

Propriedades tecnológicas e sensoriais de produto similar ao tofu obtido pela adição de soro de leite ao extrato de soja

Sensorial and technologic properties of product similar to tofu obtained with whey and soymilk addiction

Sueli CIABOTTI^{1*}, Maria de Fátima Pícolo BARCELOS²,
Marcelo Angelo CIRILLO³, Ana Carla Marques PINHEIRO¹

Resumo

Objetivou-se neste trabalho verificar a viabilidade da substituição de parte do extrato de soja por soro de leite na obtenção de um produto similar ao tofu, coagulado com adição de ácido láctico e glucona- δ -lactona, quanto aos aspectos tecnológicos e sensoriais. Foram obtidos produtos, elaborados a partir de extratos de soja, adicionados de soro proveniente da elaboração do queijo Mussarela. Foram utilizadas três diferentes combinações da mistura extrato de soja (ES) e soro de leite (SL) 40: 60; 30: 70; 20: 80, as quais sofreram ações dos coagulantes glucona- δ -lactona (GDL) e ácido láctico (AL) isoladamente. Observou-se que o teor de umidade dos produtos elaborados com glucona- δ -lactona foi mais elevado ($p < 0,05$) e com maior rendimento, enquanto o conteúdo proteico foi maior nos produtos obtidos com ácido láctico. A coagulação com ácido láctico gerou produtos com maior firmeza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade. Na avaliação da cor, os valores da luminosidade "L" na proporção 20: 80 foram mais elevados e o amarelo "b" predominou no produto com maior proporção de extrato de soja. O produto de maior aceitação foi o de proporção ES: SL 40: 60 obtido com GDL. A utilização do GDL apresentou também melhores resultados de rendimento, perfil de textura e aceitabilidade.

Palavras-chave: proteína; rendimento; perfil de textura; microscopia, soro de leite.

Abstract

This work aimed to verify the sensorial, technological viability of replacing part of soy milk extract with whey to obtain a product similar to tofu curdled by lactic acid and glucone- δ -lactone. Some products were obtained using soy milk extract and whey from the production of mozzarella cheese. Three different combinations of a mixture of soy milk extract and whey were used (40: 60; 30: 70; 20: 80), all of which were curdled with glucone- δ -lactone and lactic acid separately. Products prepared with glucone- δ -lactone presented a higher moisture content ($p < 0.05$) and an increased crop yield. The products made with lactic acid were richer in protein. Curdling with lactic acid resulted in more firmness, cohesiveness, gumminess, and chewiness to the products. Analyzing the color, the "L" values (luminosity) of 20: 80 ratio were higher, and the yellow "b" predominated in the products with a higher proportion of soy milk. The product with better acceptance was the one with 40: 60 ratio (soy milk and whey respectively) obtained with the addition of glucone- δ -lactone. The use of glucone- δ -lactone resulted in a better yield, texture characteristics, and acceptability.

Keywords: protein; yield; texture characteristics; microscopy; whey.

1 Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] devido ao seu alto teor de proteína e sua versatilidade na indústria de alimentos, tem sido alvo de muitas pesquisas quanto aos seus aspectos tecnológicos e no desenvolvimento de novos produtos.

A soja quando adequadamente processada constitui-se em uma excelente fonte proteica, apesar da pouca aceitabilidade dos seus derivados. Porém por ser um alimento de origem vegetal tem suas limitações quanto aos aminoácidos sulfurados, o que tem estimulado a combinação com fontes alimentares de origem animal, visando aumentar a disponibilidade e a capacidade nutricional destes alimentos, melhorando também os aspectos sensoriais.

Dos produtos derivados da soja, o tofu é um dos mais conhecidos e, na Ásia, em torno de 90% das proteínas da soja são consumidas

na forma deste alimento (KIM et al., 2007). O tofu é produto obtido do extrato de soja com adição de sais ou ácidos para precipitação das proteínas, produzindo gel resultante da formação de uma rede proteica, com textura lisa, macia e elástica (WANG, 1984). Um dos coagulantes ácidos que é bastante utilizado na coagulação das proteínas da soja é o glucona- δ -lactona, para obtenção do tofu *soft*, caracterizado por possuir 87-90% de água, apresentando-se macio e de textura frágil devido à alta concentração de umidade.

A coagulação do extrato de soja 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

Recebido para publicação em 24/9/2007

Aceito para publicação em 24/7/2008 (002882)

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos – DCA, Universidade Federal de Lavras – UFLA, CP 37, CEP 37200-000, Lavras – MG, Brasil, E-mail: sciabotti@terra.com.br

² Laboratório de Bioquímica Nutricional, Departamento de Ciência dos Alimentos – DCA, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras – MG, Brasil

³ Departamento de Ciências Exatas – DEX, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras – MG, Brasil

*A quem a correspondência deve ser enviada

de coagulante e sua concentração, método de mexedura, tempo e temperatura de coagulação (CAI; CHANG, 1998).

Vários trabalhos têm sido conduzidos para avaliar a associação de extrato de soja e soro de leite, como uma alternativa de enriquecimento das proteínas da soja deficiente em aminoácidos sulfurados metionina e cisteína, uma vez que o soro de leite os possui em altas concentrações. Essa alternativa possibilita também o aproveitamento do resíduo das indústrias de laticínios, pois o descarte do soro em um curso d'água provoca um enorme efeito poluidor, devido ao consumo de oxigênio da água.

Uma das formas de aproveitamento das proteínas do soro de leite pela indústria de Laticínios é a obtenção de ricota, que é o produto resultante da precipitação das proteínas do soro pelo calor e acidificação (FURTADO; LOURENÇO NETO, 1994). O ácido láctico é o mais frequente acidulante utilizado em derivados lácteos, por ser um produto que ocorre neles naturalmente. Tem a função de acidificação e a sua escolha como acidulante se deve ao sabor residual ser mais suave do que outros ácidos (BERRY, 2007).

Pelo fato dos princípios da obtenção de tofu e ricota se assemelharem na forma de coagulação das suas proteínas, este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade da substituição de parte do extrato de soja por soro de leite na obtenção de um produto similar ao tofu coagulado com adição de ácido láctico e glucona- δ -lactona.

2 Material e métodos

Foram utilizados grãos de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill], cultivar BRS "Garantia", safra 2005/2006, proveniente da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, Uberaba, MG, para obtenção do extrato de soja.

O soro de leite proveniente da fabricação do queijo mussarela foi cedido pela Cooperativa Vale do Rio Grande – Lavras, MG.

A obtenção dos produtos e as análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos e a microscopia eletrônica de varredura no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, MG.

2.1 Processamento do produto similar ao tofu com adição de soro de leite

As etapas para obtenção do produto similar ao tofu com adição de soro de leite (SL) proveniente de queijo mussarela consistiram, numa primeira etapa, na obtenção do extrato de soja (ES).

Obtenção do extrato de soja (leite de soja)

O método usual de preparo do extrato de soja (ES) se estabeleceu na metodologia adaptada de ESCUETA; BORNE; HOOD (1986).

Os grãos foram pesados para obtenção do produto final (extrato de soja) na proporção soja: água 1: 7, ou seja, 100 g de soja para 0,7 L de água. Após a pesagem, os grãos foram lavados e colocados em 500 mL de água em 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 descartada. Após drenagem da água, os grãos de soja macerados foram triturados por 3 minutos, com adição de água na proporção

soja: água = 1: 7, filtrados (o resíduo foi prensado e depois descartado); em seguida, o extrato foi submetido a aquecimento (98 °C/5 minutos) e correção do volume final para 0,7 L.

Obtenção do produto similar ao tofu com adição de soro de leite (SL)

Para a obtenção do produto, o extrato de soja (ES) e o soro de leite (SL) proveniente de queijo mussarela (8 °D) foram misturados nas seguintes proporções: 4: 6; 3: 7; 2: 8 respectivamente. O extrato de soja (ES) e o soro de leite (SL) nas proporções em estudo foram aquecidos até que atingissem a temperatura de 80 a 85 °C e a seguir coagulados a partir da adição de glucona- δ -lactona (GDL) e ácido láctico (AL) isoladamente. Foram adicionados, para cada litro do material, os coagulantes: 2,5 g de glucona- δ -lactona – GDL (Sigma Chemical, Louis, USA), diluído em 20 mL de água destilada; e ácido láctico (1 mL.L⁻¹ da mistura ES: SL, diluído em 10 mL de água). Após 10-15 minutos da adição do coagulante, foi adicionado 0,6 % (do volume da massa) de sal iodado e homogeneizado lentamente. O precipitado resultante foi colocado em formas de polietileno providas de dessoradores e prensado ainda quente com um peso de 14 g/cm², por 15 minutos. A Figura 1 apresenta o fluxograma de fabricação do produto similar ao tofu com adição de soro de leite (SL) ao extrato de soja (ES). Os produtos

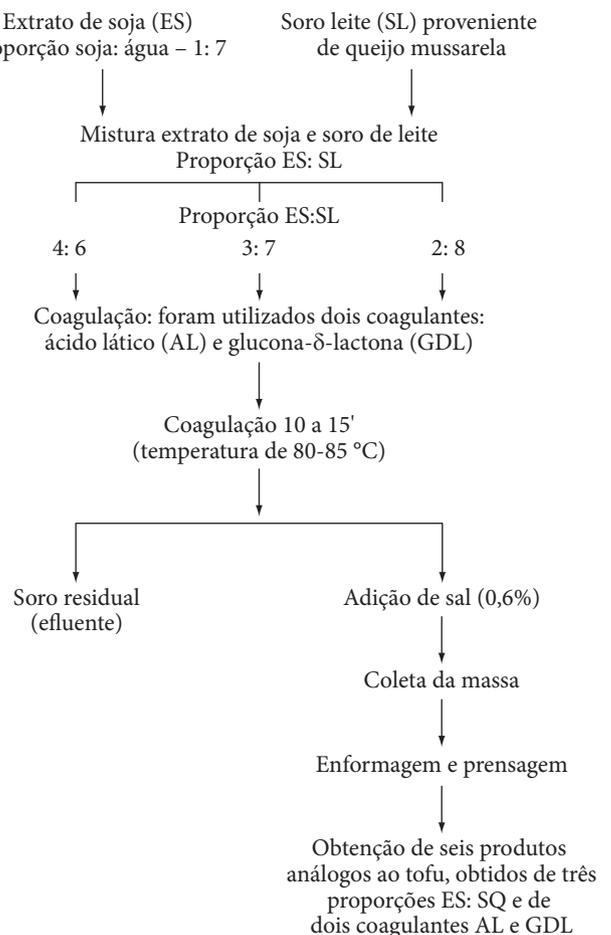


Figura 1. Fluxograma dos principais passos para obtenção do produto novo à base de extrato de soja (ES) e soro de leite (SL).

foram resfriados (5 °C por 12 horas) e pesados para análise de rendimento. Amostras foram separadas para as análises físicas, químicas, físico-químicas e sensoriais.

2.2 Análise da umidade, da proteína e do pH

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico com emprego de calor, em que se determinou a perda de peso do material quando submetido ao aquecimento (105 °C) até obtenção de peso constante, segundo AOAC (1990). A fração proteica foi obtida pela determinação da porcentagem de nitrogênio total da amostra segundo o método de Kjeldahl descrito pela AOAC (1990) e multiplicado pelo fator médio entre 6,25 e 6,38, proporcionalmente às quantidades utilizadas de extrato de soja e soro de leite. O pH foi determinado utilizando-se um potenciômetro digital com inserção do eletrodo em uma solução obtida com a homogeneização do produto com água destilada (PEREIRA et al., 2001).

2.3 Cálculo de rendimento de obtenção do produto

O rendimento foi calculado pelo peso do produto fresco (g) obtido com 3,5 L da combinação de extrato de soja e soro de leite (FURTADO, 1999).

2.4 Determinação da propriedade de textura dos produtos

Os pedaços dos produtos similares ao tofu foram cortados em cubos de 10 mm. Para o teste de análise do perfil de textura (TPA), utilizou-se o Texturômetro *Stable Micro System* modelo TAXT2i com uma probe cilíndrica de alumínio com 20 mm de diâmetro, com extremidade plana.

Foi analisada a firmeza do primeiro ciclo de compressão, sendo expresso em newtons (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; distância de compressão = 7,5 mm; velocidade do teste = 1,0 mm/s.

As características mecânicas primárias de firmeza e coesividade do produto foram calculadas pelas duas sucessivas compressões do ciclo da TPA. E como características secundárias foram calculadas a gomosidade (firmeza × coesividade) e a mastigabilidade (firmeza × coesividade × elasticidade).

2.5 Análise estrutural em microscopia eletrônica de varredura

A preparação das amostras foi realizada no laboratório de Microscopia e Análise Ultraestrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG.

As amostras dos produtos similares ao tofu foram fixadas em solução Karnovsky e, posteriormente, foram transferidas para glicerol 30%, por 30 minutos. As amostras sofreram criofatura em nitrogênio líquido, em seguida foram transferidas para recipiente contendo água destilada e finalmente preparadas segundo protocolo descrito por ALVES (2005).

As amostras devidamente preparadas e identificadas foram examinadas ao microscópio de varredura LEO EVO 40XVP.

As imagens foram geradas e registradas digitalmente, com fotomicrografias, com condição de trabalho de 20 Kv e distância variando de 16 a 18 mm. As imagens geradas foram gravadas e abertas no *Software Photopaint*, do pacote *Corel Draw 11*.

2.6 Determinação da cor

A cor do produto 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); e

b = variando da cor azul ao amarelo (-60,0 a +60,0, respectivamente).

2.7 Avaliação sensorial dos produtos

As amostras dos produtos similares ao tofu obtidos dos seis tratamentos foram avaliadas sensorialmente pelo teste de aceitação (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991), por 60 provadores. O teste baseou-se em apresentar ao provador simultaneamente seis amostras, avaliando-as em cabines individuais, iluminadas com luz branca. As amostras foram cortadas em cubos uniformes de 1,5 cm, oferecidas em recipientes descartáveis de cor branca dotados de suportes codificados com três dígitos numéricos e avaliadas à temperatura de 23 °C.

Foi utilizada a escala hedônica estruturada mista de 9 pontos entre 1 (desgostei muitíssimo) e 9 (gostei muitíssimo) para avaliar aparência, sabor, textura e impressão global dos produtos similares ao tofu (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991).

2.8 Análise estatística

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

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições, em experimento fatorial 3 × 2, sendo 3 diferentes proporções de ES e SL e 2 tipos de coagulantes. Para identificar as diferenças significativas, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. As análises de variâncias e o teste de médias foram realizados segundo técnicas usuais do *software* SISVAR (FERREIRA, 2000).

Na análise sensorial foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC). Para a análise dos resultados do teste de aceitação, utilizou-se o mapa de preferência segundo metodologia de ARDITI (1997) e o *software* R (2007) com o pacote *Sensormine*.

3 Resultados e discussão

3.1 Umidade, proteína, rendimento e pH

A Tabela 1 apresenta os valores médios de umidade, proteína, rendimento e pH dos produtos similares ao tofu.

Tabela 1. Valores médios de umidade (%), proteína (%), rendimento (g/3,5 L da mistura ES: SL) e pH dos produtos à base de extrato de soja (ES) e soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido láctico (AL) e glucona- δ -lactona (GDL).

| Produto (proporções ES: SL) | Umidade (%) ¹ | | Proteína (%) ¹ | | Rendimento (g/3,5 L) ¹ | | pH | |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² |
| 40: 60 | 79,67 ^{aB} | 82,79 ^{aA} | 10,79 ^{aA} | 8,71 ^{aB} | 570,74 ^{aB} | 692,08 ^{aA} | 5,64 ^{bA} | 5,41 ^{aB} |
| 30: 70 | 79,75 ^{aB} | 82,31 ^{bA} | 10,00 ^{bA} | 8,40 ^{bB} | 478,95 ^{bB} | 606,16 ^{bA} | 5,64 ^{bA} | 5,36 ^{bB} |
| 20: 80 | 78,89 ^{aB} | 82,05 ^{bA} | 9,19 ^{cA} | 8,08 ^{cB} | 392,44 ^{cB} | 477,95 ^{cA} | 5,66 ^{aA} | 5,34 ^{cB} |
| CV (%) | 0,25 | | 1,05 | | 2,42 | | 0,15 | |

¹Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; e ²Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem pelo Teste de t (Student) a 5% de probabilidade.

A umidade dos produtos não diferiu ($p > 0,05$) nas diferentes combinações, quando se utilizou o coagulante (AL). O produto resultante da combinação entre ES e SL na proporção ES: SL 40: 60 coagulado com GDL apresentou valor médio de umidade 82,79%, maior do que as proporções 30: 70 (82,31%) e 20: 80 (82,05), demonstrando que o teor de umidade mais elevado foi determinado na proporção com maior quantidade de ES. Observa-se que os resultados apresentados na comparação entre os coagulantes, indicam que o GDL foi o que mostrou maior retenção de umidade, independente da proporção utilizada do soro de leite e extrato de soja.

A variação da umidade do produto similar ao tofu preparado com diferentes coagulantes ocorreu provavelmente devido às diferenças das ligações químicas para formação do gel, que é influenciada por diferentes ânions e suas frações iônicas em direção à capacidade de segurar a água no gel de proteína. Tem sido relatado que a concentração de coagulante e o tipo de ânions podem afetar a consistência do tofu (SUN; BREENE, 1991; TAY; TAN; PERERA, 2005).

Prabhakaran; Perera e Valiyaveetil (2006) avaliaram diferentes coagulantes na obtenção do tofu, e os resultados foram bem diferenciados quanto aos teores de umidade, porém não foram avaliados GDL e AL. Nesse estudo os autores relataram que a coagulação com ácido acético e cloreto de cálcio proporcionou menor teor de umidade.

No presente estudo, os resultados obtidos podem ser devidos ao fato do AL ter proporcionado um aumento da sinérese da coalhada. Sun e Breene (1991) atribuíram o aumento da sinérese em tofu coagulado com sulfato de cálcio à ocorrência de mais ligações químicas com as proteínas, tornando a matriz proteica mais densa e compacta, consequentemente levando à diminuição da umidade e do rendimento.

Os resultados obtidos quanto ao rendimento apresentaram diferenças significativas quando da comparação dos fatores proporções e coagulantes. Observa-se que, quando se diminui a concentração do extrato de soja (ES), diminui-se o rendimento do produto, tanto com o uso de AL, como com o de GDL; fato este que pode ser explicado pela quantidade de proteína presente no extrato de soja. Entretanto, o rendimento com o uso de GDL foi maior do que com o uso de AL em todas as diferentes combinações, o que pode estar relacionado com a umidade do produto. O GDL tem maior capacidade de retenção de umidade devido à grande quantidade de hidroxilas presentes na sua molécula, que vão propiciar mais ligações de hidrogênio com a água, proporcionando assim maior rendimento nos produtos.

Pode-se observar ainda, que todos os tratamentos comportaram-se diferentemente com relação ao rendimento. O produto coagulado com GDL na proporção 40: 60 (ES: SL), proporcionou o maior rendimento, na ordem de 692,08 g, e a proporção 20: 80 com AL apresentou o menor rendimento, 392,44 g.

A combinação na proporção ES: SL 20: 80, ou seja, com maior porcentagem de SL, apresentou valor de pH mais alto, 5,66 ($p < 0,05$), do que as outras combinações 40: 60 e 30: 80, ambas com pH 5,64, obtidas com AL. Nos produtos obtidos com glucona- δ -lactona (GDL), o aumento da concentração do SL levou à diminuição do pH.

Comparando ainda o uso de AL e GDL, observa-se também que os produtos coagulados com GDL nas três combinações empregadas de ES e SL diferiram ($p < 0,05$) dos obtidos com ácido láctico (AL), com valores de pH mais baixo. Possivelmente isto ocorreu devido ao valor mais baixo de pKa (3,6) em relação ao pKa do ácido láctico (3,9), além do efeito indutivo pela presença do maior número de grupos hidroxila, que irão empurrar elétrons para o grupamento carboxílico, dissociando o hidrogênio com maior facilidade.

3.2 Análise do perfil de textura (TPA)

A adição de soro de leite (SL) ao extrato de soja (ES) na obtenção dos produtos similares ao tofu obtidos por coagulação com AL e GDL causou alterações significativas ($p < 0,05$) nas características de textura instrumental de firmeza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade (Tabela 2).

O comportamento dos três produtos coagulados com AL foi semelhante em suas características de firmeza, gomosidade e mastigabilidade, e a combinação ES: SL 30: 70 apresentou valores maiores de força requerida de compressão. A combinação ES e SL na proporção 40: 60 conferiu valores mais baixos, com predominância da porção de proteína de soja mais elevada, justificando-se também pelo elevado teor de umidade neste produto ter sido maior do que nas outras proporções.

A diferença significativa ($p < 0,05$) entre as combinações 30: 70 (valores superiores de firmeza, gomosidade e mastigabilidade) e 20: 80, quando usado o AL, pode ter ocorrido provavelmente pela quantidade de SL incorporado na matriz proteica, juntamente com o coagulante, o que tendenciou a ocorrência de ligações químicas mais fortes na formação da rede de proteína, aumentando, assim, a resistência da força de compressão. Observa-se também (Tabela 2) que os valores encontrados para as características discutidas neste trabalho ficaram bem inferiores aos valores encontrados

na ricota, produto este obtido à base de proteína de soro de leite e coagulado com ácido láctico. E quando os valores foram comparados ao tofu, que foi coagulado com glucona- δ -lactona, os produtos também apresentaram valores inferiores, mostrando que a adição de SL interferiu no perfil de textura.

O uso do coagulante GDL nas três proporções ES: SL apresentou diferença significativa nas características de firmeza, coesividade e mastigabilidade. A combinação ES: SL 40: 60 foi a que apresentou maior resistência quanto à compressão, sendo que as outras combinações demonstraram valores inferiores, evidenciando que a maior quantidade de proteínas de soja para formação da matriz proteica conferiu mais resistência à força exercida sobre o produto.

Os produtos obtidos pela coagulação com AL apresentaram maior resistência às forças de compressão nas características de firmeza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade, quando comparados aos produtos coagulados com GDL. Tal fato pode ser atribuído ao seu baixo teor de umidade (Tabela 1), tornando a matriz proteica mais compacta. Outra justificativa para esses resultados se baseia na estrutura química destes coagulantes. O GDL, conforme discutido anteriormente neste trabalho, tem maior capacidade de retenção de umidade, devido à grande quantidade de hidroxilas presentes na sua molécula, que vão propiciar mais ligações de hidrogênio com a água, conseqüentemente o produto resultante apresenta-se menos resistente à força de compressão.

No trabalho de revisão da USDA (2005) sobre o uso de GDL na produção de tofu, os autores citam que este coagulante é indicado para obtenção do tofu *Silken* ou *soft* típico da população Japonesa por ser mais macio e suave, e não é indicado para o *Firm* tofu produto típico chinês, caracterizado por possuir baixo conteúdo de umidade. Prabhakaran, Perera e Valiyaveettil (2006) avaliaram também características de textura com diferentes coagulantes na obtenção do tofu, e os resultados foram bem diferenciados entre os coagulantes, sendo que a coagulação com ácido acético e cloreto de cálcio proporcionou maior resistência à compressão e esses produtos apresentaram baixo teor de umidade.

De acordo com as características de textura de tofu, queijo e análogos são influenciados pela combinação das propriedades estruturais da matriz proteica formada pelo processo de coagulação (LOBATO-CALLEROS et al., 2007).

Cai e Chang (1998) mostraram que as condições de processamento, incluindo proporção de soja: água, moagem e métodos de separação do soro e resíduo, condições de coagulação

e concentração do coagulante podem influenciar o rendimento e as características atribuídas à qualidade do tofu.

Nas Figuras 2 a 5, estão ilustradas a coagulação e a microscopia dos produtos obtido com AL e GDL, nas proporções de ES: SL 30: 70.



Figura 2. Coagulação do produto similar ao tofu com adição de SL obtido com AL na proporção ES: SL 30: 70.

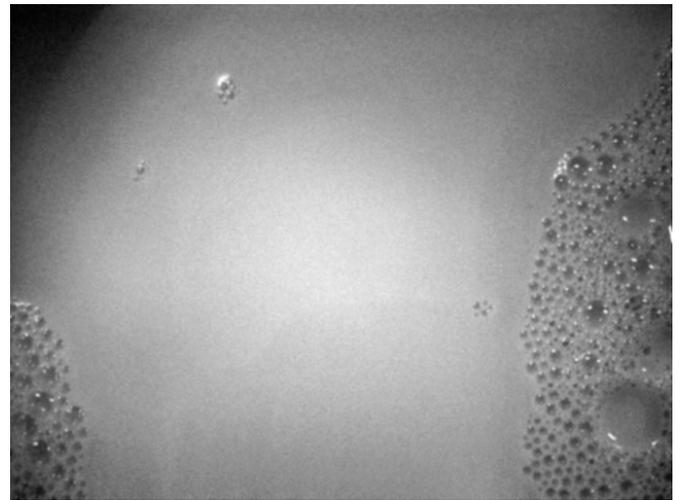


Figura 3. Coagulação do produto similar ao tofu com adição de SL obtido com GDL na proporção ES: SL 30: 70.

Tabela 2. Valores médios de firmeza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade dos produtos à base de extrato de soja (ES) e soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido láctico (AL) e glucona- δ -lactona (GDL).

| Produto (proporções ES: SL) | Firmeza (N) ¹ | | Coesividade ¹ | | Gomosidade (N) ¹ | | Mastigabilidade (Nmm) ¹ | |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² |
| 40: 60 | 1,82 ^{CA} | 1,16 ^{AB} | 0,56 ^{BA} | 0,49 ^{AB} | 1,03 ^{CA} | 0,48 ^{AB} | 0,86 ^{CA} | 0,47 ^{AB} |
| 30: 70 | 2,52 ^{AA} | 1,07 ^{abB} | 0,56 ^{BA} | 0,44 ^{BB} | 1,47 ^{AA} | 0,46 ^{AB} | 1,48 ^{AA} | 0,44 ^{AB} |
| 20: 80 | 2,23 ^{BA} | 0,96 ^{BB} | 0,58 ^{AA} | 0,43 ^{BB} | 1,21 ^{BA} | 0,43 ^{AB} | 1,29 ^{BA} | 0,36 ^{BB} |
| CV (%) | | 3,9 | | 0,83 | | 5,09 | | 6,08 |
| Tofu | | 1,99 | | 0,57 | | 1,26 | | 1,12 |
| Ricota | | 3,52 | | 0,58 | | 2,61 | | 2,15 |

¹Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; e ²Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem pelo Teste de *t* (Student) a 5% de probabilidade.

A Figura 2 mostra o gel formado a partir das proteínas coaguladas com AL. Observa-se uma maior desuniformidade do gel quando comparado com o obtido no processo com GDL, iniciando-se também uma sinérese do soro. Essa característica do gel evidencia um produto final mais firme, com baixo teor de umidade, baixo rendimento e conseqüentemente maior resistência à força de compressão. Apresenta características bem diferenciadas do produto coagulado com GDL, que mostra uma superfície lisa (Figura 2), na qual foi necessário efetuar cortes na coalhada para auxiliar a dessoragem. Estas características foram confirmadas em todas as proporções em que se utilizou o GDL.

As diferenças nas microestruturas (Figura 4 e 5) evidenciaram as particularidades do uso de AL e GDL na obtenção do produto similar ao tofu com adição de SL. Resultados de pesquisa quanto às alterações na microestrutura de tofu estão relacionadas com o tipo de coagulante (PRABHAKARAN; PERERA; VALIYAVEETIL, 2006), às condições de coagulação e à concentração utilizada do coagulante (KAO; SU; LEE, 2003).

O produto obtido com AL apresentou certa descontinuidade na estrutura da matriz proteína com alguns fragmentos e largos

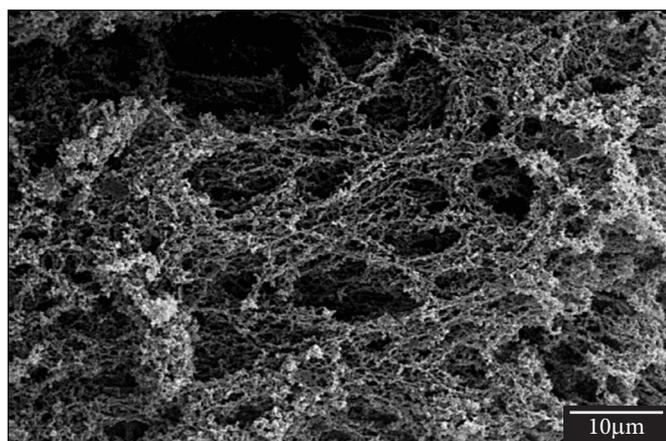


Figura 4. Eletromicrografias de varredura em produto similar ao tofu obtido com AL na proporção ES: SL 30: 70.

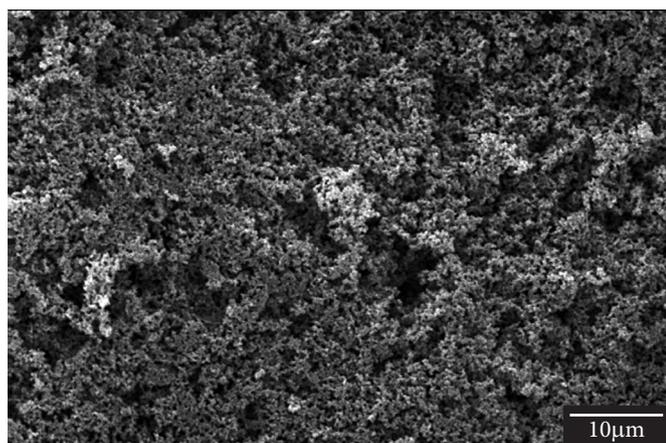


Figura 5. Eletromicrografias de varredura de produto similar ao tofu obtido com GDL na proporção ES: SL 30: 70.

poros ou cavidades, os quais possivelmente foram formados pela baixa capacidade de retenção de umidade do AL. O produto coagulado com GDL teve uma tendência direcionada na estrutura proteica apresentar-se mais contínua e uniforme; aparentemente apresentam-se mais ligadas entre si, confirmando que a estrutura química do GDL, com suas inúmeras hidroxilas, ligou-se mais efetivamente com a água. Este comportamento foi observado através da umidade e rendimento, nas três proporções em que se utilizou o GDL, conseqüentemente estes produtos resistiram menos à força de compressão, como mostrado nas características do perfil de textura de firmeza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade (Tabela 2).

Demant; Demant e Gupta (1986) encontraram diferentes resultados para textura e microestrutura de tofu afetados por diferentes coagulantes. O gluconato- δ -lactona e sulfato de cálcio resultaram em um produto com uma textura mais fina e uniforme, com estrutura proteica no formato de “favos de mel”, quando comparado aos coagulantes cloreto de cálcio, cloreto de magnésio e sulfato de magnésio.

3.3 Cor dos produtos análogos a tofu

Na obtenção de tofu a cor normalmente expressa a qualidade do produto e varia entre o branco e amarelo-claro em função do cultivar de soja que está sendo utilizado (BHARDWAJ et al., 1999; LAMBRECHT et al., 1996).

Na determinação da cor através da análise instrumental, as amostras apresentaram os seus valores (Tabela 3) de luminosidade (L) aumentados na medida em que se diminuiu a concentração do ES nos produtos coagulados com AL. Com o GDL, as combinações ES: SL 40: 60 e 30: 70 diferiram da 20: 80, que apresentou maior luminosidade. Nos valores do amarelo (b) observou-se exatamente de forma inversa, ou seja, à medida que se aumentou a concentração do SL houve diminuição dos valores da cor amarela. Apenas as combinações de 40: 60 e 30: 70 obtidas pela coagulação com GDL não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) e a combinação 40: 60 com AL diferiu ($p < 0,05$) do GDL (Tabela 3).

Os valores médios encontrados por KARIM et al. (1999) no estudo com tofus obtidos com GDL foram de leituras de luminosidade (L) de 82,51 e os valores do amarelo (b) de 13,01, valores estes diferentes dos obtidos neste trabalho, podendo

Tabela 3. Valores médios de luminosidade (L) e de amarelo (b) medidos pelo sistema “CIELAB” dos produtos à base de extrato de soja (ES) e de soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido láctico (AL) e gluconato- δ -lactona (GDL).

| Produto (proporções ES: SL) | Pontuação “CIELAB” | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| | Luminosidade (L) ¹ | | Amarelo (b) ¹ | |
| | AL ² | GDL ² | AL ² | GDL ² |
| 40: 60 | 86,55 ^{cA} | 86,49 ^{bA} | 11,95 ^{aA} | 11,47 ^{aB} |
| 30: 70 | 87,19 ^{bA} | 86,46 ^{bB} | 11,25 ^{bA} | 11,24 ^{aA} |
| 20: 80 | 87,66 ^{aA} | 87,55 ^{aA} | 10,90 ^{cA} | 10,53 ^{bB} |
| CV | 0,28 | | 1,33 | |

¹Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; e ²Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem pelo Teste de *t* (Student) a 5% de probabilidade.

atribuir essa diferença à adição do SL ao ES, o que, entretanto, não contribuiu para a depreciação da qualidade do produto.

3.4 Teste de aceitação dos produtos

Os escores médios de aceitação e a distribuição dos produtos similares ao tofu no mapa de preferência estão apresentados na Tabela 4 e ilustrados na Figura 6, respectivamente. Os resultados evidenciaram uma concordância entre as variáveis desejáveis formadas pelas médias das respostas dos consumidores em relação a sabor, aparência cor e textura, com a variável preferencial caracterizada pela impressão global.

Analisando-se a Tabela 4 nota-se que os produtos 1, 2 e 3 obtidos com AL apresentaram menores valores médios de aceitação em relação à impressão global (preferencial), enquanto os produtos 4, 5 e 6 obtidos com GDL apresentaram maiores valores médios, sugerindo estes como os mais aceitos pelos consumidores.

Os resultados ilustrados na Figura 6 evidenciam a formação de grupos de preferência, de tal forma que os produtos 5 (ES: SL 30: 70 – GDL) e 6 (ES: SL 20: 80 – GDL), localizados no primeiro quadrante apresentaram aceitabilidade similares. O mesmo pode ser afirmado em relação aos produtos 1 (ES: SL 40: 60 – AL) e 2 (ES: SL 30: 70 – AL). No caso dos produtos 3 (ES: SL 20: 80 – AL) e 4 (ES: SL 40: 60 – GDL), observaram-se efeitos diferenciados em relação aos demais.

Uma possível justificativa para o agrupamento dos produtos demonstrados na Figura 7 é dada por meio do mapa círculo da correlação.

Os resultados evidenciados na Figura 7 revelam que o atributo sabor foi mais relevante para a classificação dos produtos 5 (ES: SL 30: 70 – GDL) e 6 (ES: SL 20: 80 – GDL), ao passo que os demais atributos avaliados (aparência, cor e textura) foram mais relevantes para o produto 4 (ES: SL 40: 60 – GDL).

Analisando a Figura 8, verifica-se que os resultados confirmam os demonstrados na Tabela 4, ou seja, observando-se a faixa de localização dos tratamentos verifica-se que o tratamento 4 (ES: SL 40: 60 – GDL) apresentou uma porcentagem de 80%, sendo esta referente aos provadores que deram uma nota acima da média, fato este que sugere tal tratamento o mais preferido. Analogamente, tem-se a mesma interpretação para os demais

Tabela 4. Escores de aceitação das variáveis desejáveis médias de sabor, aparência cor e textura e preferenciais (impressão global) dos produtos similares ao tofu com adição de soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido lático (AL) e glucona- δ -lactona (GDL).

| Variáveis | Médias dos escores de aceitação dos produtos similares ao tofu | | | | | |
|--------------|--|--------|--------|----------------------------------|--------|--------|
| | Proporções extrato de soja: soro de leite (ES: SL) | | | | | |
| | 40: 60 | | 30: 70 | | 20: 80 | |
| | ácido lático (AL) | | | glucona- δ -lactona (GDL) | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Desejável | 6,0725 | 6,1550 | 6,1875 | 7,2050 | 7,1525 | 7,1833 |
| Preferencial | 5,8667 | 6,0000 | 6,3333 | 7,0000 | 6,9667 | 6,8333 |

Escores de aceitação: 9 = gostei extremamente; 8 = gostei muito; 7 = gostei moderadamente; 6 = gostei ligeiramente; 5 = não gostei nem desgostei; 4 = desgostei ligeiramente; 3 = desgostei moderadamente; 2 = desgostei muito; e 1 = desgostei extremamente.

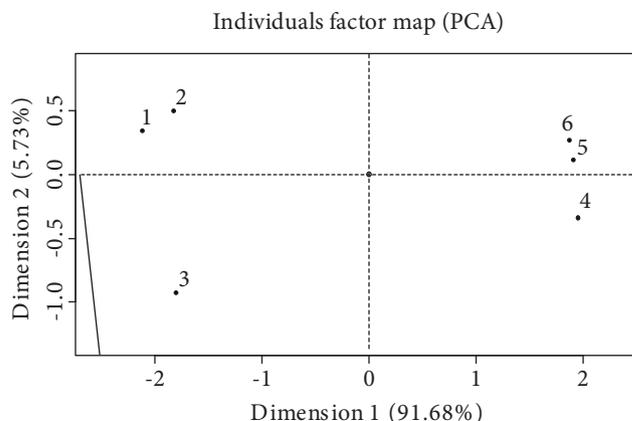


Figura 6. Mapa dos escores dos produtos similares ao tofu com adição de soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido lático (AL) e glucona- δ -lactona (GDL).

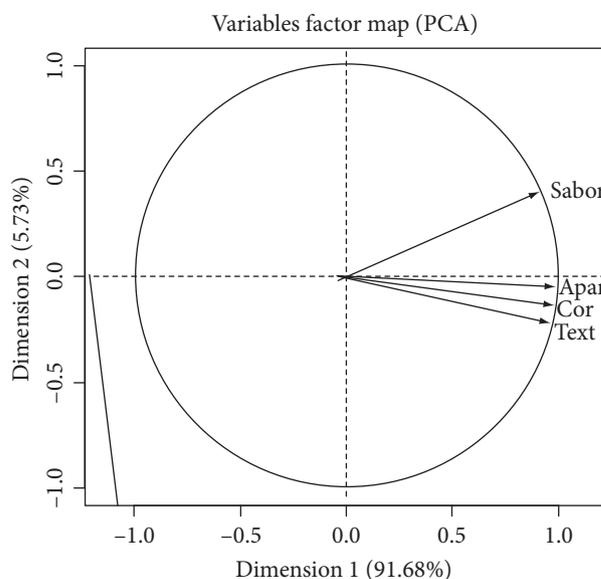


Figura 7. Mapa do círculo da correlação das variáveis desejáveis aos atributos de sabor, aparência, cor e textura.

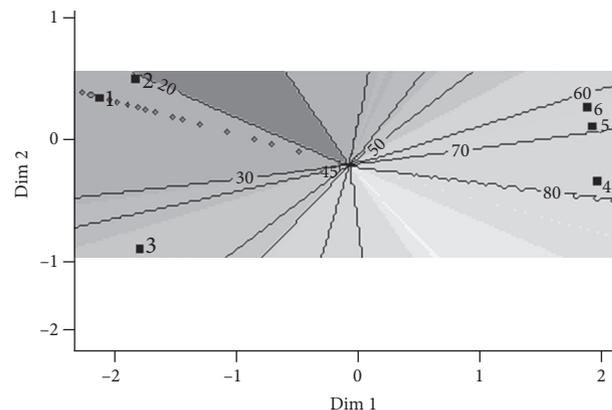


Figura 8. Mapa de preferência dos produtos similares ao tofu com adição de soro de leite (SL) obtidos por coagulação com ácido lático (AL) e glucona- δ -lactona (GDL).

tratamentos, reportando suas devidas porcentagens. Nesse contexto, a preferência é seguida dos tratamentos 5 (ES: SL 30: 70 – GDL) e 6 (ES: SL 20: 80 – GDL), ressaltando que as variáveis desejáveis (Figura 7) justificam tal preferência, pois concentram-se na região dos produtos 4, 5 e 6 (Figura 8) a maior aceitação em relação ao sabor, a aparência, cor e textura. No caso do tratamento 3 (ES: SL 20: 80 – AL), analisando-se a sua localização (Figura 8), pode-se afirmar que este foi o que apresentou menor desempenho na aceitabilidade.

4 Conclusões

O coagulante glucona- δ -lactona proporcionou maior elevação nos teores de umidade, proteína e rendimento dos produtos estudados do que o ácido láctico.

Os produtos obtidos com glucona- δ -lactona resistiram menos à força de compressão do que os coagulados com ácido láctico e, quando os produtos foram comparados com ricota e tofu, verificou-se que os coagulantes e a adição de soro de leite ao produto interferiram de maneira significativa nas características avaliadas. Os produtos obtidos com glucona- δ -lactona apresentaram textura mais macia do que os obtidos com ácido láctico, aproximando-se mais dos resultados do perfil de textura obtidos no tofu.

O produto similar ao tofu com aceitação por maior número de consumidores foi aquele resultante da combinação 40: 60 (ES: SL) obtido por coagulação com GDL, com nota média 7,0 (gostei moderadamente) seguido dos produtos resultantes das combinações 30: 70 (ES: SL) e 20: 80, ambos obtidos da coagulação com GDL, notas situadas entre gostei ligeiramente a gostei moderadamente.

Referências bibliográficas

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analytical.** 15 ed. Washington, 1990.
- ALVES, E. **Curso introdutório à microscopia eletrônica de varredura.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 43 p.
- ARDITI, S. Preference mapping: a case study. **Food Quality and preference**, v. 8, n. 5-6, p. 323-327, 1997.
- BERRY, D. **Controlling acid development:** Dairy Foods manufacturers turn to acidulants for a variety of reasons ranging from pH control to flavor development. [S.L.]: [s.n.], 2006. Disponível em: <http://findarticles.com/p/articles/mi_m3301/is_1_107/ai_n16030268>. Acesso em: 27 de Agosto de 2007.
- BHARDWAJ, H. L. et al. Yield and quality of soymilk and tofu made from soybean genotypes grown at four locations. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 401-405, 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**, v. 31, n. 4, p. 289-295, 1998.
- DEMAN, J. M.; DEMAN, L.; GUPTA, S. Texture and microstructure of soybean curd (tofu) as effected by different coagulants. **Food Microstructure**, v. 5, n. 1, p. 83-89, 1986.
- ESCUETA, E. E.; BOURNE, M. C.; HOOD, L. F. Effect os boiling treatment of soymilk on the composição, yield, textura and sensory properties of tofu. **Canadian institute of science and technology**, v. 19, n. 2, p. 53-56, 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.
- FURTADO, M. M. **Principais problemas dos queijos:** causas e prevenções. São Paulo: Fonte Comunicações e Editora, 1999. 176 p.
- FURTADO, M. M.; LOURENÇO NETO, J. P. M. **Tecnologia de Queijos:** Manual Técnico para a Produção Industrial de queijos. São Paulo: Ed. Dipemar, 1994. p. 118.
- KAO, F. J.; SU, N. W.; LEE, M. H. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 21, p. 6211-6216, 2003.
- KARIM, A. A. et al. Effect of carragenan on yield and properties of tofu. **Food Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 159-165, 1999.
- KIM, Y. S. et al. The effect of oyster Shell powder on the extension of the shelf life of tofu. **Food Chemistry**, n. 103, p. 155-160, 2007.
- LAMBRECHT, H. S. et al. Effect of soybean storage on tofu and soymilk production. **Journal of Food Quality**, v. 19, n. 3, p. 189-202, 1996.
- LOBATO-CALLEROS, C. L. et al. Microstructure and texture of whit fresh cheese made with canola oil and whey protein concentrate in partial or total replacement of milk fat. **Food research international**, v. 40, n. 4, p. 529-537, 2007.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques.** 2 ed. Florida, USA: CRC Press, 1991. 354 p.
- PEREIRA, D. B. C. et al. **Físico-químico do leite e derivados:** métodos analíticos. 2 ed. Juiz de Fora: Ed. Templo, 2001. 234 p.
- PRABHAKARAN, M. P.; PERERA, C. O.; VALIYAVEETIL, S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chemistry**, n. 99, p. 492-499, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna; Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2007. Software. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 Jul. 2007.
- SUN, N.; BREENE, W. M. Calcium sulphate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybeans varieties. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 6, p. 1604-1607, 1991.
- TAY, S. L.; TAN, H. Y.; PERERA, C. O. The coagulation effects of cations and anions on soy protein. **International Journal of Food Properties**, 2005. (in press).
- USDA. **Glucono Delta-Lactone Processing.** Disponível em: <www.ams.usda.gov/nop/nationalist/tapreviews/gluconodeltalactone.pdf>. Acesso em: Julho 2005.
- WANG, H. L. Tofu e tempeh as potential protein sources in the western diet. **Journal of the Association Oil Chemistry Science**, v. 61, n. 3, p. 528-534, 1984.