lipoxigenase II + III o método espectrofotométrico.

Para a determinação da ação das isoenzimas de lipoxigenase, os grãos de soja crus e os branqueados (liofilizados) foram moídos e desengordurados com hexano. As amostras foram peneiradas (150 mesh) seguindo a metodologia descrita por Kumar et al. (2003).

Pesou-se 1 grama da amostra, que foi homogeneizada com 100 mL de tampão fosfato (0,2M, pH 6,8) por 20 minutos em temperatura de 0-4 °C. A solução do homogenato foi posteriormente centrifugada a 10.000 rpm por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante obtido foi utilizado como extrato cru para análise da atividade das isoenzimas seguindo o método padrão de Axerold et al. (1981).

A mistura da reação para lipoxigenase I consistiu do extrato cru como fonte de enzima (25 µL), tampão ácido bórico bórax (0,2 M, pH 9,0) e 10 mM de linoleato de sódio como substrato. O aumento da absorbância foi registrado a 234 nm a cada 1 minuto.

A lipoxigenase II e III foi analisada com a mistura de reação consistindo de extrato cru como fonte de enzima (50 µL), tampão fosfato (0,2 M, pH 6,8) e 10 mM de linoleato de sódio como substrato. A absorbância foi registrada a 280

nm para a lipoxigenase II + III. Uma unidade de enzima foi a quantidade equivalente para gerar aumento da absorbância de 1,0 por minuto.

### **2.2.2 Determinação da atividade dos inibidores de tripsina**

A atividade do inibidor de tripsina na soja crua e no tofu foi determinada pelo ensaio enzimático de Kakade et al. (1974), utilizando como substrato o benzoyl-DL-arginina p-nitroanilida (BAPA), conforme escrita pela AACC (1976) O método se baseia na quantificação de unidades de tripsina inibidas (UTI) quando o inibidor (amostra) é adicionado ao sistema enzima-substrato (tripsina-BAPA). Uma unidade de tripsina (UT) é arbitrariamente definida como um aumento de 0,01 unidade de absorbância a 410 nm nas condições do teste.

### **2.3 Análises estatísticas**

As avaliações químicas e bioquímicas constaram de um delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições.

Os efeitos de tratamentos foram comparados pelo teste F e, em seguida, analisados por comparação de médias pelo teste de Scott-Knott (1974) ao valor nominal de significância de 5%. As análises de variância e teste de médias foram realizadas segundo técnicas usuais do *software* SISVAR (Ferreira, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição centesimal dos cultivares de soja, extratos de soja e respectivos tofus

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados médios da composição centesimal da soja convencional e da soja livre de lipoxigenase.

**TABELA 1.** Valores médios da composição química (%) dos grãos dos cultivares de soja convencional (SC), e de soja livre de lipoxigenase (SLL).

Cultivar de soja	Composição química do grão de soja (%)					
	Umidade	Proteína*	Lipídios	Cinzas	Fibra	ENN <sup>1</sup>
SC	9,59 a	32,77 a	15,74 a	3,643 a	7,56 a	30,09 a
SLL	9,28 b	33,29 a	15,30 a	3,843 a	7,09 a	31,19 a
C.V. (%)	1,14	1,22	2,26	8,32	5,03	2,49

Dados expressos com base em matéria integral.

\*% Proteína = % N X 6,25

<sup>1</sup>ENN = extrato não nitrogenado.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância pelo Teste F.

Verifica-se pela Tabela 1 que o conteúdo de proteína da soja livre de lipoxigenase não foi diferente do teor protéico da soja convencional, constatando-se que os trabalhos de melhoramento genético do grão que se estabelece com o principal objetivo de contribuição nas melhorias das

características sensoriais felizmente não depreciaram o grão em termos de quantidade protéica verificando-se que os cultivares com ausência de lipoxigenase têm provavelmente uma posição de destaque na comercialização de soja mais direcionada para o consumo humano. Observa-se também que o conteúdo lipídico da soja livre de lipoxigenase é igual ao conteúdo da soja convencional, como pode ser observado na Tabela 1.

A composição química dos cultivares de soja em estudo mostra-se de acordo com os valores encontrados por Smith & Circle (1978); Cai et al. (1977) e Escueta et al. (1986). Quanto à composição química de grãos de soja cultivados no Brasil, conforme Castro et al. (1973), foi verificado que o conteúdo de proteína variou de 29 a 57,9% e o de lipídeos variou de 14,7 a 28,4%. Os cultivares analisados neste trabalho apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas no teor de umidade.

De acordo com dados da Embrapa-soja (2003), os teores médios de proteínas e lipídeos dos cultivares de soja convencional (BRS 133) foram de 38,6% e 18%, e os da soja livre de lipoxigenase (BRS 213) foram de 39,7% e 19%, respectivamente, valores esses que se aproximam quando comparados com a transformação de matéria integral para matéria seca encontrada neste trabalho.

Escueta et al. (1986) analisaram três variedades de soja, as quais apresentaram as seguintes médias: 10,5% de umidade, 38% de proteínas, 16,2% de gorduras, 4,8% de fibra bruta, 5,1% de cinzas e 25,42% de ENN por diferença.

A composição do grão de soja é influenciada por uma série de fatores, tais como ambientais e genótipo, localização e safra de produção, causando alterações no rendimento e qualidade do extrato de soja e tofu (Bhardwaj et al., 1999).

Na Tabela 2 observam-se os resultados da composição centesimal dos extratos de soja produzidos com soja convencional (SC), soja convencional

branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Verifica-se pela Tabela 2 que o teor de proteína do extrato de soja (leite de soja) obtido do cultivar de soja convencional, SC (BRS 133), quando se utilizou o método tradicional de obtenção do extrato de soja, foi superior ao teor protéico do extrato de soja obtido desse mesmo cultivar após ter sido submetido ao processo do branqueamento (98 °C/5 minutos), processo esse que foi realizado visando a inativar a enzima lipoxigenase, promotora de sabores desagradáveis em produtos de soja; porém, é importante observar que na Tabela 2 o teor protéico do extrato de soja obtido da SC branqueada (SCb) foi igual ( $p>0,05$ ) ao teor protéico da soja livre de lipoxigenase (SLL).

**TABELA 2.** Valores médios da composição química (%) dos extratos de soja (leite de soja) obtidos da soja convencional (SC), de soja convencional branqueada (SCB) e da soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	Composição química do extrato de soja (%)				
	Umidade	Proteína*	Lipídios	Cinzas	ENN <sup>1</sup>
SC	93,70 b	3,56 a	1,62 b	0,30 b	0,81 a
SCb	95,18 a	3,12 b	1,48 c	0,18 c	0,05 b
SLL	93,79 b	3,26 b	1,72 a	0,36 a	0,87 a
C.V. (%)	0,28	6,15	1,62	10,27	39,18

Dados expressos com base em matéria integral.

\*% Proteína = % N X 6,25

<sup>1</sup>ENN = extrato não nitrogenado.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

A umidade do extrato de soja obtido com a soja convencional branqueada diferenciou-se significativamente ( $p>0,05$ ) da soja convencional e da livre de lipoxigenase e o teor de proteína de 3,116 apresentou diferença significativa da soja convencional de 3,56%, indicando provavelmente que o branqueamento interferiu na maior solubilização das proteínas, aumentando o teor de água, e o processo de maceração influenciou a quantidade lixiviada de proteína, cinzas e extrato não-nitrogenado, para a água de maceração. Iwuoha & Umunnakwe (1997) observaram perdas de proteínas na obtenção de extrato de soja em que os grãos sofreram o branqueamento.

Rosenthal et al. (2002), trabalhando com extrato de soja, verificaram teores de 2,86% de proteína, 1,53% de gordura, 0,27% de cinzas e 1,53% de carboidratos (calculados por diferença), valores aproximados aos encontrados neste trabalho.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias da composição química dos tofus produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Verifica-se na Tabela 3 que a composição química do tofu obtido de soja convencional branqueada apresentou valores mais elevados de proteínas ( $p<0,05$ ) que o tofu obtido da mesma soja sem o branqueamento e da soja livre de lipoxigenase, com teores protéicos de 9,84% (SCb), 9,54% (SLL) e 9,19% (SC). Provavelmente o branqueamento do grão em água, realizado na etapa inicial da obtenção do extrato (leite de soja) para obtenção do respectivo tofu, proporcionou condições mais adequadas de extração das proteínas, o que pode ser verificado ao analisar esse componente químico do tofu. As perdas de cinzas provavelmente foram devidas à lixiviação desses compostos durante o tratamento térmico (branqueamento) e na água de maceração (Bayran et al., 2004).

A composição química dos tofus analisados encontrou-se próxima aos

valores da literatura, pois Fukushima (1980), analisando tofus, relatou os resultados de porcentagens de água, proteína, óleo, carboidratos e cinzas de 88%, 6%, 3,5%, 1,9%, 0,6% respectivamente.

Smith & Circle (1978) relataram em tofus valores médios de 6,7% de proteínas, alcançando-se, neste trabalho, média um pouco superior. Wang (1984) citou a composição média de tofu *soft* (Japonês) de 7,5% de proteína e Jackson et al. (2002) encontraram (5,03 ± 0,05)% de proteínas.

**TABELA 3.** Valores médios da composição química (%) dos tofus produzidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	Composição química do tofu (%)				
	Umidade	Proteína*	Lipídios	Cinzas	ENN <sup>1</sup>
SC	82,82 a	9,19 c	5,65 a	0,86 a	1,46 a
SCb	82,42 a	9,84 a	5,98 a	0,76 b	0,99 a
SLL	83,49 a	9,54 b	4,97 b	0,76 b	1,23 a
C.V. (%)	0,73	2,14	5,07	8,08	39,20

Dados expressos com base em matéria integral.

\*% Proteína = % N X 6,25

<sup>1</sup>ENN = extrato não nitrogenado.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

### 3.2 Composição de minerais

As concentrações de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro dos cultivares de soja convencional (SC) e do cultivar livre de lipoxigenase (SLL)

encontram-se expressas na Tabela 4. Podem-se notar diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nos teores de potássio, cálcio, cobre e ferro, o que representa influências genéticas e ambientais que interferem nessas variações (Bhardwaj et al., 1999).

Comparando-se os valores desses minerais com os apresentados na revisão de Smith & Circle (1978), a composição de soja para cálcio é de 0,16% a 0,47%; fósforo, 0,42% a 0,82%; zinco, 37 ppm, e para cobre, 12 ppm, respectivamente, valores próximos aos encontrados neste trabalho.

**TABELA 4** Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro da soja convencional (SC) e dos grãos de soja livre de lipoxigenase (SLL).

Cultivar	Minerais nos grãos de soja					
	P	K	Ca	Cu	Zn	Fe
	(% )			(ppm)		
SC	0,664 a	1,696 b	0,170 a	12,200 a	44,160 a	72,266 b
SLL	0,655 a	1,895 a	0,155 b	9,575 b	44,645 a	78,900 a
C.V. (%)	2,93	1,24	5,17	5,38	2,48	2,51

Dados expressos com base em matéria integral.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Teste F).

Em comparações de ferro total, os cultivares Tóquio (80,98 ppm) e Jackson (81,54 ppm), analisadas por Beard et al. (1996) em matéria seca, aproximam-se dos valores encontrados neste trabalho, que foram de 79,79 ppm (SC) e 89,22 (SLL), considerando base seca, já que a média de umidade dessas sementes foi de 9,596 e 9,283, respectivamente.

Em estudos de Van Der Riet et al. (1989), foram verificados em três cultivares de soja teores de potássio de 1,609% a 1,739%, valores próximos aos cultivares convencional e livre de lipoxigenase.

A soja é uma fonte interessante de cálcio, pois, comparando-se os teores desse mineral aqui encontrado de 170 mg/100g (SC) e 155 mg/100g (SLL), com o de outros alimentos vegetais muito consumidos na alimentação humana, como por exemplo, o arroz (10 mg/100g), o feijão vermelho cozido (38 mg/100g), a farinha de mandioca (148 mg/100g) e a farinha de milho (6 mg/100g) (Azoubel et al., 2000), observa-se que a soja apresentou uma média de 162,5 mg/100g, mostrando ser o alimento com valores mais altos desse mineral.

A soja é um alimento cujo teor de ferro, quando comparado com o de outros vegetais, apresenta grandes quantidades. Com os valores aqui encontrados de 7,22 e 7,89 mg/100g para SC e SLL, respectivamente, quando comparados com o feijão preto (4,3 mg/100g), feijão vermelho (7,10 mg/100g) ou com o fubá (1,8 mg/100g), farinha de mandioca (5,4 mg/100g), verifica-se que esses produtos apresentam o teor de ferro menor que o da soja (Azoubel et al., 2000; Franco, 2002).

Na Tabela 5 observam-se os teores médios de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro do extrato de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Pode-se observar que o tratamento térmico na soja convencional branqueada influenciou ( $p < 0,05$ ) os teores de potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro nos extratos de soja obtidos da soja convencional. Fato esse que se deve provavelmente à migração desses componentes para a água de maceração dos grãos (Bayran et al. (2004); Byun et al. (1996); Wang et al. (1979).

Byun et al. (1996) encontraram teores de potássio, fósforo, cálcio e magnésio em maiores quantidades na água de maceração, no tempo de 16 horas

de hidratação em temperatura de 20 °C, o que implica dizer que a etapa de maceração contribui para a redução dos teores de minerais.

Os valores encontrados de minerais no extrato de soja podem ser comparados com Lim et al. (1990), nos teores de fósforo de 0,066%.

**TABELA 5** Teores médios de fósforo, potássio, cobre, zinco e ferro de extrato de soja (leite de soja) obtidos das seguintes matérias-primas: soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Matéria-prima para obtenção do extrato de soja (tratamentos)	Minerais do extrato de soja				
	P (%)	K (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
SC	0,074 b	0,142 a	1,816 a	4,592 a	12,700 a
SCb	0,062 b	0,080 b	1,216 c	2,978 c	7,900 b
SLL	0,093 a	0,143 a	1,505 b	4,203 b	13,038 a
CV(%)	16,45	7,76	3,44	1,95	8,63

Dados expressos com base em matéria integral.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Na revisão de Liener (1978), verifica-se que o teor de ferro do extrato de soja encontra-se da ordem de 6,8 mg de ferro/100g do extrato, porém, Soyafod.info (2004) relata conteúdo de ferro do extrato de soja da ordem de 0,58 mg de ferro/100g do extrato, e os teores de ferro encontrados no presente trabalho foram conforme Tabela 5, da ordem de 1,27 mg SC; 0,79 mg SCb e 1,3 mg de ferro/100g de extrato SLL.

Nota-se que os teores de ferro dos extratos encontram-se próximos aos do último citado, porém, muito abaixo aos de Liener (1978); provavelmente o teor de ferro do extrato citado por esse autor encontra-se na matéria seca.

Soyafod.info (2004) relata valores de potássio da ordem de 141 mg/100g; de cobre 0,12 mg/100g e de zinco 0,23 mg/100g. Comparando-se esses valores com os respectivos minerais dos extratos de soja verificados no presente trabalho, os quais 142 mg (SC), 80 mg (SCb) e 143 mg (SLL) de potássio, sendo ainda 0,18 mg (SC), 0,12 (SCb) e 0,15 mg (SLL) de cobre e finalmente 0,45 mg (SC), 0,29 mg (SCb) e 0,42 mg (SLL) de zinco, nota-se que apenas o zinco da SC e da SLL encontra-se bastante elevado, quando comparados com os teores citados pela literatura.

Os teores médios de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro de tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e soja livre de lipoxigenase encontram-se na Tabela 6.

Os valores de fósforo e de cobre não diferiram ( $p > 0,05$ ) nos tofus.

Nos tofus obtidos de soja convencional branqueada, observa-se que os teores de potássio (0,072%) e cálcio (0,070%) estão mais baixos, diferindo significativamente dos valores verificados nos tofus obtidos de soja convencional e livre de lipoxigenase, provavelmente pelas perdas desses minerais na água de maceração da soja após o branqueamento. Por outro lado, houve uma concentração de zinco (11,84 ppm) superior aos tofus de soja convencional (7,29ppm) e de soja livre de lipoxigenase (12,10ppm), em razão provavelmente da ligação desse mineral com outras substâncias na coagulação do tofu.

O tofu de soja convencional branqueada teve seu teor de ferro reduzido (11,846 ppm), comparativamente com o tofu de soja convencional sem o branqueamento (12,968 ppm), sugerindo as perdas devidas ao tratamento térmico do grão antes da maceração.

Soyafood.info (2004) cita valores de minerais no tofu da ordem de: fósforo 147 mg/100g de tofu, potássio 176 mg, cálcio 162 mg, cobre 0,24 mg, zinco 1 mg e ferro 1,45 mg/100g de tofu.

**TABELA 6** Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro de tofus obtidos dos seguintes tratamentos: soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL).

Matéria-prima na obtenção do tofu (tratamentos)	Minerais do tofu					
	P	K	Ca	Cu	Zn	Fe
	(%)			(ppm)		
SC	0,094 a	0,118 a	0,088 a	2,048 a	7,29 c	12,968 a
SCb	0,090 a	0,072 b	0,070 b	2,248 a	9,01 a	11,846 b
SLL	0,090 a	0,130 a	0,080 a	2,173 a	8,075 b	12,100 b
C.V. (%)	5,90	9,78	9,92	5,02	4,24	5,04

Dados expressos com base em matéria integral.

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Comparando com os minerais dos tofus do presente trabalho, os quais estão apresentados na Tabela 6 e são da ordem de fósforo 94 mg (SC) e 90 mg/100g para ambos os tofus obtidos de SCb e SLL; potássio 118 mg (SC), 72 mg SCb e 130 mg de potássio no tofu de SLL/100g; cálcio 88 mg (SC), 70 mg SCb e 80 mg de cálcio/100g de tofu; cobre 0,20 mg (SC), 0,22 mg para ambos tofus obtidos das SCb e SLL/100g de tofu; zinco 0,72 mg (SC), 0,9 mg SCb e 0,81 mg/100g de tofu e ferro 1,29 mg (SC), 1,18 mg SCb e 1,21 mg Fe/100g de tofu.

Nota-se que, comparando os valores de minerais do tofu de ambos os estudos, a maioria encontra-se próxima, e apenas os teores de cálcio do presente trabalho encontra-se abaixo dos citados em Soyafod.info (2004); provavelmente o agente coagulante para a fabricação do tofu foi a base de cálcio.

Lim et al. (1990) encontraram 0,087% de fósforo em tofu com umidade de 87,63% , neste trabalho valores um pouco mais elevados foram encontrados.

Liener (1978) cita a composição de minerais do tofu com valores superiores ao encontrado neste trabalho, porém, sem especificação dos teores de umidade que podem se estabelecer entre 40% a 83%, conforme o tipo de tofu produzido.

### **3.3 pH do material nas várias etapas de obtenção do tofu**

Os valores médios de pH da água de maceração da soja, extrato de soja, da porção coagulada (coalhada) e do tofu propriamente dito podem ser observados na Tabela 7.

O pH da água de maceração da soja convencional branqueada apresentou valores mais altos, ou seja, 6,62, diferenciando-se ( $p < 0,05$ ) do pH da água de maceração da soja convencional sem o branqueamento que foi de 6,12, o que se pode provavelmente atribuir ao tratamento térmico que contribuiu no rompimento de ligações de água (pontes de hidrogênio), aumentando conseqüentemente os grupos hidroxilas no meio, proporcionando a elevação do pH. A diferença do pH da água da soja livre de lipoxigenase, apresentando valores mais baixos, pode-se relacionar com o pH do grão de soja, que pode ser variável conforme o cultivar, condições de estocagem de temperatura e umidade relativa (Lambrecht et al., 1996).

O pH do extrato de soja (leite de soja) obtido de soja convencional e da soja livre de lipoxigenase de 6,53 e 6,57, respectivamente, está na faixa ideal

para a extração de proteínas da soja para a produção de tofu, que é entre 6,40 e 6,60 (Lambrecht et al., 1996). O pH do extrato de soja obtido da soja convencional branqueada foi mais alto (6,81) do que o ideal, diferenciando-se ( $p < 0,05$ ) dos pHs dos demais extratos, fato esse também atribuído ao aumento dos grupos hidroxilas em função do tratamento térmico do grão anteriormente à maceração.

**TABELA 7.** Valores médios do pH da água de maceração da soja, pH dos extratos de soja, pH de coagulação dos tofus e pH dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCb) e de soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	pH do material nas várias etapas de trabalho			
	H <sub>2</sub> O de maceração	Extrato de soja	Coagulação do Tofu (75-80 °C)	Tofu
SC	6,12 b	6,53 b	5,68 a	5,54 b
SCb	6,62 a	6,81 a	5,49 b	5,35 c
SLL	6,02 c	6,57 b	5,69 a	5,66 a
C.V. (%)	0,97	0,60	1,51	1,23

Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância de (Scott Knott).

O pH da fração coagulada com glucona- $\delta$ -lactona para obtenção do tofu, obtido de soja convencional branqueada, apresentou valor mais baixo ( $p < 0,05$ ), que foi de 5,49, ao passo que o pH obtido da fração coagulada de soja convencional foi de 5,68, seguido pelo pH de coagulação do tofu de soja livre de lipoxigenase de 5,69, que não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ). O pH mais

alto foi provavelmente devido à protonação de grupamentos aminos durante a etapa de coagulação das proteínas do extrato de soja deixando, os ânions carboxilados livres, o que conseqüentemente reduziu o pH de coagulação do tofu branqueado, fato esse interessante de ser observado, já que nas análises sensorias o tofu obtido da referida coalhada apresentou menor aceitação pelos provadores perante os demais tofus em estudo (Ciabotti, 2004).

Os valores de pH dos tofus diferenciaram-se significativamente ( $p < 0,05$ ), em que o pH do tofu obtido de soja livre de lipoxigenases apresentou valor mais alto, que foi da ordem de 5,66, seguido do pH do tofu obtido de soja convencional de 5,54, e o mais baixo pH do tofu foi o obtido de soja convencional branqueada, de 5,35, apresentando maior acidez. Mullin et al. (2001) observaram médias de pH de tofus coagulados com  $\text{CaSO}_4$  de 5,90 e com glucona- $\delta$ -lactona de 5,60, e Kim & Han (2002) mostraram valor de pH da ordem de 5,7 no tofu coagulado com glucona- $\delta$ -lactona, valor semelhante ao pH do tofu obtido com soja livre de lipoxigenase neste trabalho.

Lambrecht et al. (1996), observaram que o pH mais alto durante a obtenção do tofu aumenta a extração das proteínas do produto, mas, requerem ajuste na concentração do coagulante utilizado.

### **3.4 Análises de isoflavonas**

Na Tabela 8 verificam-se os valores médios de isoflavonas da soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e de soja livre de lipoxigenase (SLL). e dos respectivos tofus.

A soja convencional apresentou o total de isoflavonas de 174, 51 mg/100g, a soja convencional branqueada, 145,97 mg/100g, e a soja livre de lipoxigenase, 220,21 mg/100g. Valores médios foram relatados por Carrão-Panizzi et al. (1999) em cultivares da Região Sul do Brasil, entre 86,3 mg/100g e 218,7 mg/100g.

**TABELA 8** Valores médios (mg/100g) das isoflavonas do grão de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e de soja livre de lipoxigenase (SLL) e dos respectivos tofus e porcentagens de perdas de isoflavonas com a produção do tofu.

Isoflavonas	Conteúdo de isoflavonas (mg/100g)						
	SC		SCb		SLL		
	grão	tofu	grão	tofu	grão	tofu	
β-glicosídeos	Daidzina	34,48	15,24	25,02	8,38	38,84	11,55
	Glicitina	11,20	4,43	8,67	2,89	24,33	4,53
	Genistina	30,01	20,71	24,81	15,35	33,36	20,05
	Sub-total	75,69	40,38	58,50	26,62	96,53	36,13
β-glicosídeos	Malonil Daidzina	41,23	23,15	38,81	21,01	51,14	18,28
	Glicitina	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00
	Genistina	42,71	26,51	41,81	28,12	43,17	25,32
	Sub-total	83,94	49,66	80,62	49,13	119,31	43,60
Acetil β-glicosídeos	Daidzina	5,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Glicitina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Genistina	8,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sub-total	13,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agliconas	Daidzeína	0,00	8,70	3,93	12,82	2,43	7,14
	Gliciteína	0,00	1,65	0,00	1,85	0,00	1,03
	Genisteína	1,22	8,29	2,92	9,61	1,94	9,71
	Sub-total	1,22	18,64	6,85	24,28	4,37	17,88
	Total	174,51	108,69	145,97	100,67	220,21	97,61
	% total	100	62	100	69	100	44
	% perdas de isoflavonas na obtenção do tofu		38		31		56

Pode-se observar as perdas ocorridas na composição de isoflavonas dos tofus comparadas com o grão de soja convencional e ao grão de soja convencional branqueado de aproximadamente 38% e 31% respectivamente, fato esse que pode ser explicado pelas perdas durante o processamento de maceração, moagem, tratamento térmico e coagulação do tofu. A soja livre de

lipoxigenase apresentou perdas de 56% no tofu, quando comparados com o grão. Jackson et al. (2002) mostraram perdas nos totais de isoflavonas de 36% no tofu quando comparadas com as quantidades presentes na soja crua, e quando comparadas com o extrato de soja, as perdas foram de 54%, porém, as técnicas de processamento incluíram a maceração e trituração dos grãos da soja com água quente, o que resultou em maiores perdas, fato atribuído provavelmente aos diferentes resultados encontrados neste trabalho.

As formas de malonil conjugada foram especialmente desestabilizadas pelo processamento. Os níveis de isoflavonas agliconas, genisteína e daidzeína aumentaram devido ao processamento. Os teores de malonil daidzina e malonil genistina reduziram-se, devido à clivagem dos grupos ésteres malonil, para as formas daidzina e genistina sob moagem dos grãos, e ao calor a que foi submetido o extrato. Resultados semelhantes foram relatados por Jackson et al. (2002).

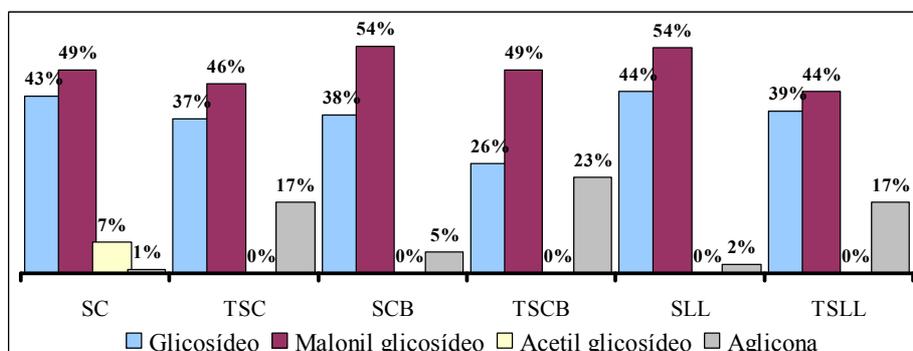
Pode-se observar que ocorreram perdas de aproximadamente 16,3% nas quantidades de isoflavonas totais nos grãos de soja convencional branqueado, comparados com o mesmo grão sem o branqueamento, o que provavelmente se explica pelas perdas no tratamento térmico do grão e na água de maceração. Jackson et al. (2002) encontraram 4% de perdas de isoflavonas totais na água de maceração dos grãos, 31% no resíduo do extrato e 18% no soro extraído do tofu.

Na Figura 2, verifica-se que os tofus obtidos da soja convencional apresentaram os resultados de 37% na forma  $\beta$ -glicosídeo, 46% na forma malonil- $\beta$ -glicosídeos e 17% na forma agliconas, e os tofus obtidos com a soja convencional branqueada 26%, 49%, 23% e os tofus de soja livre de lipoxigenase 44%, 54%, 2% respectivamente.

As formas glicosídica, malonil glicosídica e acetil glicosídica tiveram seus valores decrescidos devido à clivagem desses compostos em agliconas, que conseqüentemente obtiveram seus percentuais aumentados.

A isoflavona acetil glicosídica sofreu a clivagem para sua forma correspondente malonil no processamento térmico do grão e na maceração.

Murphy et al. (2002) encontraram no tofu valores médios de 25% na sua forma de  $\beta$ -glicosídeos e 37% malonil- $\beta$ -glicosídeos e 37% de agliconas. Valores esses diferenciados deste trabalho devido às formas de processamento, que interferem na clivagem das formas glicosídicas em agliconas.



**FIGURAS 2** Percentuais dos subtotais das isoflavonas glicosídicas, malonil glicosídicas, acetil glicosídicas e agliconas.

Wang & Murphy (1996) encontraram melhores resultados de isoflavonas totais em tofus produzidos com o coagulante glucona- $\delta$ -lactona, do que nos extratos de soja. O coagulante glucona- $\delta$ -lactona mostrou ser mais eficiência do que o carbonato de cálcio na retenção desses compostos.

### 3.5 Determinação da atividade de lipoxigenase

Na Tabela 8 observam-se os valores médios da atividade da enzima lipoxigenase I e II+III na soja convencional (SC), soja convencional branqueada

(SCb) e de soja livre de lipoxigenase (SLL).

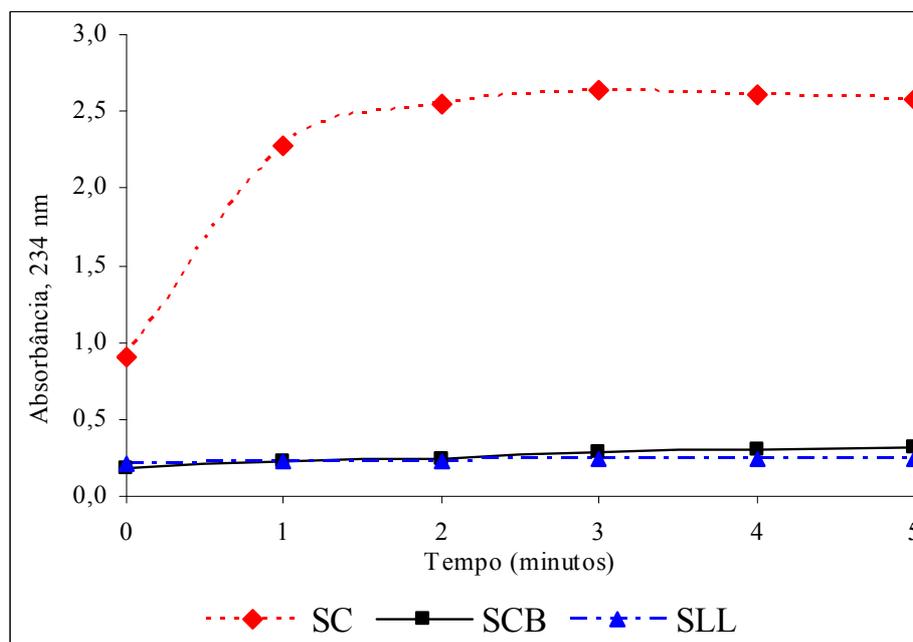
Verificou-se que a Lipoxigenase I apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na soja convencional, com 2925 unidades por grama de farinha de soja por minuto, comparada com a soja convencional branqueada, que apresentou atividade bastante reduzida, que foi da ordem de 330; certamente essa redução foi devida à ação desnaturante do processamento térmico ( $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sobre a enzima a que foram submetidos os grãos de soja. A soja convencional branqueada não diferiu ( $p > 0,05$ ) da soja livre de lipoxigenases, confirmando, como dito acima, a inativação das enzimas pelo calor. Esse comportamento está ilustrado na Figura 3, na qual o gráfico representa a atividade da enzima nos diferentes grãos utilizados neste estudo. Os valores de leitura da soja livre de lipoxigenase provavelmente foram atribuídos a resíduos metabólitos na reação.

**TABELA 9** Valor médio da atividade das enzimas de lipoxigenases expressa em unidades\* (LOX I e LOX II + III) da soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e de soja livre de lipoxigenase (SLL).

Tratamentos	LOX I	LOX II + III
SC	2925 a	288 a
SCb	330 b	197 b
SLL	306 b	185 b
C.V. (%)	47,24	9,00

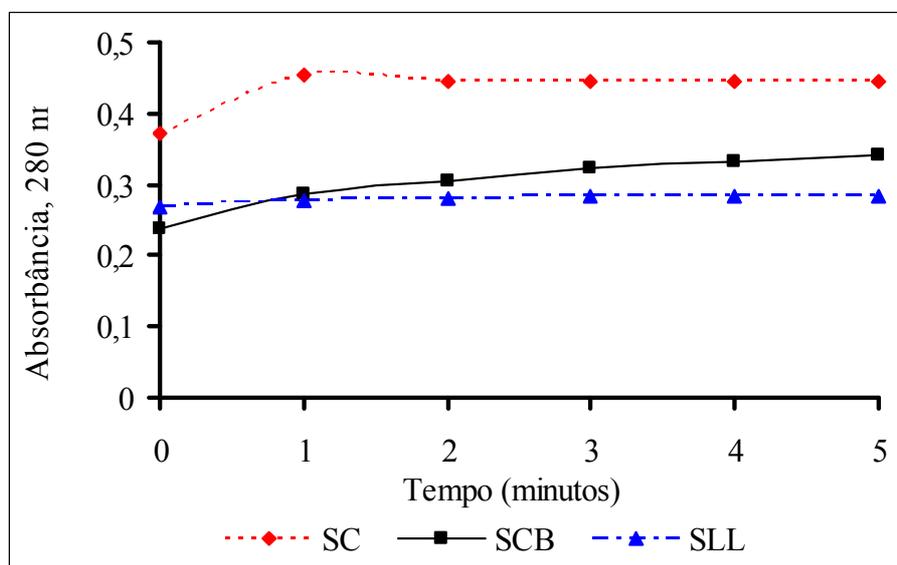
\* Uma unidade de enzima foi tomada como equivalente para gerar um aumento na absorvância de 1,0 por minuto a 234 nm (LOX I) e 280 nm (LOX II+III). Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

A maior atividade da enzima II+III foi observada nos grãos de soja convencional de 288 unidades de enzima por grama de farinha de soja por minuto, seguida da soja convencional branqueada com valor de 197 unidades, que não diferenciou estatisticamente ( $p>0,05$ ) da soja livre de lipoxigenase. Pode-se atribuir essa diferença ao tratamento térmico a que foi submetido o grão (Nelson et al., 1979), sendo suficiente para inativar essas izoenzimas II+III, o que se pode relacionar com os testes sensoriais do extrato de soja obtido da soja convencional branqueada, que não apresentou diferença significativa do extrato obtido da soja livre de lipoxigenase (Ciabotti, 2004). O comportamento da ação das izoenzimas lipoxigenase II + III está ilustrado na Figura 4.



**FIGURA 3** Atividade da Lipoxigenase I (LOX I) nos grãos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e de soja livre de lipoxigenase (SLL) com duração de 5 minutos de ação.

Os resultados da atividade enzimática da soja convencional estão próximos dos valores médios encontrados por Kumar et al. (2003) que, ao analisar a atividade de oito cultivares de quatro localizações, obteve-se na lipoxigenase I de 450 a 2042 unidades por grama de farinha de soja e, para a atividade da lipoxigenase II+III, foi de 118 a 600 unidades por grama de farinha de soja.



**FIGURA 4** Atividade da Lipoxigenase II + III (LOX II e III) dos grãos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e de soja livre de lipoxigenase (SLL) durante 5 minutos de ação.

### 3.6 Análises de inibidores de tripsina dos grãos de soja e dos tofus

Na Tabela 9 apresentam-se os valores médios da atividade do inibidor de tripsina da soja convencional (SC), soja livre de lipoxigenase (SLL) e dos tofus

obtidos com soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL), expressos em unidades de tripsina inibidas (UTI) por mg de amostra seca e desengordurada (UTI/mg).

**TABELA 10.** Valores médios da atividade do inibidor de tripsina dos grãos dos cultivares de soja convencional e soja livre de lipoxigenase e dos tofus obtidos com soja de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenase (SLL), expressa em unidades de tripsina inibidas por mg (UTI/mg) de amostra seca e desengordurada; e porcentagens de eliminação da atividade do inibidor de tripsina pela ação do calor na obtenção do tofu.

Tratamentos	UTI/mg		Eliminação da atividade do inibidor de tripsina pela ação do calor na obtenção do tofu (%)
	Grãos	Tofu	
SC	36,584 b	7,736 a	79
SCb	-	7,088 b	81
SLL	45,258 a	8,074 a	82
C.V. (%)	3,92	5,05	-

1 = extração do inibidor por 1 hora; 2 = extração do inibidor por 3 horas.  
Médias nas colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância (Scott Knott).

Os valores observados dos cultivares de soja crus mostram que a soja convencional diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) da soja livre de lipoxigenase, apresentando-se os valores de 36,58 e 45,258 UTI/mg respectivamente. Resultados aproximados foram encontrados por Miura et al. (2001), isto é, de 43,06 UTI/mg.

Considerando a atividade de inibidor de tripsina inicial das amostras de soja, observa-se que o tratamento térmico dado ao tofu de soja convencional eliminou 79% da atividade do inibidor de tripsina e o calor adicional do branqueamento da soja convencional eliminou 81% e os tofus produzidos com o grão livre de lipoxigenase apresentaram 82% de inibição, portanto, a termolabilidade do inibidor de tripsina, mais uma vez, foi mostrada com importância do calor na eliminação dos antinutrientes da soja (Liener, 1994).

Sabe-se que o calor intenso para destruição do inibidor de proteína não é necessário, pois diminui a taxa de eficiência protéica, conseqüentemente, há perda do valor nutricional e alterações nas propriedades funcionais da soja. A maioria dos produtos comerciais de soja retém de 5 a 20% da atividade inibitória original (Liener, 1994).

## 4 CONCLUSÕES

A composição dos macronutrientes (proteína, lipídeo e extrato não-nitrogenado) foi semelhante em ambos os cultivares de soja estudados: a convencional e a livre de lipoxigenase.

O branqueamento da soja convencional no início do processamento reduziu o teor de alguns minerais (P, Cu, Zn e Fe) do extrato de soja (leite de soja), bem como no conteúdo de minerais do tofu.

Com o processamento da soja, ficaram evidentes as perdas de isoflavonas no tofu, e a soja livre de lipoxigenase apresentou maior instabilidade quanto à retenção desses compostos.

O tratamento térmico (branqueamento) a que foi submetido o grão para elaboração do extrato de soja foi eficaz na redução da atividade da lipoxigenase, quando comparado com a soja livre dessa enzima.

O processamento térmico utilizado para obtenção dos tofus foi suficiente para eliminar a atividade dos inibidores de tripsina em 79% do tofu de soja convencional, 81% do tofu de soja branqueada e 82% do tofu de soja livre de lipoxigenase.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. **Approved methods of the American association of cereal chemists**. 9. ed. Saint Paul, 1976.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analytical of the Association of Official Analytical Chemists**. 15 ed. Washington, 1990. v. 2.

AXEROLD, B.; CHEESEBROUGH, T. M.; LAAKSSO, S. Lipoxygenase from soybeans. **Methods Enzymology**, Oxford, v. 71, p. 441-451, 1981.

AZOUBEL, L. N. O.; GARCIA, R. W. D.; NAVES, M. M. V. Tabela de composição de alimentos. In: DUTRA de OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, 2000. Anexo 1, p. 363-375.

BAYRAM, M.; KAYA, A.; ONER, M. D. Changes in properties of soaking water during production of soy-bulgur. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, n. 2, p. 221-230, Feb. 2004.

BEARD, J. L.; BURTON, J. W.; THEIL, E. C. Purified ferritin and soybean meal can be sources of iron for treating iron deficiency in rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 126, n. 1, p. 154-160, Jan. 1996.

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

BERHOW, M. A.; CANTRELL, C. L.; DUVAL, S. M.; DOBRINS, T. A.; MAYNES, J.; VAUGHN, S. F. Analysis and quantitative determination of group B saponins in processed soybean products. **Phytochemical Analysis**, Sussex, v. 13, n. 6, p. 343-348, Nov./Dec. 2002.

BHARDWAJ, H. L.; BHAGSARI, A. S.; JOSHI, J. M. RANGAPPA, M.; SAPRA, V. T.; RAO, M. S. 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, Mar./Apr. 1999.

BYUN, M. W.; KANG, I. J.; MORI, T. Effect of  $\gamma$ -irradiation on the water soluble components of soybean. **Radiation Physics Chemistry**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 155-160, Jan. 1996.

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 Internacional**, Amsterdam, v. 30, n. 9, p. 659-668, Sept. 1977.

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

CASTRO, A. T. B.; MILLAN, A.; LAGO, R. C. A. **Contribuição ao estudo da soja no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar /Ministério da Agricultura, 1973. 28 p. (Boletim técnico, n. 10)

CIABOTTI, S. Aspectos tecnológicos e sensoriais do extrato de soja e respectivo tofu produzidos com cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase. In: \_\_\_ **Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase**. Lavras, 2004. Cap. 2, p. 36-51. Dissertação (Pós-graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras.

DAVIES, C. S.; NIELSEN, N. C. Genetic analysis of a null-allele for lipoxigenase – 2 in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 460-436, May/June 1986.

EMBRAPA-SOJA. **Cultivares de soja 2002/2003: região centro-sul**. Londrina: Embrapa-soja, 2003. n. 202. Jan.

ESCUETA, E. E.; BOURNE, M. C.; HOOD, L. F. Effect of boiling treatment of soymilk on the composition, yield, texture and sensory properties of tofu. **Canadian Institute of Science and Technology**, Ottawa, v. 19, n. 2, p. 53-56, May 1986.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4. 0. In: REUNIAO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FRANCO, G. **Tabela de composição química**. 9. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2002. 307 p.

FUKUSHIMA, D. Deteriorative changes of proteins during soybean food processing and their use in foods. In: \_\_\_\_\_. **Chemical deterioration of proteins**. Washington: American chemical society, 1980. cap. 10, p. 211-239.

IWUOHA, C. I.; UMUNNAKWE, K. E. Chemical, physical and sensory characteristics of soymilk as affected by processing method, temperature and duration of storage. **Food Chemistry**, Oxford, v. 59, n. 3, p. 373-379, July 1997.

JACKSON, C.; DINI, J. P.; RUPASINGHE, H. P. V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; DEGRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 37, n.10, p. 1117-1123, May 2002.

KAKADE, M. L.; RACKIS, J. J.; MCGHEE, J. E.; PUSKI, G. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 51, n. 3, p. 376-388, May/June 1974.

KIM, M.; HAN, J. Evaluation of physico-chemical characteristics and microstructure of tofu containing high viscosity chitosan. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 277-283, Mar. 2002.

KUMAR, V.; RANI, A.; TINDWANI, C.; JAIN, M. Lipoxygenase isozymes and trypsin inhibitor activities in soybean as influenced by growing location. **Food Chemistry**, Oxford, v. 83, n. 1, p. 79-83, Oct. 2003.

LAMBRECHT, H. S.; NIELSEN, B. J.; LISKA, B. J.; NIELSEN, N. C.; Effect of soybean storage on tofu and soymilk production. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 19, n. 3, p. 189-202, June 1996.

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

LIENER, I. E. Nutritional value of protein products. In: SWITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and Tecnology**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1978. v. 1, p. 470.

LIM, B. T.; DeMAN, M. J.; DeMAN, 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, July/Aug. 1990.

MALAVAOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação de estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

MIURA, E. M. Y.; BINITTI, M. A. R.; CAMARGO, D. S.; MIZUBITO, I. Y.; IDA, E. I. Avaliação biológica de soja com baixas atividades de inibidores de tripsina e ausência do inibidor Kunitz. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Carracas, v. 51, n. 2, p. 195-198, jun. 2001.

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

MURPHY, P. A.; BARUA, K.; HAUCK, C. C. Solvent extraction in the determination of isoflavones in soy foods. **Journal of Chromatography B**, Amsterdam, v. 777, n. 1/2, p. 129-138, Sept. 2002.

NELSON, A. I.; WEI, S. L.; STEINBERG, M. P. Foods from whole soybeans. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 2., 1979, Corbin. **Proceedings...** Corbin, F. T.: Westview Press, Boulder, 1979. p. 745-61.

PEREIRA, D. B. C.; SILVA, P. H. F.; COSTA JUNIOR, L. C. G.; OLIVEIRA, L. L. **Físico-químico do leite e derivados: métodos analíticos**. 2. ed. Juiz de Fora: Ed. Templo. 2001. 234 p.

RACKIS, J. J.; SESSA, D. J.; HONIG, D. H. Flavor problems of vegetable food proteins. **Journal of the American Oil Chemistry Society**, San Diego, v. 56, n. 6, p. 262-271, 1979.

ROCKLAND, L. B.; RADKÉ, T. M. Legume protein quality. **Food Technology**, Chicago, v. 35, n. 3, p. 79-82, Mar. 1981.

ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; CABRAL, L. M. C.; CABRAL, L. C.; FARIAS, C. A. A.; DOMINGUES, A. M. Effect of enzymatic treatment and filtration on sensory characteristics and physical stability of soymilk. **Food Control**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 187-192, Apr. 2002.

SARRUGE, J. R. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, H. C.; BRAGA, G. L. Effect of soaking and cooking on the oligosaccharide content of dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 47, n. 4, p. 924-925, July/Aug. 1982.

SMITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and technology**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1978. v. 1, p. 470.

SOYAFOOD. INFO. **Nutritional values of soybeans, soymilk, tofu et tempeh**. Disponível em "<http://www.soya.be/nutritional-values-of-soybeans.php>". Acesso em: fev. 2004.

VAN DE KAMER, J.H.; VAN GINKEL, L. Rapid determination of crude fiber in cereals. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 29, n. 4, p. 239-251, July. 1952.

VAN DER RIET, W. B.; WIGHT, A. W.; CILLIERS, J. J. L.; DATEL, J. M. Food chemical investigation of tofu and its byproduct okara. **Food Chemistry**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 193-202, 1989.

WANG, H. L. Tofu e tempeh as potential protein sources in the western diet. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 61, n. 3, p. 528-534, 1984.

WANG, H. J.; MURPHY, P. A. Mass balance study of isoflavonas during soybean processing. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 44, n. 2, p. 2377-2388, Aug. 1996.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; HESSELTINE, C. W.; HEAT, H. D. Hydration of whole soybean affects solids losses and cooking quality. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 1510-1513, Sept./Oct. 1979.

## ANEXOS

<b>ANEXO A</b>		<b>Página</b>
<b>ANEXO 1A</b>	Ficha para o teste triangular do tofu e extrato de soja” .....	109
<b>ANEXO 2A</b>	Ficha para o teste de qualidade de sabor e textura, aparência e cor do tofu – “Escala hedônica estruturada” ....	110
<b>ANEXO 3A</b>	Ficha para o teste de qualidade de sabor, aparência e cor do extrato de soja – “Escala hedônica estruturada” .....	111

## ANEXO 1A

**“Teste triangular do tofu e extrato de soja”.**

### **Teste triangular**

**Produto: Tofu**

Nome \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Em cada grupo, duas amostras são iguais e uma é diferente. Por favor, prove da esquerda para a direita e faça um círculo ao redor da amostra diferente. Lave a boca antes e entre uma amostra e outra. Obrigada.

Grupo	Número de amostras		
1	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_

---

### **Teste triangular**

**Produto: Extrato de soja**

Nome \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Em cada grupo, duas amostras são iguais e uma é diferente. Por favor, prove da esquerda para a direita e faça um círculo ao redor da amostra diferente. Lave a boca antes e entre uma amostra e outra. Obrigada.

Grupo	Número de amostras		
1	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_

---

## ANEXO 2A

### “Teste de qualidade de sabor e textura, aparência e cor do tofu - Escala hedônica”

#### Sabor e textura

**Produto: Tofu**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/12/2003

Você está recebendo três amostras de tofu. Por favor, prove da esquerda para a direita e avalie sua qualidade (sabor e textura) de acordo com a escala abaixo. Lave a boca antes e entre uma amostra e outra.

- 1 – Péssima
- 2 – Muito ruim
- 3 – Moderadamente ruim
- 4 – Ligeiramente ruim
- 5 – Indiferente
- 6 – Ligeiramente boa
- 7 – Moderadamente boa
- 8 – Muito boa
- 9 – Ótima

Amostras: \_\_\_\_\_  
Sabor: \_\_\_\_\_  
Textura: \_\_\_\_\_  
Comentários: \_\_\_\_\_

#### Aparência e cor

**Produto: Tofu**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/12/2003

Você está recebendo três amostras de tofu. Por favor, começando pela esquerda, avalie sua qualidade (aparência , cor) de acordo com a escala anexa.

Amostras: \_\_\_\_\_  
Aparência: \_\_\_\_\_  
Cor: \_\_\_\_\_

Comentários: \_\_\_\_\_

## ANEXO 3A

**“Teste de qualidade de sabor, aparência e cor do extrato de soja – Escala hedônica”.**

### Sabor

**Produto: Extrato de soja**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/12/2003

Você esta recebendo três amostras de tofu. Por favor, prove da esquerda para a direita e avalie sua qualidade (sabor e textura) de acordo com a escala abaixo. Lave a boca antes e entre uma amostra e outra.

- 1 – Péssima
- 2 – Muito ruim
- 3 – Moderadamente ruim
- 4 – Ligeiramente ruim
- 5 – Indiferente
- 6 – Ligeiramente boa
- 7 – Moderadamente boa
- 8 – Muito boa
- 9 – Ótima

Amostras: \_\_\_\_\_

Sabor: \_\_\_\_\_

Comentários: \_\_\_\_\_

### Aparência e cor

**Produto: Extrato de soja**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/12/2003

Você esta recebendo três amostras de tofu. Por favor, começando pela esquerda, avalie sua qualidade (aparência , cor) de acordo com a escala anexa.

Amostras: \_\_\_\_\_

Aparência: \_\_\_\_\_

Cor: \_\_\_\_\_

Comentários: \_\_\_\_\_

**ANEXO B****Página**

<b>TABELA 1B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para sólidos totais da água de maceração, extrato de soja e soro do tofu.....	115
<b>TABELA 2B</b>	Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) para sólidos solúveis da água de maceração da soja e do soro do tofu.....	115
<b>TABELA 3B</b>	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) para o rendimento do tofu.....	116
<b>TABELA 4B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de unidades “CIELAB”.....	116
<b>TABELA 5B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para sabor, aparência e cor referentes aos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).....	117
<b>TABELA 6B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para sabor, textura, aparência e cor referentes aos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).....	117
<b>TABELA 7B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas, fibra e extrato não-nitrogenado (ENN) da soja crua.....	118

<b>TABELA 8B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas e extrato não-nitrogenado (ENN) dos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).....	118
<b>TABELA 9B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas e extrato não-nitrogenado (ENN) do tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).....	119
<b>TABELA 10B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro de soja convencional (SC) e soja livre de lipoxigenases (SLL) .....	119
<b>TABELA 11B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro dos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada e soja livre de lipoxigenases (SLL) .....	120
<b>TABELA 12B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada e soja livre de lipoxigenases (SLL) .....	120
<b>TABELA 13B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados pH da água de maceração da soja, pH do extrato de soja, pH de coagulação e pH dos tofus .....	121
<b>TABELA 14B</b>	Resumo das análises de variâncias (quadrado médio e significância) para os dados da atividade máxima de lipoxigenases I (LOX I) e lipoxigenases II + III (LOX II + III) .....	121

<b>TABELA 15B</b>	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) para os dados de inibidor de tripsina da soja convencional (SC) e da soja livre de lipoxigenases (SLL) .....	122
<b>TABELA 16B</b>	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) para os dados de inibidor de tripsina dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e livre de lipoxigenases (SLL).....	122

## ANEXO B

**TABELA 1B** Resumo das análises de variâncias para sólidos totais da água de maceração, extrato de soja e soro do tofu.

Causa de variação	GL	Quadrado médio		
		H <sub>2</sub> O maceração	Extrato de soja	Soro
Tratamento	2	9,652 *	3,362 *	0,681 *
Resíduo	12	0,045	0,244	0,004
CV(%)		15,29	8,70	3,94
Média geral (%)		1,389	5,67	1,68

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 2B** Resumo das análises de variância para sólidos solúveis da água de maceração da soja e do soro do tofu.

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		Sólidos solúveis H <sub>2</sub> O maceração	Sólidos solúveis soro tofu
Tratamento	2	8,267 *	1,0587 *
Resíduo	12	0,024	0,0074
CV (%)		10,88	4,85
Média geral (° brix)		1,413	1,771

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 3B** Resumo da análise de variância para o rendimento do tofu.

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		Rendimento do tofu	
Tratamento	2	10145,23*	
Resíduo	12	299,18	
CV (%)		6,77	
Média geral (g)		255,630	

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 4B** Resumo das análises de variâncias para os dados de unidades “CIELAB”.

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		L	b
Tratamento	2	0,264 <sup>NS</sup>	4,614 *
Resíduo	12	0,982	0,019
CV (%)		1,17	1,16
Média geral		84,883	11,979

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 5B** Resumo das análises de variâncias para sabor, aparência e cor referentes aos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio		
		Sabor	Aparência	Cor
Bloco	10	2,204545 *	1,188 *	1,306 *
Tratamento	2	4,939394 *	0,121 <sup>NS</sup>	0,0530 <sup>NS</sup>
Resíduo	20	0,472727	0,488	0,469
CV (%)		9,97	9,45	9,46
Média geral		6,89	7,39	7,242

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 6B** Resumo das análises de variâncias para sabor, textura, aparência e cor referentes aos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio			
		Sabor	Textura	Aparência	Cor
Bloco	10	12,109 *	19,077 *	8,985 *	0,146 <sup>NS</sup>
Tratamento	2	0,9128	1,046 <sup>NS</sup>	1,101 *	0,484 <sup>NS</sup>
Resíduo	20	0,691	0,893	0,381	0,214
CV (%)		12,19	13,80	8,59	6,26
Média geral		6,815	6,847	7,181	7,383

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 7B** Resumo das análises de variâncias para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas, fibra e extrato não nitrogenado (ENN) da soja crua.

Causa de Variação	GL	Quadrado médio					
		Umidade	Proteína	EE	Cinzas	Fibra	ENN
Cultivares	1	0,195*	16,965 <sup>NS</sup>	0,383 <sup>NS</sup>	0,080 <sup>NS</sup>	0,442 <sup>NS</sup>	30,92 <sup>NS</sup>
Resíduo	6	0,012	0,178	0,123	0,097	0,136	0,530
CV (%)		1,14	1,22	2,26	8,32	5,03	2,49
Média geral		9,438	33,03	15,524	3,743	7,325	31,14

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

EE = extrato etéreo (lipídeos)

ENN = extrato não-nitrogenado

**TABELA 8B** Resumo das análises de variâncias para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas e extrato não nitrogenado (ENN) dos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio				
		Umidade	Proteína	EE	Cinzas	ENN
Tratamento	2	3,437*	0,257*	0,078*	0,042*	1,045*
Resíduo	12	0,068	0,041	0,001	0,001	0,051
CV (%)		0,28	6,15	1,62	10,27	39,18
Média geral		94,22	3,31	1,607	0,280	0,577

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

EE = extrato etéreo (lipídeos)

ENN = extrato não-nitrogenado

**TABELA 9B** Resumo das análises de variâncias para os dados de umidade, proteína, lipídeo, cinzas e extrato não-nitrogenado (ENN) dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio				
		Umidade	Proteína	E.E.	Cinzas	ENN
Tratamento	2	1,466 <sup>NS</sup>	0,519 *	1,312 *	0,0174 *	0,274 <sup>NS</sup>
Resíduo	12	0,369	0,04166	0,07887	0,00416	0,231
CV (%)		0,73	2,14	5,07	8,08	39,20
Média geral (%)		82,911	9,525	5,5387	0,7980	1,227

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 10B** Resumo das análises de variâncias para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro de soja convencional (SC) e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de Variação	GL	Quadrado médio					
		P (%)	K (%)	Ca (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
Cultivar	1	0,0002 <sup>NS</sup>	0,0880 *	0,0005 *	15,313 *	0,523 <sup>NS</sup>	97,80*
Resíduo	6	0,0004	0,0005	0,0001	0,352	1,210	3,551
CV (%)		2,93	1,24	5,17	5,38	2,48	2,51
Média geral		0,660	1,784	0,163	11,03	44,376	75,214

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 11B** Resumo das análises de variâncias para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro dos extratos de soja obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio				
		P (%)	K (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
Tratamento	2	0,001 *	0,006*	0,450*	3,505*	39,506*
Resíduo	11	0,0001	0,0001	0,003	0,006	0,914
CV(%)		16,45	7,76	3,44	1,95	8,63
Média geral		0,075	0,120	1,513	3,90	11,082

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 12B** Resumo das análises de variâncias para os dados de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e ferro dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada e soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio					
		P (%)	K (%)	Ca (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
Tratamento	2	0,00002 <sup>NS</sup>	0,004*	0,0004*	0,051 <sup>NS</sup>	3,70*	1,71*
Resíduo	11	0,00003	0,0001	0,0001	0,011	0,12	0,386
CV (%)		5,90	9,78	9,92	5,02	4,24	5,04
Média geral		0,0914	0,105	0,079	2,155	8,13	12,32

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 13B** Resumo das análises de variâncias para os dados pH da água de maceração da soja, pH do extrato de soja, pH de coagulação e pH dos tofus.

Causa de variação	GL	Quadrado médio			
		pH H <sub>2</sub> O	pH extrato	pH coagulação	pH tofu
Tratamento	2	0,53 *	0,113 *	0,056 *	0,12 *
Resíduo	12	0,004	0,002	0,007	0,005
CV(%)		0,97	0,60	1,51	1,23
Média geral		6,25	6,63	5,62	5,512

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 14B** Resumo das análises de variâncias para os dados da atividade máxima de lipoxigenases I (LOX I) e lipoxigenases II + III (LOX II + III)

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		LOX I	LOX II-III
Tratamentos	2	10931670,896*	15208,719*
Resíduo	12	348275,466	415,171
CV (%)		47,24	9,00
Média geral		1249,243	226,383

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 15B** Resumo da análise de variância para os dados de inibidor de tripsina da soja convencional (SC) e da soja livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de Variação	GL	Quadrado médio
		Inibidor de tripsina
Cultivar	1	188,096 *
Resíduo	8	2,577
CV (%)		3,92
Média geral (UTI/mg)		40,921

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 16B** Resumo da análise de variância para os dados de inibidor de tripsina dos tofus obtidos de soja convencional (SC), soja convencional branqueada (SCB) e livre de lipoxigenases (SLL).

Causa de variação	GL	Quadrado médio
		Inibidor de tripsina
Tratamento	2	1,255 *
Resíduo	12	0,148
CV (%)		5,05
Média geral (UTI/mg)		7,633

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.