

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO
DA EXTRAÇÃO E CONCENTRAÇÃO
DO LEITE DE SOJA

Ramón Hinojosa Gutiérrez
Engenheiro Operacional

Orientador:

Dr. Roberto H. Moretti

Professor da Faculdade de Tecnologia de Alimentos

Tese apresentada à Faculdade de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos.

- 1974 - UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Com muito carinho a

minha esposa Lídia e

filhas: Evelyn, Claudia e Lídia Andrea

meus Pais Manuel e Balbina e

tios: Carlos e Guille

CONTEÚDO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS.	i
RESUMO	ii
SUMMARY.	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.	20
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	35
6. CONCLUSÕES	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
AGRADECIMENTOS	47

...ooo0ooo...

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA Nº		PÁGINA
1	Comparação dos aminoácidos essenciais do leite de soja com leite de vaca e materno. Valor nutritivo e composição química.....	22
2	Conteúdo de sólidos totais e Nitrogênio da água de maceração.....	23
3	Composição química do leite de soja com diversos tempos de inativação enzimática da matéria prima.....	24
4	Extração de sólidos totais e proteína em leite de soja.....	25
5	Concentração do leite de soja em evaporador - CENTRI-THERM. Das dos experimentais.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº		PÁGINA
1	Produção de soja no Brasil. Distribuição da produção por Estados.....	4
2	Absorção de água durante a maceração. Soja 1 - (1971).....	27
3	Absorção de água durante a maceração. Soja 2 - (1973).....	28
4	Absorção de água durante a maceração. Soja 3 - (1974).....	29
5	Inativação da lipoxidase pelo calor em leite e farinha integral de soja.....	30
6	Extração de sólidos totais e proteína em leite de soja.....	31
7	Variação da viscosidade aparente com a temperatura em leite de soja.....	32
8	Variação da viscosidade aparente com a concentração em leite de soja.....	33
9	Obtenção do leite de soja em Planta Piloto (FLUXOGRAMA).....	34

RESUMO

A obtenção e concentração do leite de soja *Glicine max (L) Merr.* foi estudada mediante a seguinte sequência de operações: maceração, inativação enzimática, trituração, separação de sólidos insolúveis e concentração a baixa temperatura num evaporador centrífugo.

A maceração foi realizada a 25°C e 60°C em água potável, bicarbonato de sódio a 0,5% e hexametáfosfato de sódio a 0,5%. O efeito deste último foi um notório aumento da velocidade de absorção da água e da capacidade de hidratação da soja.

A inativação enzimática foi efetuada por imersão dos grãos em água a 97,5°C durante 3 minutos. Em tais condições a ação das lipoxidases, associadas aos sabores característicos da soja, foi neutralizada.

Como consequência da inativação pelo calor produziram-se várias modificações no comportamento reológico do líquido, durante a sua concentração.

A alteração mais notória no leite de soja, foi o aumento exponencial da sua viscosidade aparente em concentrações maiores de 10% de sólidos.

A inativação pelo calor, da soja, durante 0,1,3,5,7 e 10 minutos a 97,5°C, elevou a viscosidade aparente do leite com 4-6 % de sólidos iniciais, desde 4 centipoise a 30, 170, 400, 500 e 600 centipoise respectivamente no concentrado com 27% de sólidos.

Esta variação da viscosidade tem grande importância na obtenção de leite em pó pelo método "spray drying".

SUMMARY

Extraction and concentration of soy milk was studied by means of the following sequence of operations: soaking, enzymatic inactivation, grinding, separation of insoluble solids, and concentration in a centrifugal evaporator.

The soaking process was performed at 25°C and 60°C in fresh water, in 0,5% sodium bicarbonate solution and in 0,5% sodium hexametaphosphate solution. The latter solution increases the speed of absorption of water and the hydration capacity of soybeans.

Enzymatic inactivation was carried out by immersion of soybeans in boiling water at 97.5°C for 3 minutes. This heat treatment inactivated the lipoxidases associated with soybeans flavor.

Heat inactivation affected the rheological behavior of soy milk during concentration. The main change occurring in soy milk was a large increase in its apparent viscosity at concentrations above 10% solids.

Heat treatment of soybeans for 0,1,3,5,7, and 10 minutes at 97.5°C, increased the apparent viscosity of soy milk with 4-6% of solids from 4 centipoises to 30, 170, 400, 500 and 600 centipoises respectively for a soy milk concentrated to 27% solids. This change is very important during dry soy milk production by spray drying.

1. INTRODUÇÃO

O leite de soja foi alvo de grande atenção por parte de investigadores e industriais, devido às suas qualidades como alimento de alto valor nutritivo e às suas atrativas possibilidades económicas que se devem ao seu baixo custo de produção.

Sabemos que este produto era conhecido no Oriente desde a antiguidade 2.800 A.C. (Lo W.Y. 1967) e atualmente continua a ser nessas regiões um produto popular de consumo diário.

Na preparação deste alimento, os chineses empregavam um método clássico, artesanal, que até hoje praticamente não foi modificado na sua essência, mas apenas foi mecanizado e adaptado de modo a atender às necessidades da produção industrial desse produto.

O método chinês, compreendia as seguintes etapas:

maceração: durante toda uma noite para hidratar os grãos;

moagem: fina, em moinhos de pedra, agregando água até formar uma massa líquida;

filtração: para separar os sólidos insolúveis;

aquecimento; do leite até ebulição para melhorar o sabor.

Os rendimentos de extração em sólidos, no leite obtido por este processo, estima-se em 65%.

O leite de soja, obtido do grão integral ou da farinha de soja, pode ser comercializado em forma líquida, como substituto do leite natural ou então como leite em pó para o qual deve ser concentrado previamente.

No entanto, a concentração do leite de soja apresenta alguns aspectos característicos. Pelo fato de se tratar de um líquido não Newtoniano, alcança uma alta viscosidade aparente e até mesmo gelifica em concentrações relativamente baixas, de 25% - 30% de sólidos, em comparação com o leite de vaca que pode ser perfeitamente trabalhado nos evaporadores em concentrações de 40% - 48% de sólidos.

Numerosas investigações foram realizadas sobre este produto, tanto sob o aspecto

tecnológico da fabricação como sobre o seu valor nutritivo.

Não obstante, deve-se mencionar que grande parte destes estudos foram efetuados em pequena escala, empregando modelos, equipamentos e condições de laboratório, difíceis de serem montados de tal forma a atender maiores escalas de produção.

É interessante destacar que nos Estados Unidos o leite de soja foi introduzido na década de 40 pelo Dr. Miller, um médico que foi missionário na China por vários anos.

Nesse país é vendido atualmente como leite em pó e é um produto de apreciável importância comercial, já que se destina principalmente à alimentação de lactantes com problemas alérgicos ao leite materno ou de vaca (estima-se em 7% a percentagem de recém-nascidos nos Estados Unidos que tem problemas de alergia ao leite de vaca).

No Brasil, verificam-se, pelo contrário, situações contraditórias, que valem a pena analisar-se brevemente.

Atualmente o Brasil é o 3º produtor e o 2º exportador mundial de soja com 800.000 toneladas (grãos e farelo). Em apenas 10 anos, 1964 - 1974, a produção elevou-se de 500.000 toneladas para 7.000.000 toneladas constituindo-se hoje em dia numa das principais culturas do país. (Ver FIGURA 1)

Ao mesmo tempo, o acelerado desenvolvimento industrial, produziu um forte desequilíbrio na agricultura, que se reflete em vários problemas, sendo um deles a insuficiente produção leiteira. Apesar de contar com um grande rebanho bovino (~ 85.000.000 de cabeças) a pecuária leiteira está pouco desenvolvida e avalia-se entre 800.000 a 1.000.000 o número de bezerros sacrificados anualmente por falta de leite. (referencia - Cooperativa de Produtores de Leite Tipo A de Campinas 1973)

Por outro lado, o Brasil teve que importar nos últimos anos quantidades cada vez maiores de leite em pó e de outros produtos lácteos (60.000 ton. em 1968), o que significa um gasto de aproximadamente US\$ 40 milhões anuais para o país. (21)

O leite de soja convenientemente formulado, representa uma possibilidade real de

aproveitamento de uma matéria prima abundante e barata, com uma dupla vantagem: incorporaria uma nova tecnologia no aproveitamento da soja e ao produzir um substituto lácteo, economizaria uma grande quantidade de divisas.

Apenas a título de informação, note-se que no ano de 1972 na Europa Ocidental produziram-se 1.200.000 ton. deste produto para alimentação de bezerros, das quais 600.000 foram produzidas pela França. (*)

O presente trabalho teve como objetivo estudar alguns aspectos tecnológicos como, maceração, inativação enzimática e concentração do leite de soja. Esta informação tem grande importância por que contribui indiretamente para o desenvolvimento de um produto de inegáveis qualidades nutritivas para a população.

* International Milk Replacer Symposium. Zurich. 1971.

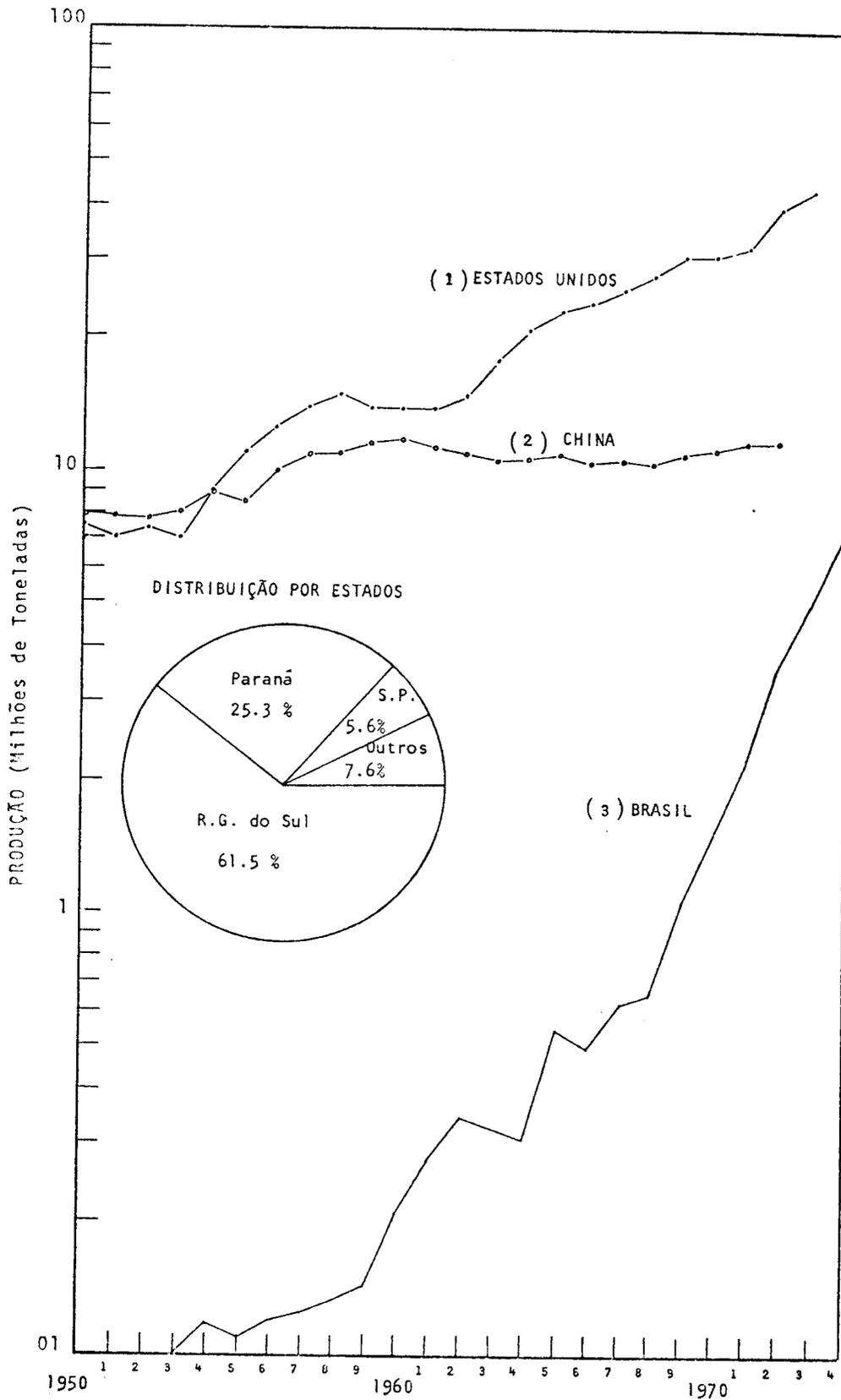


FIGURA 1 - PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL

(1) e (2) DOURING.1974.

(3) GEIDA.1973.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Características gerais das proteínas da soja.*

A soja é uma leguminosa que é considerada como oleaginosa pelo seu alto teor de gordura. Como muitas oleaginosas, a soja contém na sua estrutura, numerosos corpos intercelulares que são depósitos para armazenagem de protídios, lipídeos e outros componentes como carboidratos.

Nos cotilédones encontram-se os depósitos de protídios chamados corpos proteicos ou "aleuronas" e os de lipídios chamados "esferossomas".

TOMBS (1967), por microscopia eletrônica verificou que os corpos proteicos têm uma dimensão variável de 2 a 20 micra de diâmetro, mas que grande parte deles estão na faixa de 5 a 8 micra.

Os esferossomas estão dispersos entre os corpos proteicos e têm tamanho aproximado de 0,2 a 0,5 micra.

A importância desta estrutura e sua distribuição advem do fato de aí se originarem os principais problemas da inativação dos fatores anti-nutricionais, da extratibilidade das proteínas e do sabor característico do leite de soja.

SMITH e colaboradores (1938), investigaram o efeito do pH e de vários ácidos e bases sobre a extração de proteína da farinha de soja desengordurada. Eles verificaram que tanto o pH como os tipos de ácidos e bases utilizadas para cada extração produziam variações na quantidade de nitrogênio disperso. O rendimento máximo de nitrogênio (95%) ocorreu a pH 12, usando como solvente uma solução de NaOH. O segundo maior rendimento (85%) ocorreu a pH 2 usando HCl.

A água extraiu 84% do nitrogênio total. O rendimento mínimo de nitrogênio foi encontrado em pH por volta de 4,5 usando-se vários ácidos como clorídrico, oxálico, sulfúrico e fosfórico, indicando então que o ponto isoelétrico das proteínas da soja se encontra nessa faixa de pH.

WOLF (1970), em trabalhos recentes sobre proteínas de soja, mostrou que estas estariam formadas principalmente por globulinas com solubilidades mínimas por volta de pH 4,5 e são constituídas de uma mistura de componentes com pesos moleculares entre 8.000 e 600.000, apresentando a maior parte, pesos moleculares entre 250.000 a 350.000. Dois dos maiores componentes as globulinas 7S e 11S - formam polimeros insolúveis por reações de associação-dissociação e têm estruturas quaternais. Esta estrutura é modificada por ácidos, álcalis, uréia, detergentes e calor. Além disso verificou que quando se aquecem soluções concentradas de isolados proteicos sua viscosidade aumenta até formar géis.

2.2. *Fabricação do leite de soja.*

As etapas básicas na fabricação de leite de soja são as seguintes:

- (a) Maceração
- (b) Inativação enzimática
- (c) Moagem
- (d) Separação de sólidos insolúveis (extração)
- (e) Concentração (para obtenção de leite em pó)

(a) Maceração

YAN (1927), comparou o efeito do tempo de maceração sobre a densidade, conteúdo de sólidos, ponto de congelação e índice de refração. Todos os fatores umentaram com o tempo de maceração de 2 a 8 horas, excetuando-se o ponto de congelação que diminuiu.

Este investigador opinava que a maceração ajudava a melhorar o sabor do leite de soja e recomendava que a maceração não fosse além de 8 horas, já que ultrapassando esse tempo, havia uma excessiva e inconveniente perda de sólidos na água de maceração.

TAN (1958), estudou o pré-tratamento dos grãos antes da extração e notou que o conteúdo de sólidos de leite podia ser aumentado de 8,03% a 8,34%, através de um processamento de pré-moagem dos grãos secos (em farinha) e em seguida maceração da farinha durante 16 horas, antes da extração.

SMITH e colaboradores (1961), estudaram a velocidade de absorção de água por amostras de soja americana e japonesa a 10°C e 25°C. Verificaram que o fator principal na absorção é a casca da semente e a quantidade de umidade inicial contida pelo grão. Notaram estes pesquisadores taxas de absorção de 1,06 a 1,21 g/g de soja a 10°C e de 1,35 a 1,53 a 25°C por 6 horas, de maceração.

LO (1967), estudou a maceração da soja a 1°C de 0-72 horas, e o seu efeito na composição do leite obtido com este pré-tratamento. Comprovou que quanto maior era o tempo de maceração, maior era a perda de sólidos na água de maceração. Com 24 horas de maceração produzia-se uma perda de 5% de sólidos e com 72 horas, uma perda de 10% de sólidos.

Analizou também a água de maceração às 24 horas, e verificou que apresentava a seguinte composição: proteína crua 23,3%, gordura 2,8%, fibra 0,8% e carboidratos 73,2%.

(b) Inativação Enzimática

OSBORNE e MENDEL (1917), foram os primeiros a notar que a soja natural não permitia o crescimento de ratos quando usada como alimento, no entanto se se aquecessem os grãos, estes poderiam servir como alimento eficiente.

BELTER e CIRCLE (1952), verificaram que tratando flocos integrais de soja com vapor a pressão atmosférica durante 20 minutos, a solubilidade do nitrogênio diminuía de 83% para 20%.

LIENER (1962), verificou que a maioria dos inibidores proteicos de origem vegetal são inativados pelo calor e este efeito é acompanhado geralmente de um aumento do valor nutritivo da proteína.

RACKIS (1966), demonstrou que tratando os flocos de soja integrais ou desengordurados com vapor a 100°C, bastam 15 minutos para alcançar a máxima eficiência proteica e para inativar os inibidores de tripsina.

ALBRECHT et al. (1966), verificaram que a maioria dos inibidores de tripsina de grãos inteiros, é facilmente destruída em 20 minutos pelo vapor a pressão atmos

férica, quando a umidade dos grãos é de aproximadamente 20%.

A níveis mais baixos de umidade é preciso mais tempo e temperaturas mais elevadas.

Quando a umidade dos grãos é de 60% ou mais, 5 minutos de ebulição são suficientes para inativar o inibidor. Notaram também que a atividade ureática e a lipoxidase são rapidamente destruídas em 2 a 3 minutos com vapor a 100°C.

BAKER et al. (1973), comprovaram que o inibidor de tripsina, a urease e a lipoxigenase são destruídas totalmente por cozimento dos grãos durante 15 minutos a 100°C em água fervente e que com a adição de soda caustica e ácido clorídrico, a lipoxidase é mais termolabil e o inibidor de tripsina é mais resistente.

(c) e (d) Moagem e Extração de Sólidos e Proteína.

A extractibilidade das proteínas da soja depende de uma variedade de fatores tais como: tratamento térmico (inativação), método de extração do óleo, tamanho de partículas, temperatura de extração, relação solvente-sólidos, pH e concentração de sais.

Vários investigadores entre os quais BELTER e CIRCLE (1952), estudaram a drástica queda na extractibilidade das proteínas de soja devido ao tratamento térmico dos grãos ou farinha (inativação ou tostagem).

Estes mesmos autores estudaram a solubilidade das proteínas de soja em diversas etapas do processo de extração de óleo por meio de solvente e determinaram que a desnaturação mais importante ocorria nas etapas finais de desodorização e tostagem. A solubilidade das proteínas baixou de 84,6% no grão inteiro para 43,7% na descarga do desodorizador e 7,2% ao sair do tostador.

NAGEL et al. (1938), extraíram a proteína da farinha de soja desengordurada e moída de 2 mm até 200 mesh. Notaram que a extração de proteína aumentava a medida que a moagem subia até 100 mesh. Com farinha 200 mesh havia menor extração e verificava-se que, o maior tempo de moagem para alcançar esse tamanho de partícula, produzia desnaturação das proteínas e por consequência um menor rendimento durante a extração.

O efeito da temperatura sobre a extração de proteína foi investigado por BECKEL et al. (1946). Eles verificaram que o maior rendimento se apresentava a 70°C quando a extração se efetuava com uma relação de líquido para sólidos de 10:1.

TAN (1958), demonstrou que não havia diferença significativa na extração de sólidos solúveis, quando as temperaturas variavam de 20°C a 50°C. Os sólidos solúveis eram separados por centrifugação.

WILKENS et al. (1966), pesquisaram, em grãos descascados, o efeito da temperatura de moagem sobre o sabor do leite de soja e viram que temperaturas de moagem de 80°C ou superiores, produziam inativação da lipoxidase causadora da degradação dos ácidos graxos e se obtinha um leite de soja de sabor praticamente neutro.

WILKENS e HACKLER (1969), estudaram, em grãos inteiros e descascados, o efeito da temperatura de maceração e moagem na produção do leite de soja. Notaram que a temperatura de maceração reduzia principalmente os carboidratos e aumentava o conteúdo de lipídios no leite. O teor de proteína não era significativamente afetado.

Comprovaram além disto, que quanto maior era o tempo e temperatura de maceração, maior era a diminuição de sólidos totais no leite.

A extração de leite a partir de grãos sem macerar, alcançou o seu máximo rendimento de sólidos totais quando se usou água a 60°C como solvente.

Com respeito a relação solvente-sólidos, TAN (1958) comprovou que a relação água-soja tinha um efeito decisivo sobre o rendimento da extração e sobre o conteúdo de sólidos totais no leite de soja.

Ele notou que a medida que a relação líquido-sólidos diminuía, o conteúdo de sólidos totais do leite tendia a aumentar, mas a quantidade total de sólidos extraídos por unidade de peso de soja, diminuía. O rendimento de sólidos totais diminuiu de 57% para 46%, quando a relação água-soja se reduziu de 19:1 para 4:1.

No que diz respeito a influência do pH na extração das proteínas, foi citado anteriormente o trabalho de SMITH e CIRCLE (1938) que foram os primeiros a colocar sobre uma base sólida a precipitação de proteínas em extratos aquosos alcalinos e ácidos.

SMITH et al. (1938), investigaram o efeito dos sais neutros sobre a dispersibilidade de nitrogênio da farinha de soja finamente moída.

Eles notaram que os sais monovalentes como NaF, NaCl, NaBr e NaI em concentrações de 0,05 a 0,10N, tinham um efeito retardatário sobre a dispersibilidade da proteína, e os sais bivalentes como Na_2SO_4 e CaCl_2 em concentrações de 0,0175N tinham melhor efeito que as anteriores. Além disso verificaram que nenhum sal neutro deu uma tão grande dispersibilidade de proteína como a água, que dispersava 85% do nitrogênio total ao mesmo pH do sistema.

HAND et al. (1964), desenvolveram um método para fabricar leite de soja a partir de grãos descascados, inativados com vapor (45 minutos a 100°C), e em seguida moídos com água a 60°C até formarem uma massa de 16% de sólidos totais, homogeneizada e seca diretamente em spray.

MUSTAKAS e MAYBERRY (1964), desenvolveram um outro processo para a fabricação de leite de soja.

Utilizaram flocos de soja descascados e condicionados a uma determinada umidade e alimentaram um "extruder" sob condições de tempo curto, alta temperatura e pressão. Obtiveram um produto cozido, expandido e seco que finamente moído e misturado com água produzia um leite de soja de alta qualidade.

Nestes processos não era incluída a maceração e o rendimento de sólidos no leite era consideravelmente maior.

(e) Concentração

Um dos problemas mais sérios durante a concentração do leite de soja é o comportamento da viscosidade e a formação de geis no produto. Em geral, estes fenômenos foram pouco investigados.

FERRY (1948), postulou que a formação de estrutura gel nas proteínas era causada geralmente pela desnaturação e desdobramento dos polímeros permitindo uma exposição máxima dos centros ativos como também dos centros não polares, tornando-os menos hidrófilos. Durante a formação de gel, formam-se cruzamentos entre os lados

ativos, ao longo das cadeias, enquanto que os grupos hidr^of^obicos tendem a rep^elir as mol^ec^ulas de ^agua, afetando o processo de hidr^ata^oo.

TAN (1958), investigou o efeito do conte^udo de s^olidos sobre a viscosidade do lei^te de soja e notou que se produzia um dr^astico aumento na viscosidade quando o con^te^udo de s^olidos se aproximava de 30%. Ele utilizou o termo "barreira da viscosi^dade" para descrever este fenomeno.

CIRCLE et al. (1964), estudaram as propriedades reol^ogicas de dispers^oes aquosas relativamente concentradas de isolados proteⁱcos de soja. Na ausencia do calor a viscosidade eleva-se exponencialmente com o aumento da concentra^oo. Em concen^tra^oes acima de 7% em peso, o calor produz um espessamento e em seguida gelifica^oo sendo 65^oC a temperatura limite para que se produza este fen^omeno.

Eles atribuiram tanto o aumento da viscosidade como a forma^oo de geis ^a forma^oo parcial de liga^oes disulfⁱdricas nas mol^ec^ulas de cisteina das proteⁱnas.

LO et al. (1968), observaram uma rela^oo logarⁱtmica entre a viscosidade aparente do leite de soja e o seu conte^udo de s^olidos. Ao concentrar leite de soja at^e 27% de s^olidos, obtiveram um gel espesso e resistente. Observaram tamb^em que a adi^oo de 0,5% de sulfito de s^odio no leite de soja concentrado at^e 20% de s^olidos, reduziu sua viscosidade e que a adi^oo de a^ucar antes da concentra^oo para produ^zir um leite condensado, aumentou enormemente a viscosidade do produto.

Foi efetuado recentemente um estudo sobre gelifica^oo por CATSIMPOOLAS e MEYER (1970). Eles propuseram que o aquecimento das globulinas da soja em concentra^oes maiores que 8% as converte, sob resfriamento, de um estado de progel a gel e que este fen^omeno ^e irreversⁱvel ap^os aquecimento.

2.3. Fatores antinutricionais e valor nutritivo

Desde o cl^assico trabalho de OSBORNE e MENDEL (1917), que estabelecia pela primei^ra vez que a soja crua n^o permitia o crescimento animal, in^umeros trabalhos fo^ram realizados sobre os fat^ores antinutricionais e valor nutritivo da soja.

HAYWARD et al. (1936), demonstraram que a cistina e metionina eram os aminoácidos limitantes na proteína da soja.

O valor nutritivo da farinha de soja aumentava com a adição de cistina a um nível de 0,3%. Se se agregava metionina à soja crua e/ou cozida, o valor nutritivo aumentava consideravelmente.

KUNITZ (1946-1947), isolou e cristalizou pela primeira vez o inibidor de tripsina da soja.

MELNICK et al. (1947), empregando digestão "in vitro" da proteína da soja demonstraram que havia uma ação retardadora na liberação de metionina nas proteínas da soja crua em comparação com a soja cozida.

BORCHER e ACKERMAN (1950), estudaram várias leguminosas que continham inibidores de tripsina. Notaram que somente seis entre elas, quando ministradas a animais sob forma crua, lhes diminuíam o crescimento. Em consequência disto o conceito de toxicidade destes inibidores foi questionado.

LIENER (1951), demonstrou que o inibidor de tripsina não era tóxico. Em 1953 o mesmo autor isolou a partir de inibidor de tripsina outro fator antinutricional: a hemaglutinina e demonstrou que esta coagulava o sangue.

WOLF (1966), realizou estudos exaustivos sobre a estrutura molecular do inibidor de tripsina e a hemaglutinina. Para o primeiro fator, determinou que era uma cadeia polipeptídica simples com um peso molecular de 21,500 que conta com uns 200 resíduos de aminoácidos e é responsável por 30% a 40% da atividade inibidora do crescimento. Além disso comprovou que na farinha de soja este fator é responsável praticamente por toda a atividade hipertrófica do pâncreas. Determinou ainda que a hemaglutinina é uma glicoproteína de peso molecular em torno de 110.000, que é tóxica e responsável por 50% da atividade inibidora da soja crua.

Valor Nutritivo

HACKLER et al. (1965), estudaram a sensibilidade do valor nutritivo do leite de soja ao tempo e temperatura de cozimento e secagem do leite.

Em outro trabalho demonstraram que o máximo valor nutritivo da proteína do leite de soja se alcançava aquecendo durante 10 minutos a 121°C ou 60 minutos a 93°C. Estes tratamentos térmicos inativam 90% do inibidor de tripsina.

DUTRA DE OLIVEIRA e SCATENA (1967), num interessante estudo realizado no Brasil na Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, demonstraram a possibilidade de produzir leite de soja para alimentação infantil em plantas leiteiras tradicionais. Estudando em ratos o valor nutritivo do leite de soja, viram que adicionando um suplemento de 0,15% de metionina alcançava valores de PER muito semelhantes ao do leite de vaca.

O leite de soja e de vaca tem aproximadamente o mesmo conteúdo de proteínas 3-4% e comparando a composição de aminoácidos das proteínas verifica-se uma similaridade de muito grande. (Ver TABELA 1 pag. 22)

A principal deficiência das proteínas de soja comparada com as proteínas do leite de vaca ou materno, são os aminoácidos sulfurados (metionina e cistina).

Experimentações em animais demonstraram que em geral o valor nutritivo do leite de soja é igual a 60-90% do valor nutritivo do leite de vaca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. *Estudo de Maceração*

3.1.1. *Matéria Prima*

Empregaram-se 100 g de soja variedade Santa Rosa, de diferentes épocas de colheita (1971, 1973 e 1974).

3.1.2. *Soluções de Maceração*

As amostras de soja foram maceradas em 3 soluções diferentes:

- a) água potável, pH 7,4;
- b) solução de bicarbonato de sódio a 0,5%, pH 8,5;
- c) solução de hexametáfosfato de sódio a 0,5%, pH 8,4.

Os ensaios foram efetuados em "beckers" de 600 ml e a proporção de líquido sólidos, foi de 4:1.

3.1.3. *Temperatura de Maceração*

Cada uma das soluções foi ensaiada a 25°C (temperatura ambiente) e a 60°C. Para esta última temperatura os "beckers" foram submersos num banho de água com temperatura controlada.

3.1.4. *Tempo de Maceração*

O tempo total de cada operação foi de 6 horas. Cada 30 minutos a água era separada dos grãos, por escorrimento e pesavam-se o sólido e o líquido.

O aumento de peso dos grãos foi considerado como água absorvida e o cociente entre o peso da água absorvida e o peso inicial da soja, foi denominado "taxa de absorção" (T.A.).

Uma amostra do líquido de maceração foi separada para análise de sólidos totais e nitrogênio.

3.2. *Inativação Enzimática (Inativação de Lipoxidase)*

Devido às dificuldades encontradas para determinar a lipoxidase residual por espectrofotometria, optou-se pela aplicação do método recomendado por WHITAKER, J. R. (1971).

A inativação de lipoxidase foi estudada em farinha de soja integral e em grãos de soja inteiros.

Para o primeiro caso, pesaram-se em tubos de ensaio 0,5 g de farinha de soja fresca e suspenderam-se em 25 ml de água destilada. Os tubos foram submersos em água fervente (97,5°C) e a cada 30 segundos era retirado um tubo que se esfriava rapidamente num banho de água e gelo.

Passou-se esta suspensão para um "becker" de 400 ml que continha 50 g de azeite de algodão e agitou-se com agitador magnético por 20 minutos à temperatura ambiente.

Da emulsão tomou-se uma alíquota de 40 ml que se centrifugou a 3.800 rpm por 6 minutos agregando 0,5 g de NaCl para romper a emulsão.

Do azeite sobrenadante pesou-se 5 g em "erlenmeyer" de 250 ml, ao qual se agregaram 25 ml de uma mistura de clorofórmio e ácido acético (40/60% v/v) e 1 ml de solução saturada de KI e deixou-se tapado em repouso por 5 minutos. Em seguida adicionaram 50 ml de água destilada e titulou-se o iodo livre com solução de tiosulfato de sódio 0,1N, usando uma solução de amido como indicador.

Para a soja natural, 10 g de soja previamente maceradas foram aquecidas em água fervente (97,5°C) por 1,3,5,7 e 10 minutos. Cada lote inativado, foi triturado com 100 ml de água num liquidificador de laboratório durante 2 minutos.

A massa líquida foi centrifugada a 3.800 rpm por 4 minutos e do extrato aquoso tomaram-se 10 ml e continuou-se com o mesmo procedimento descrito anteriormente para a determinação de peróxidos.

Como controles foram utilizadas uma amostra de farinha e outra de soja inativadas por 15 minutos a 97,5°C.

Para os estudos de Planta Piloto, empregaram-se 2 kg de soja, variedade Santa Rosa, colheita de 1973.

Maceraram-se numa solução de bicarbonato de sódio a 0,5%, pH 8,5, durante 8 horas. A proporção de água-sólidos foi de 4:1.

A inativação foi efetuada num tanque de ferro inoxidável o qual tem na parte inferior um tubo de distribuição de vapor direto, que foi o meio de aquecimento usado. Lotes de 2 kg originais de soja macerada foram colocados num cesto de malha metálica e submersos por 1,3,5,7 e 10 minutos em água fervente e foram esfriadas por imersão em água fria noutro tanque adjacente.

3.3. Trituração

A trituração foi efetuada num moinho de discos, fabricado por Indústria de Máquinas D'Andrea do Brasil, tipo 1.

Trabalhou-se com uma abertura entre discos de 1 mm e com uma velocidade de 2.100 rpm.

Usou-se uma relação de líquido-sólido de 9:1 (incluindo a água absorvida durante a maceração). A água foi agregada durante a moagem.

A massa obtida foi passada duas vezes pelo moinho para aumentar o grau de moagem. Em seguida foi agitada durante 5 minutos para aumentar o tempo de contato entre os sólidos e a água.

3.4. Separação de Sólidos Insolúveis

Foi utilizado um "Finisher" marca ANTON PFAF CALDERERIA E MECÂNICA LTDA, fabricado no Brasil. Equipado com uma malha separadora com furos de 0,020 polegadas e com uma capacidade aproximada de 1000 kg/hora. Trabalhou-se com uma velocidade de 240 rpm.

Para complementar a separação dos sólidos insolúveis, o leite obtido com o "Finisher" foi peneirado manualmente com uma malha 70 mesh.

Tanto a fração aquosa (leite de soja) como a fração sólida (resíduo), foram pesadas e foram tomadas amostras para análise de: sólidos totais, gordura, proteína e cinza. Uma amostra de leite destinou-se a medição de viscosidade.

3.5. Concentração

Durante esse processo empregou-se um evaporador centrífugo ALFA LAVAL tipo CENTRITHERM, modelo CT - 1B - 2, cujas características técnicas lhe conferem uma grande versatilidade. Pode evaporar numa ampla faixa de temperatura de 20 a 100°C e tem uma capacidade máxima de evaporação de 50 kg/hora.

3.5.1. Condições de Evaporação

Com o fim de apreciar o efeito físico da inativação térmica do grão na viscosidade do produto concentrado, as condições de evaporação mantiveram-se constantes para todas as amostras.

Essas condições foram as seguintes:

Temperatura da camisa de vapor	80°C
Temperatura da câmara de evaporação	36 - 38°C
Pressão da camisa de vapor	- 0,5 kg/cm ²
Pressão da câmara de evaporação	- 0,9 kg/cm ²
Peso do leite a concentrar	12,0 kg
Velocidade de alimentação	27 - 37 kg/h
Tempo de operação	15 - 25 min.

3.6. Medição da Viscosidade

A viscosidade foi medida num viscosímetro rotacional marca CONTRAVES, modelo Rheomat 15, fabricado por CONTRAVES AG, Zurich, Suíça, com rotações variáveis do cilindro entre 5,6 a 352 rpm.

As medições da viscosidade dos diversos leites e concentrados, foram efetuadas num banho de temperatura controlada à 20, 30, 40 e 50°C.

Os valores de viscosidade aparente, obtiveram-se convertendo as leituras do instrumento pelos fatores correspondentes das tabelas 2301 e 2302 fornecidas com o equipamento. Estas tabelas contêm também outros valores com os quais se pode calcular a taxa de deformação e tensão cisalhante.

Estes fatores permitem obter uma melhor informação sobre o comportamento reológico do produto ensaiado.

O leite concentrado, obtido com diversos tempos de inativação, foi diluído com água potável até formar suspensão com conteúdo de sólidos totais de 25, 20, 15 e 10% (P/P) e mediu-se em cada um deles a viscosidade aparente a 30°C.

3.7. *Análises Químicas*

Para as análises químicas da matéria prima, água de maceração, leite de soja e resíduo - foram tomados como base os métodos propostos no Official Methods of A.O.A.C. 9th Edition 1960.

3.7.1. *Sólidos Totais*

Usou-se o método A.O.A.C. 15014. Para a água de maceração, leite concentrado e resíduo foi usada uma amostra de 5-10g.

3.7.2. *Gordura*

Empregou-se o método proposto por BLIGH E.G. e W.Y. DYER em Can. J. Biochem Physiol. 37, 1959.

Este método apresenta grandes vantagens pela sua simplicidade e rapidez, sendo aplicável tanto a produtos animais como vegetais.

3.7.3. *Proteína*

Foi usado o método Micro-Kjeldahl modificado. (Analytical Chemistry Vol 23, (3), 527).

3.7.4. *Carboidratos*

Foram calculados por diferença entre os sólidos totais e a soma de proteína, gordura e cinzas.

3.7.5. *Cinzas*

Utilizou-se o método A.O.A.C. 15016

3.7.6. *Lipoxidase residual*

Ver item 3.2. Inativação enzimática.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nas tabelas e gráficos que se expõem adiante, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de laboratório e nas experiências de Planta Piloto.

As FIGURAS 2, 3 e 4, mostram graficamente as velocidades de absorção de água expressas como taxas de absorção de água, tendo sido utilizada soja de diferentes colheitas.

A TABELA 2, mostra o conteúdo de sólidos e nitrogênio totais da água de maceração. Os valores de nitrogênio total não foram expressos como proteína porque está comprovado que aproximadamente 50% dele, corresponde a nitrogênio não proteico.

A FIGURA 5, mostra a inativação de lipoxidase na farinha e leite de soja. Ambos os produtos foram inativados a 97,5°C em vários tempos.

A TABELA 3, contém valores sobre a composição do leite de soja natural e concentrado obtidos com diferentes tempos de tratamento térmico da matéria prima.

A FIGURA 6, apresenta a extração de sólidos totais e proteína de soja, durante a obtenção de leite de soja em Planta Piloto. Como base do cálculo foram usadas as seguintes relações que se obtiveram de análises da matéria prima:

Conteúdo de sólidos totais: 900 g/kg de soja

Conteúdo de proteína: 370 g/kg de soja.

A extração de sólidos e proteína vem expressa em porcentagem (%) contra o tempo de inativação da matéria prima a 97,5°C.

A TABELA 5, contém dados experimentais de concentração de leite de soja no evaporador CENTRI-THERM. O leite foi obtido a partir de soja inativada por 1, 3, 5, 7 e 10 minutos a 97,5°C.

Os valores de coeficiente global de transmissão de calor K da TABELA 5, foram calculados através da seguinte fórmula:

$$K = \frac{E \cdot r}{A(t_1 - t_2)} \quad (\text{Kcal/cm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C})$$

onde A = superfície de aquecimento (m²) equivalente a 0,09 m² para o evaporador CT . 1B-2

E = Condensado (kg/h)

r = Calor de vaporização (Kcal/kg)

t₁ = Temperatura do vapor (°C)

t₂ = Temperatura do evaporado (°C)

A FIGURA 7, apresenta em 2 gráficos a variação da viscosidade aparente do leite de soja a diversas temperaturas. Para efeito comparativo, em ambos os gráficos, é apresentada a viscosidade do leite de soja obtido sem inativação.

A FIGURA 8, apresenta os resultados da variação da viscosidade aparente de leite de soja com o conteúdo de sólidos. Contém além disso uma curva da viscosidade do leite de soja concentrado em evaporador rotativo a vácuo ("flash evaporator") e outra de leite de vaca concentrado em evaporador de filme descendente convencional.

Finalmente na FIGURA 9, mostra-se um esquema dos equipamentos utilizados e do processo seguido na Planta Piloto para a fabricação de leite de soja durante o presente estudo.

Aminoácido Essencial	Tipos de Leite			
	Soja Tradicional	Soja Comercial	Vaca	Materno
	(g/16g de N)			
Isoleucina	5,1	4,7	7,5	5,5
Leucina	8,3	8,1	11,0	9,1
Lisina	6,2	6,4	8,7	6,6
Metionina	1,4	1,2	3,2	-
Cistina	1,7	0,9	1,0	-
AA Sulfurados Totais	3,1	2,1	4,2	4,0
Fenilalanina	-	5,3	-	-
Tirosina	-	-	-	-
AA Aromáticos Totais	9,0	-	11,5	9,5
Treonina	3,8	3,9	4,7	4,5
Triptofano	1,3	1,1	1,5	1,6
Valina	4,9	5,0	7,0	6,2

Valor Nutritivo (2)

BV	80	87	100
Digestibilidade	95	91	90
NPU	76	79	90
PER	2,0	2,5	

Composição Química (3)

Leite Integral	Água	Proteína	Gordura	Carboidratos	Cinzas
De Vaca	87,4	3,4	3,7	4,8	0,7
De Soja	90,0	3,5	2,8	3,1	0,5

(1) SMITH E CIRCLE. Soybeans: Chemistry and Technology. 1973

(2) DE MEYER E VANDERBOUGHT. 1961

(3) KENT-JONES-AMOS. Modern Cereal Chemistry. 1967.

TABELA 1 - Comparação dos Aminoácidos Essenciais do Leite de Soja com Leite de Vaca e Materno (1)

Solução de Maceração	Temp. °C	SOJA 1 (1971)		SOJA 2 (1973)		SOJA 3 (1974)	
		Sólidos Totais %	Nitrogênio Total %	Sólidos Totais %	Nitrogênio Total %	Sólidos Totais %	Nitrogênio Total %
Água	25	1,55	0,02	1,02	1,02	0,85	
pH 7,4	60	4,21	0,05	4,26	0,10	4,90	
Soln. Bicarb							
nato. 0,5%	25	1,83	0,05	1,43	0,04	0,83	
pH 8,5	60	4,54	0,12	4,23	0,11	5,20	
Polifosfato							
de sódio 0,5%	25	4,25	0,03	1,86	0,03	1,13	
pH 8,4	60	6,55	0,10	4,95	0,11	5,80	

TABELA 2 - Conteúdo de Sólidos e Nitrogênio da Água de Maceração

LEITE

Tempo de inativação (min)	Água %	Sólidos Totais %	Gordura %	Carboidratos %	Proteína %	Cinzas %
0	93,90	6,10	1,51	1,07	3,20	0,32
1	94,15	5,85	1,65	1,67	2,30	0,23
3	94,58	5,42	1,54	2,39	1,31	0,18
5	94,80	5,20	1,54	2,35	1,13	0,18
7	95,76	4,24	1,41	1,55	1,13	0,15
10	96,24	3,76	1,10	1,52	1,01	0,13

LEITE CONCENTRADO (Valores em base seca)

0	66,50	33,50	24,70	19,80	50,20	6,24
1	74,30	24,70	33,00	23,20	38,80	5,80
3	69,40	30,60	28,60	44,00	23,90	5,65
5	71,50	28,50	29,60	45,00	21,70	5,40
7	72,30	27,70	33,40	37,20	25,60	5,32
10	76,40	23,60	29,60	41,30	25,40	4,24

TABELA 3 - Composição do Leite de Soja com Diversos Tempos de Inativação Enzimática da Matéria Prima.

LEITE

Inativação da soja (min)	Peso do leite kg	Sólidos totais %	Sólidos kg	Extração de sólidos %	Proteína %	Proteína kg	Extração da Proteína %
0	13,50	6,10	0,824	45,8	3,20	0,432	58,4
1	13,06	5,85	0,764	42,4	2,30	0,304	41,1
3	12,70	5,42	0,690	38,3	1,31	0,166	22,4
5	12,72	5,20	0,661	36,7	1,13	0,144	19,5
7	12,04	4,24	0,510	28,3	1,13	0,136	18,4
10	12,32	3,76	0,463	25,7	1,01	0,124	16,8

RESÍDUO (BAGAÇO)

0	6,10	14,30	0,872	48,4	4,38	0,267	36,1
1	6,70	12,80	0,856	47,6	4,57	0,306	41,4
3	6,74	12,40	0,834	46,3	4,55	0,307	41,5
5	7,02	12,50	0,880	48,9	4,56	0,320	43,2
7	7,18	11,80	0,850	47,2	4,75	0,341	46,0
10	7,44	12,30	0,920	51,0	4,85	0,361	48,8

TABELA 4 - Extração de Sólidos Totais e Proteína em Leite de Soja.

Inativação da soja (min)	Leite		Vapor		Evaporado		Alimentação		Concentrado		Condensado		(3) k		Leite concentrado	
	kg	% S.T.	(1)p	(2)t	P	t	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg	% S.t.		
0	12,66	6,10	-0,5	80	-0,88	37	37,2	4,2	33,0	4,910	2,84	33,5	2,84	33,5		
1	12,12	5,85	-0,5	80	-0,89	37	31,4	7,2	25,2	3,760	3,22	24,7	3,22	24,7		
3	12,00	5,42	-0,5	80	-0,88	38	27,6	2,4	25,2	3,820	2,44	30,6	2,44	30,6		
5	11,98	5,20	-0,5	80	-0,88	38	27,0	3,0	24,0	3,650	2,42	28,5	2,42	28,5		
7	11,30	4,24	-0,5	80	-0,88	39	27,9	3,3	24,6	3,670	2,18	27,7	2,18	27,7		
10	11,62	3,76	-0,5	80	-0,88	37	27,0	4,8	22,2	3,310	2,50	23,6	2,50	23,6		

(1) p: Pressão em Kg/cm²

(2) t: Temperatura em °C

(3) K: Coeficiente global de transmissão de calor em Kcal/m²h °C.

TABELA 5 - Concentração do Leite de Soja em Evaporador CENTRI-THERM. (Dados experimentais).

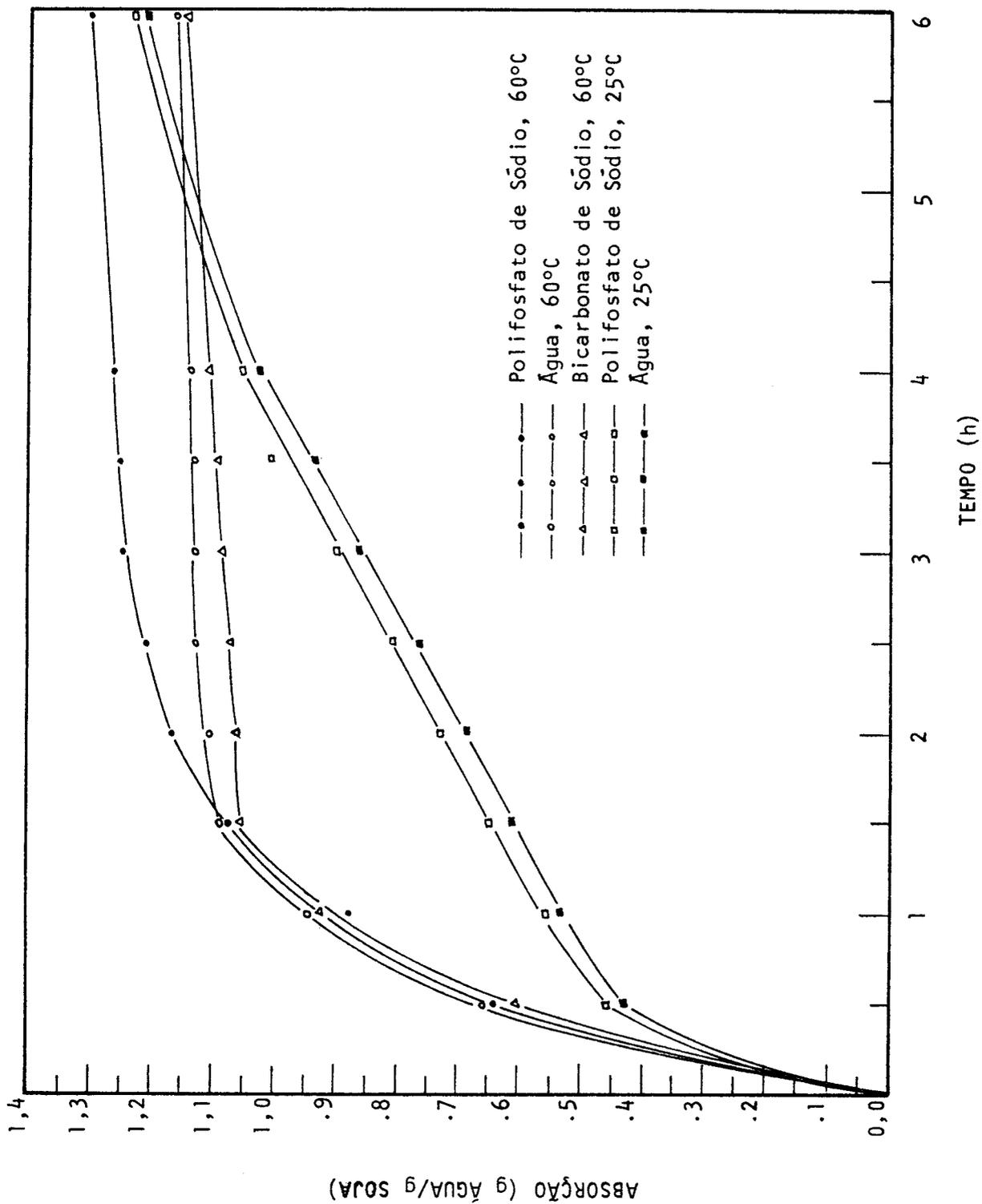


FIGURA 2 - ABSORÇÃO DA ÁGUA DURANTE A MACERAÇÃO. SOJA 1 (1971)

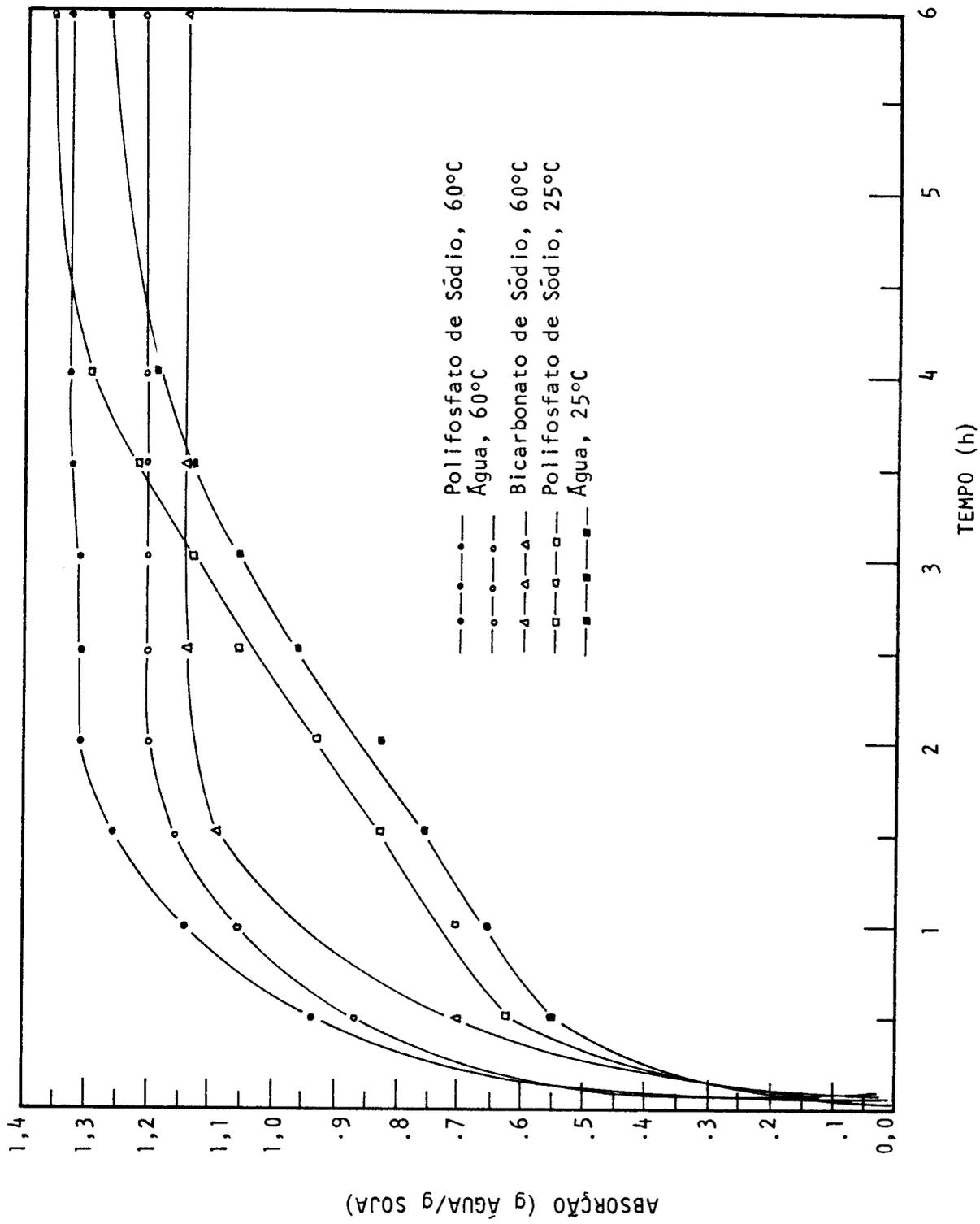


FIGURA 3 - ABSORÇÃO DA ÁGUA DURANTE A MACERAÇÃO. SOJA 2 (1973)

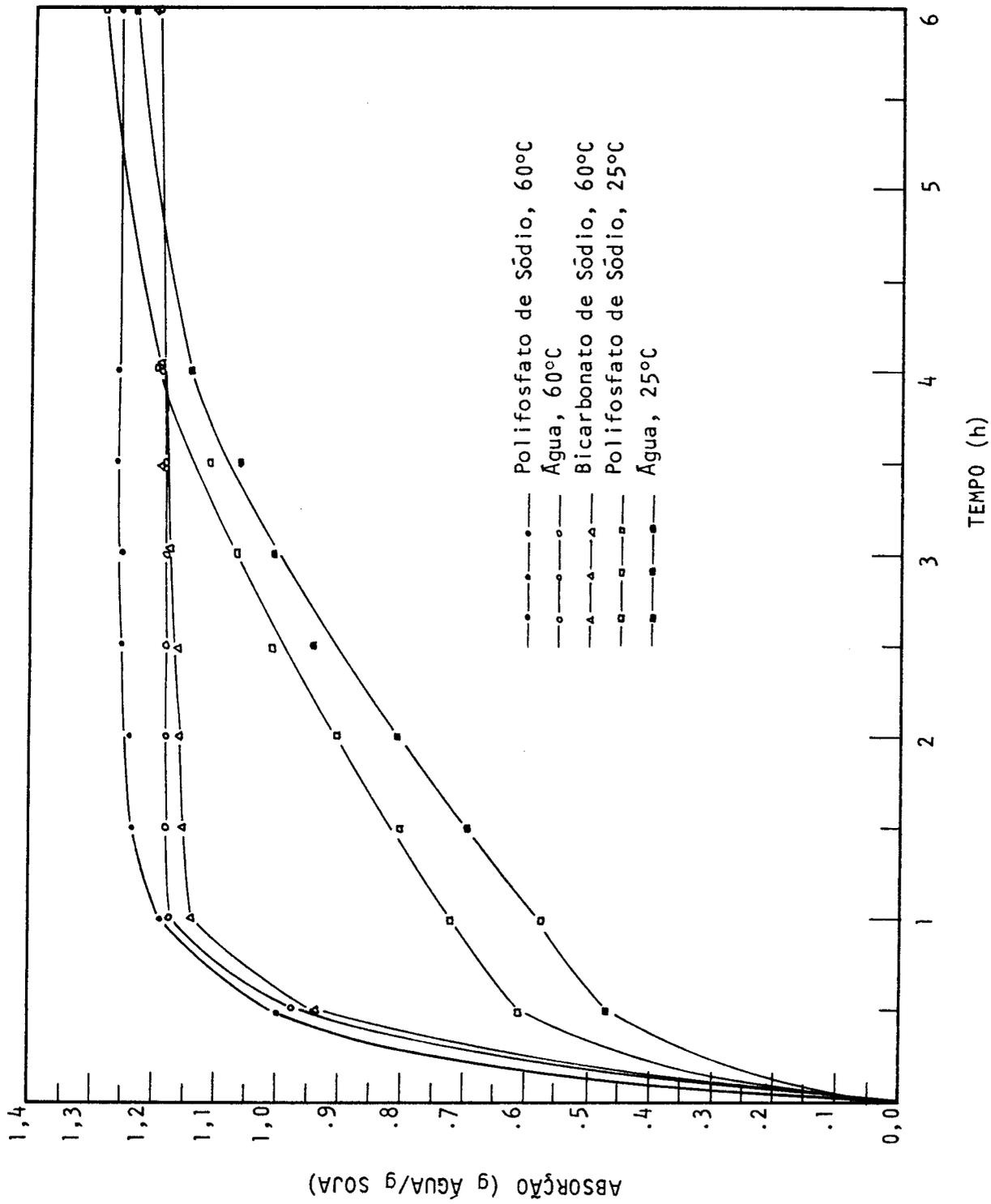


FIGURA 4 - ABSORÇÃO DA ÁGUA DURANTE A MACERAÇÃO. SOJA 3 (1974)

933

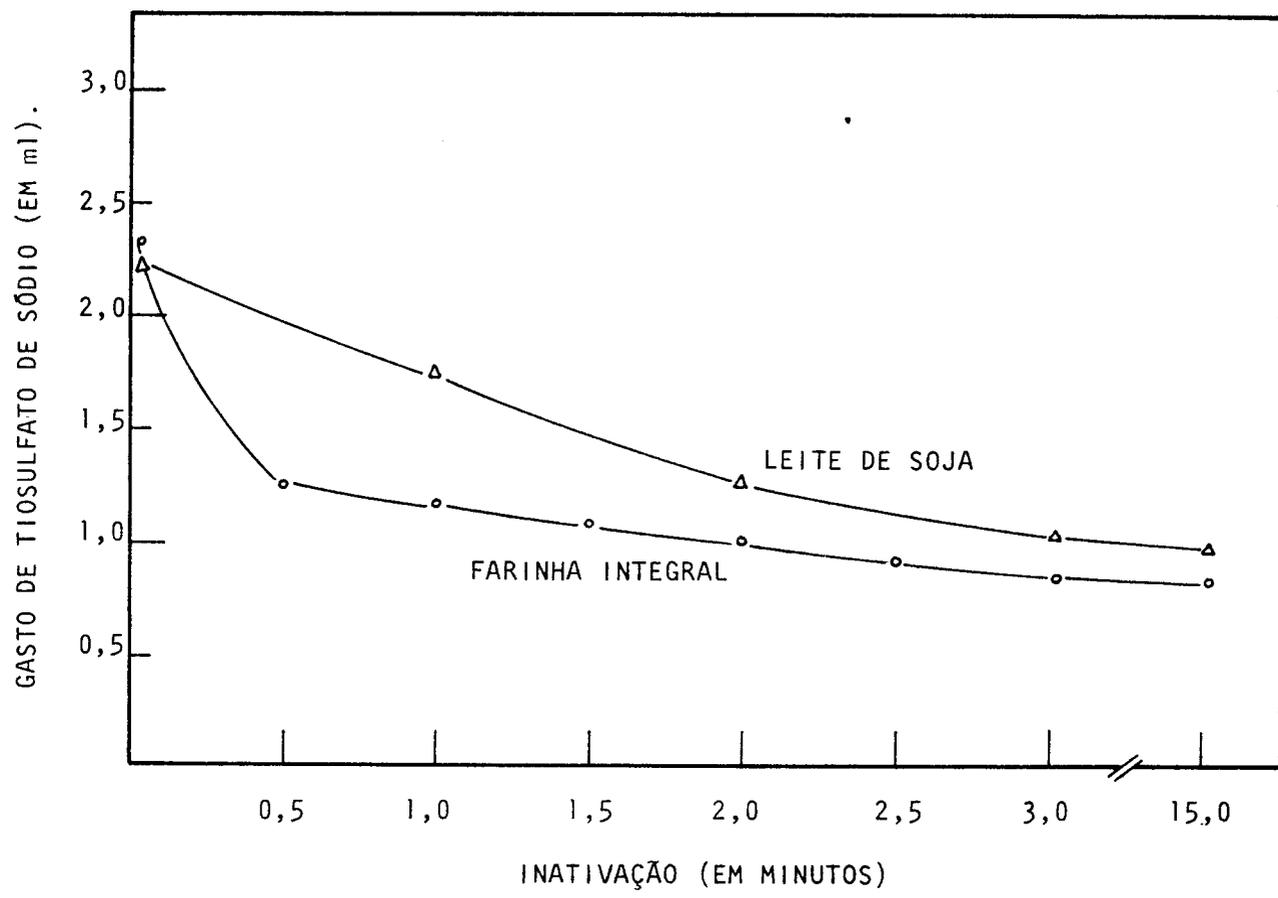


Figura 5 - INATIVAÇÃO DA LIPOXIDADE A 97,5°C

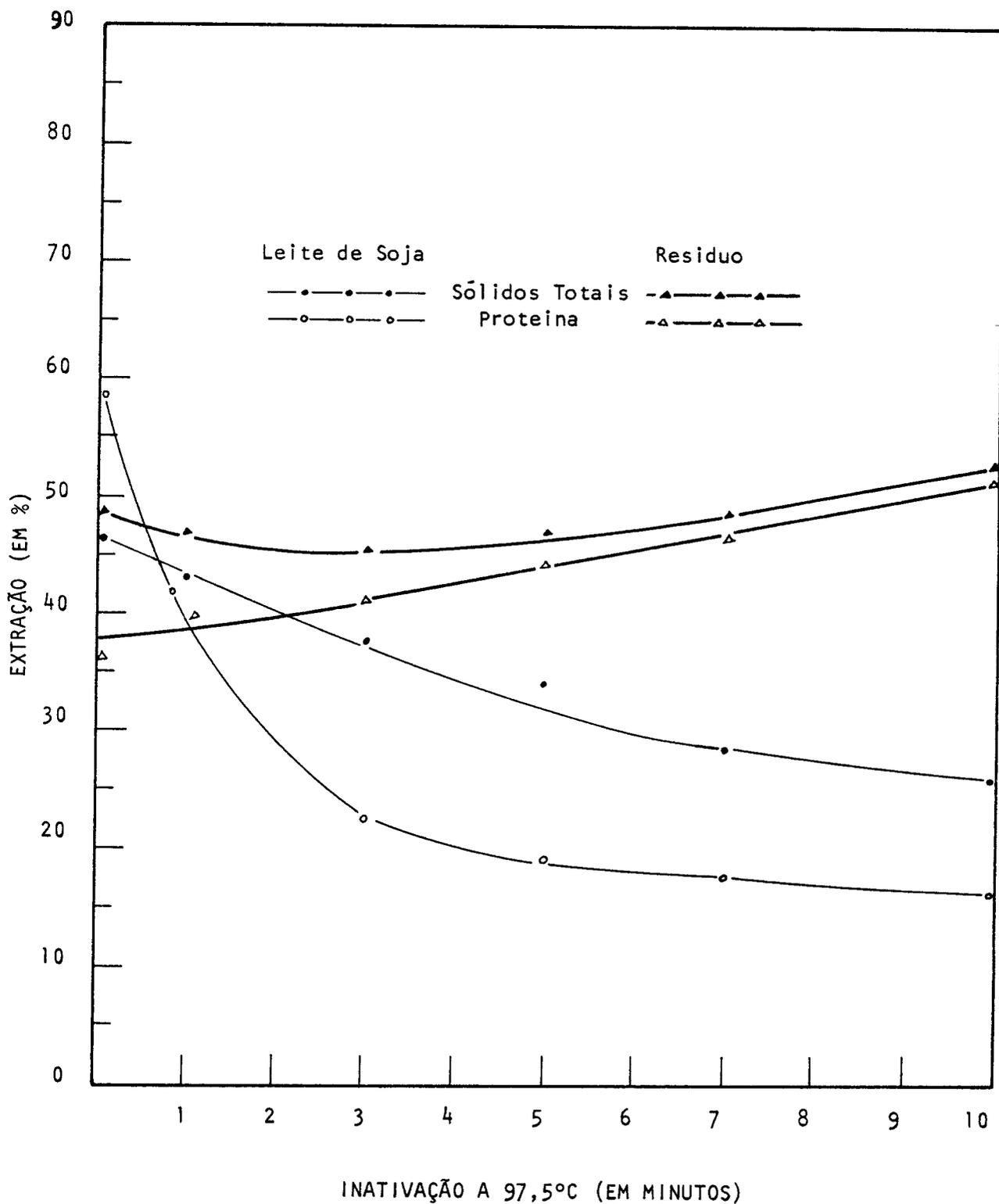


FIGURA 6 - EXTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS E PROTEINA EM LEITE DE SOJA

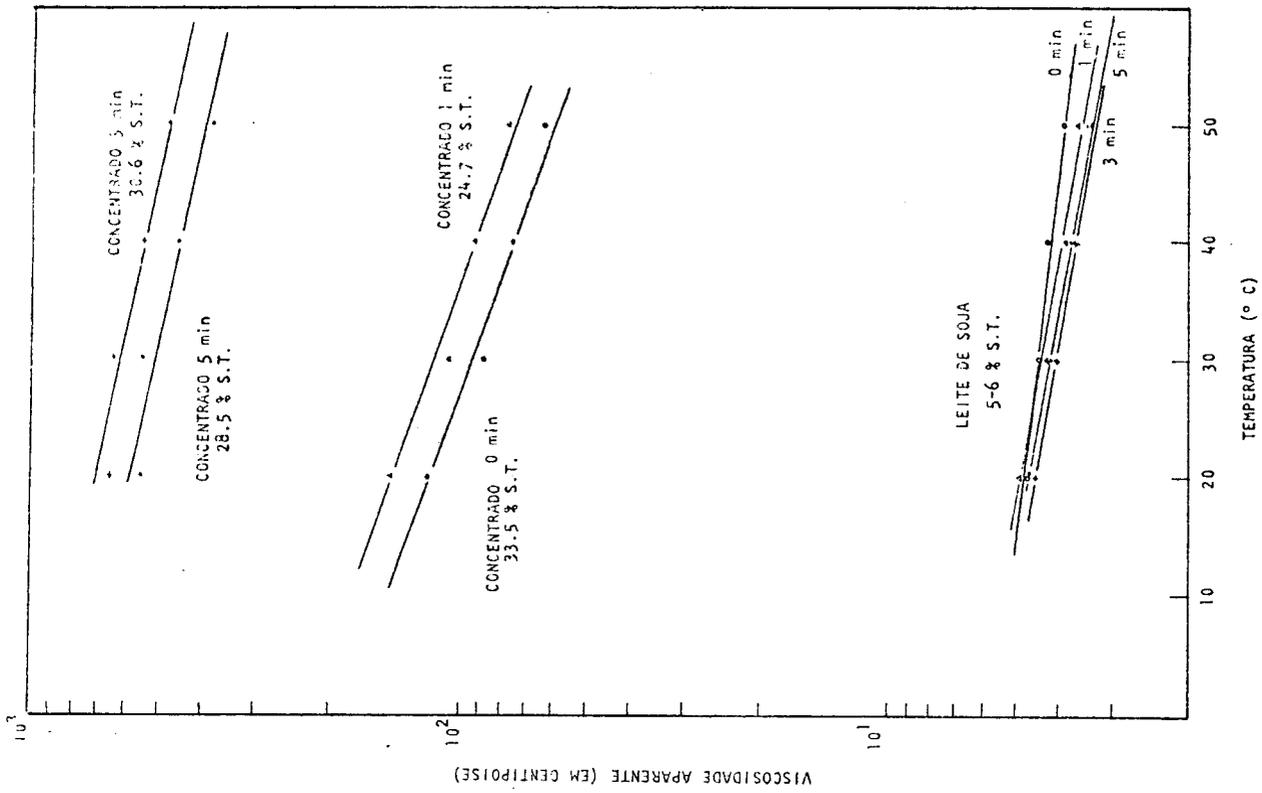
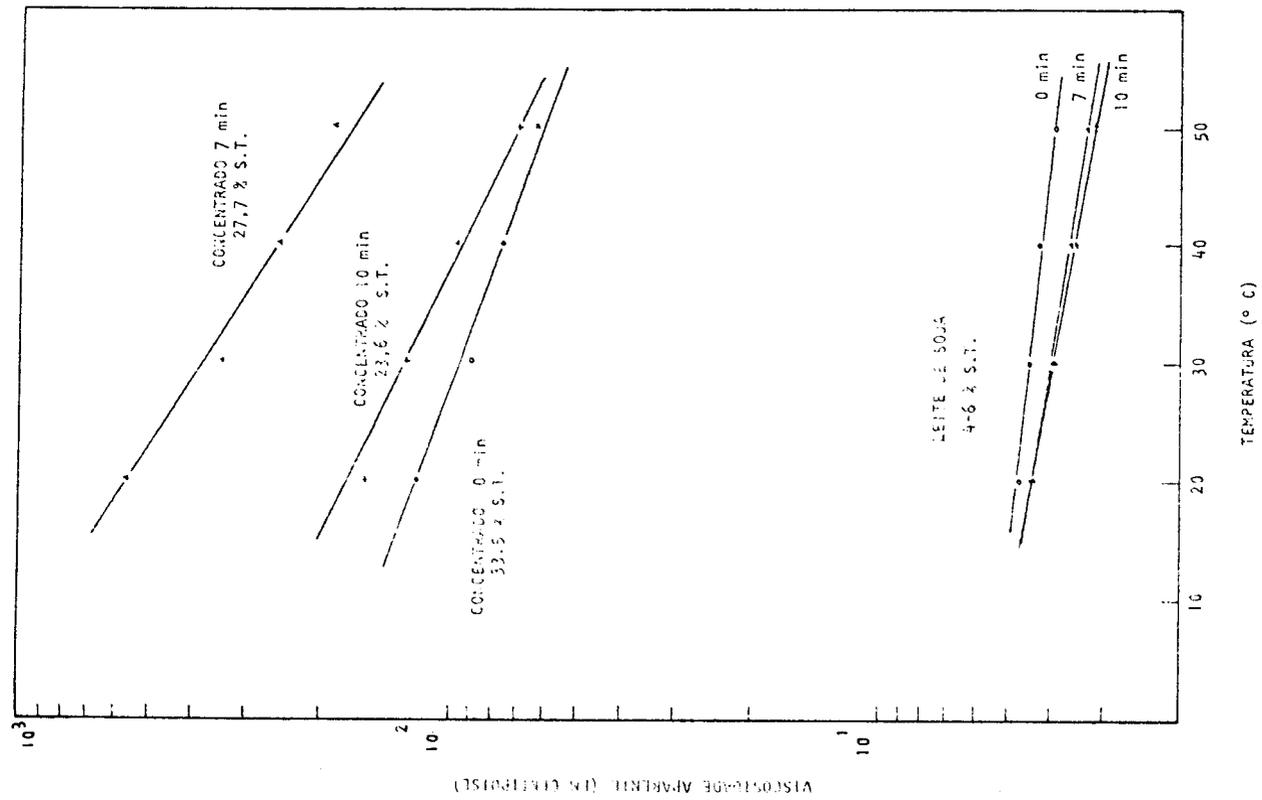


Figura 7 - VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE APARENTE COM A TEMPERATURA EM LEITE DE SOJA

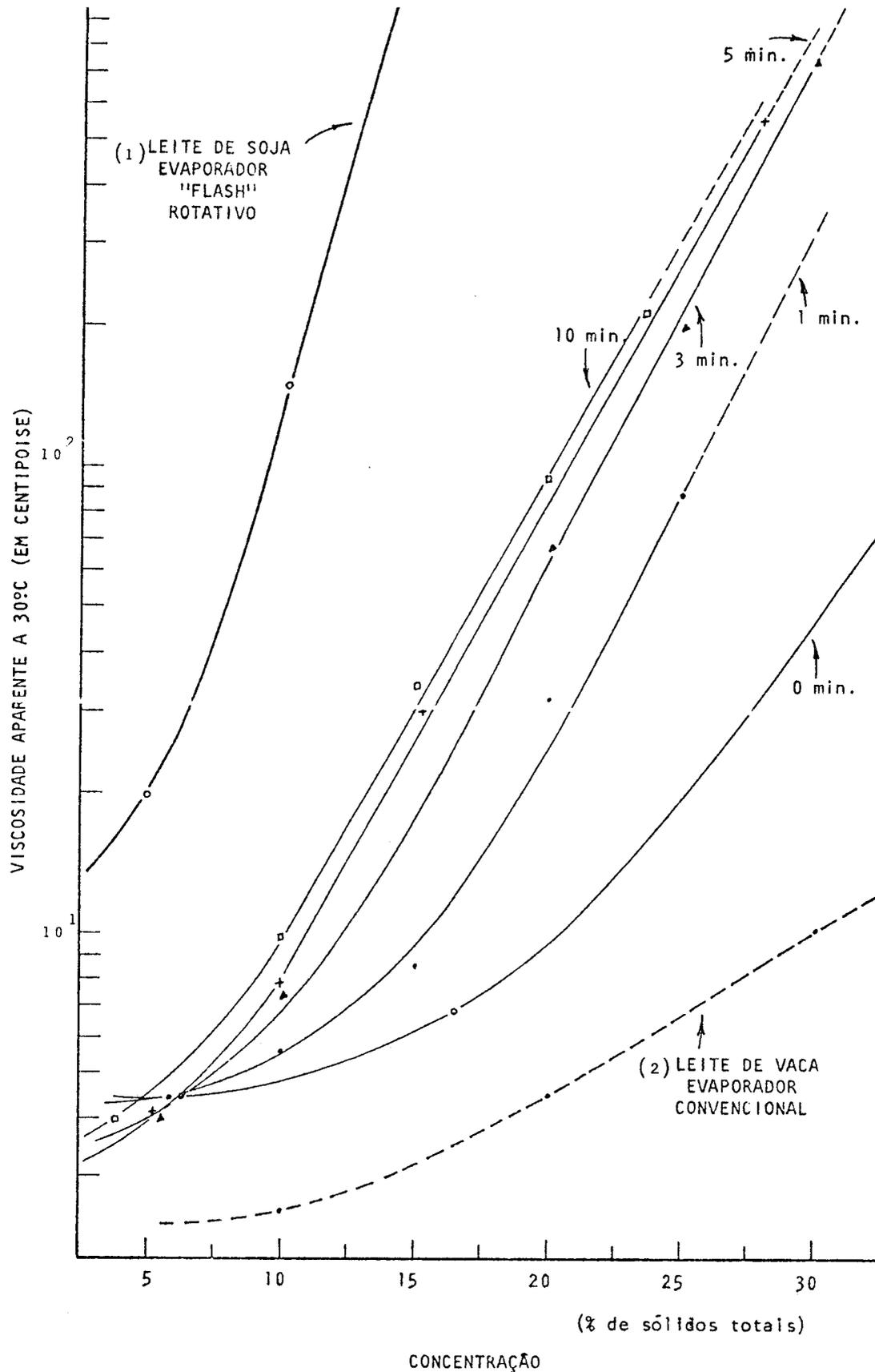


Figura 8 - VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE APARENTE COM A
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS

(1) Lo W-Y (1967)

(2) Eilers, H.R. e col. (1947)

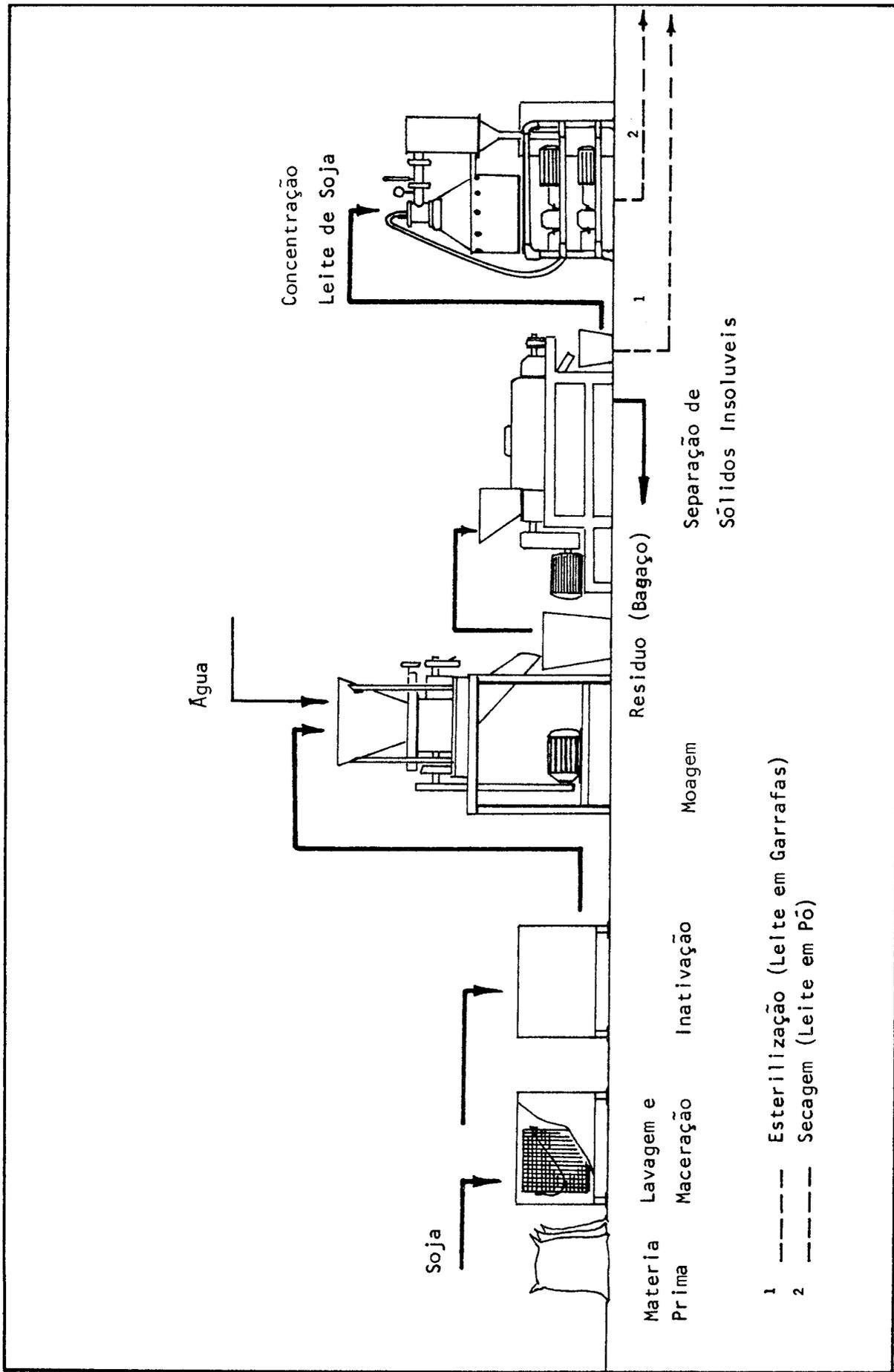


FIGURA 9 - OBTENÇÃO DE LEITE DE SOJA EM PLANTA PILOTO (FLUXOGRAMA)

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. *Estudo da Absorção*

Como foi mencionado nos capítulos anteriores, para a obtenção de leite de soja a partir de grãos inteiros, é necessário efetuar-se uma moagem úmida. Para isso, macera-se a soja previamente e considera-se uma taxa de absorção de 1,0 g de água/g de soja (T.A. de 1,0) tecnicamente adequada para obter um bom grau de extração.

As FIGURAS 2,3 e 4, mostram a influência da temperatura e do meio de maceração nas velocidades de absorção de água de soja de diferentes colheitas (1971, 1973 e 1974).

As FIGURAS 2 e 3 mostram os ensaios realizados com soja de 3 e 1 ano depois da colheita respectivamente. Na FIGURA 3 observa-se que com maceração efetuada a 25°C, a taxa de absorção (T.A.) de 1,0 g de água /g de soja se alcança em 2:40 h com água potável e em 2:20 com solução de polifosfato. Em contrapartida, por maceração a 60°C esta mesma T.A. de 1,0 é alcançada em 50 minutos com água potável e em 40 minutos com solução de polifosfato. Por outro lado a T.A. final ao cabo de 6 h de maceração foi de 1,3 para os polifosfatos contra 1,2 das outras soluções.

A FIGURA 4 mostra o ensaio efetuado com soja recentemente colhida (2 meses). Em maceração realizada a 25°C com água potável a T.A. de 1,0 alcança-se em 3 h. e com solução de polifosfato em 2:30 h. Este mesmo ensaio realizado a 60°C mostra que com água potável a T.A. de 1,0 se alcança em 35 minutos e com a solução de polifosfato em somente 30 minutos. A T.A. final com 6 h de maceração foi maior com os polifosfatos que com as outras soluções.

Os resultados anteriores podem ser comparados aos encontrados por SMITH e NASH (1961) para amostras selecionadas de soja. Eles verificaram T.A. de 1,2 a 1,5 por 6 h de maceração a 25°C.

Aparentemente os fatores que mais influenciaram na velocidade de absorção da água foram os polifosfatos, devido provavelmente a aumentarem a capacidade de hidratação

das proteínas da soja bem como tornando as membranas celulares mais permeáveis, e a temperatura do meio, porque acelera todas as reações de intercâmbio entre o grão e o líquido de maceração e aumenta a permeação através das membranas.

No que diz respeito aos sólidos e material nitrogenado perdidos pela soja durante este processo, pode-se observar na TABELA 2, que a maceração por 6 horas a 60°C, produz uma perda destes materiais 2 a 3 vezes maior que a 25°C. Os resultados desta TABELA concordam parcialmente com os resultados colhidos por LO. W. Y. (1967) na medida em que uma maceração prolongada provoca uma perda considerável de sólidos. Isto também comprova o fato de que a temperaturas maiores, a permeação (osmose) é acelerada.

5.2. Inativação das Lipoxidases

Do ponto de vista alimentício, as enzimas mais importantes da soja são as lipoxidases associadas aos sabores característicos desta leguminosa e os fatores antinutricionais antitripsina e hemaglutinina.

De acordo com a FIGURA 5, que mostra os resultados dos ensaios de inativação das lipoxidases em leite e farinha integral de soja, verificou-se que é suficiente para a eliminação dessas enzimas, que a soja seja previamente macerada e em seguida inativada em água fervente durante 3 minutos.

Estes resultados concordam com o que foi publicado pela maioria dos investigadores como ALBRECHT et al. (1966) e BAKER et al. (1973) que comprovaram que as lipoxidases são as mais termolábeis, entre todas as enzimas da soja.

5.3. Variação da Composição Química do Leite com a Inativação da Soja

A inativação da matéria prima por calor, produz mudanças na composição porcentual do leite de soja obtido com êsses prétratamentos. As mudanças mais notórias são a variação no conteúdo de sólidos totais e de proteína no leite. A TABELA 3 mostra a composição química do leite em relação aos diferentes tempos de inativação da soja.

A partir de soja não inativada obteve-se leite com um conteúdo de sólidos totais de 6,10%. Este valor caiu para 5,85%, 5,42%, 5,20%, 4,24% e 3,76% com 1,3,5,7 e 10

minutos de inativação respectivamente.

O conteúdo de proteína nesse mesmo período diminuiu de 3,20% para 1,0%. Os outros componentes não sofreram uma variação apreciável, donde se conclui que a inativação afeta basicamente as proteínas.

5.4. Extração de Sólidos e Proteína no Leite de Soja

Os resultados da TABELA 4 e FIGURA 6 mostram o efeito que tem a inativação da matéria prima pelo calor, na extração do leite de soja.

Ao inativar soja previamente macerada, por imersão em água a 97,5°C de 1 a 10 minutos produziu-se uma grande variação na extração de sólidos totais que diminuíram de 45,8% a 25,7% enquanto que a proteína baixou de 58,4% para 16,8% nesse mesmo período.

Ao mesmo tempo, o resíduo (bagaço) produzido durante a extração aumentou o seu conteúdo de proteínas de 36,2% para 48,8%.

Apesar dos rendimentos anteriores não serem totalmente representativos em seu valor absoluto, devido às imperfeições mecânicas dos equipamentos utilizados durante os ensaios, existe uma tendência nas curvas de extração que confirma os resultados de BELTER e CIRCLE (1952). Estes investigadores notaram que a inativação térmica tem um profundo efeito nas propriedades físicas da proteína da soja, efeito que se manifesta por uma drástica diminuição da sua solubilidade.

5.5. Concentração do Leite de Soja em Evaporador Centri-Therm (Efeitos no Aparelho)

O evaporador Centri-therm apresenta numerosas vantagens técnicas, sendo algumas delas a de evaporar a baixa temperatura e em curto tempo. Por esta razão os danos causados durante a concentração a produtos termosensíveis são consideravelmente reduzidos.

Durante as experiências de concentração, observou-se uma forte diminuição da capacidade evaporadora do aparelho a medida que aumentava o tempo de inativação da soja.

Na TABELA 5, pode-se observar que o coeficiente global de transmissão de calor do evaporador (fator K) ao concentrar leite de soja, sem inativação dos grãos, diminuiu de $4.910 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ para $3.490 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ quando se concentrou leite obtido com 10 minutos de inativação da soja.

Como um tratamento térmico mais severo provoca modificações em maior quantidade nas proteínas e como nem todas as proteínas do leite obtido são solúveis, mas sim, grande parte delas estão somente em suspensão, este leite assim tratado apresenta uma viscosidade maior.

Como resultado desta maior viscosidade, a película formada no cone durante a evaporação será forçosamente mais espessa o que resulta em um menor coeficiente de transmissão de calor. Além disto, inspeções visuais do evaporador depois da concentração, mostraram a formação de uma camada de produto na superfície do cone centrífugo. Esta camada age como um isolante térmico e provoca em consequência disso uma menor eficiência do aparelho.

Variação da Viscosidade Aparente com a Temperatura (Efeitos no Produto)

O GRÁFICO 7 mostra a variação da viscosidade aparente com a temperatura do leite de soja natural e concentrado, obtido com diversos tempos de inativação da matéria prima.

Foram estudadas diversas medições da viscosidade aparente deste produto em banho de temperatura controlada a 20°C , 30°C , 40°C e 50°C .

A temperatura não afetou de forma apreciável a viscosidade do leite de soja natural com 4-6% de sólidos. A viscosidade diminuiu levemente de 4,5 para 3,5 centipoise tendo portanto nesta concentração um comportamento tipicamente Newtoniano.

Pelo contrário, o leite de soja concentrado, apresentou uma variação maior na sua viscosidade aparente com o aumento de temperatura. Esta mudança de viscosidade foi tanto mais notória quanto maior o tempo de inativação da soja.

O GRÁFICO mostra que as curvas do produto concentrado obtido com 7 e 10 minutos

de tratamento apresentam uma declividade maior que as obtidas com 1,3 e 5 minutos de inativação da soja.

Por outro lado, durante este mesmo ensaio foram efetuadas medições nas quais o produto foi submetido a uma deformação constante durante um tempo dado (10 minutos) e foram tomadas medidas a intervalos constantes de 1 minuto. Estes ensaios mostraram que a viscosidade aparente do leite concentrado depende do tempo e o produto apresenta um elevado grau de tixotropia.

Variação da Viscosidade Aparente com a Concentração

O GRÁFICO 8 mostra a variação da viscosidade aparente com o aumento da concentração do leite obtido com diversos tratamentos térmicos da soja.

O GRÁFICO mostra claramente que o aumento de sólidos totais no leite, devido à concentração, afeta violentamente a sua viscosidade de tal maneira que um aumento de 5 a 6 vezes na concentração do produto produz uma alteração na sua viscosidade de 40 a 150 vezes. Este fenômeno começa a ser notado em concentrações acima de 10% de sólidos totais.

Ao mesmo tempo pode-se notar que a inativação da soja por calor, também afeta severamente a viscosidade do leite. Com efeito, o leite de soja obtido sem tratamento com 6% de sólidos iniciais (0 min.) modificou a sua viscosidade aparente de 4 centipoise para 30 centipoise no concentrado com 27% de sólidos. Em contrapartida, a viscosidade aparente do leite com 4-5% de sólidos iniciais obtido com 1,3,5, e 10 minutos de inativação variou de 4 centipoise a 170, 400, 500 e 600 centipoises, respectivamente, no concentrado com 27% de sólidos.

Estas drásticas variações, na viscosidade aparente do leite de soja, demonstram que este produto passa de um comportamento Newtoniano no estado inicial para um comportamento tipicamente não Newtoniano em concentrações mais elevadas.

Esta forte variação na viscosidade é devida por um lado ao maior conteúdo de proteína e interação das mesmas com outros compostos do produto concentrado e por outro lado à desnaturação destas por efeito da inativação térmica da soja.

Tendo em vista complementar estes dados, foi traçado neste mesmo GRÁFICO a curva da viscosidade aparente do leite de soja concentrado num evaporador "flash" rotativo bem como a do leite de vaca concentrado num evaporador convencional.

Nestas curvas a viscosidade aparente do leite de soja com 5% de sólidos iniciais varia de 20 centipoises para 190.000 centipoises com 27% de sólidos. Pelo contrário, o leite de vaca varia de 2,5 centipoises a 9 centipoises nos mesmos níveis de concentração.

Estas duas curvas mostram a enorme diferença na viscosidade aparente dos dois produtos e as dificuldades técnicas que se encontram ao se concentrar leite de soja.

6. CONCLUSÕES

1. O processo tradicional de obtenção de leite de soja empregando grãos inteiros, pode ser acelerado consideravelmente se a maceração for efetuada a 60°C. Pode ser considerada além disso, a adição de polifosfatos ao meio de maceração por que estes sais além de melhorarem a capacidade de hidratação da soja, aparentemente contribuem para uma melhor extração das proteínas.
2. O tempo de 30 minutos a 100°C, normalmente empregado para inativar a soja e eliminar os fatores antinutricionais pode ser modificado. Com efeito, inativando-se a soja durante 3 minutos em água fervente destroem-se as lipoxidases associadas aos sabores desagradáveis da soja e consegue-se um rendimento aceitável de extração de proteínas. Uma vez extraído o leite, as proteínas em dispersão aquosa apresentam uma elevada resistência ao calor e podem eliminar-se então os outros fatores antinutricionais que requerem maior tempo de inativação.
3. O evaporador Centri-Therm pode ser usado para concentrar o leite de soja, já que a desnaturação sofrida pelo produto durante a concentração é mínima e consegue-se obter um produto com uma viscosidade tecnicamente aceitável mesmo a níveis de concentração de 30% de sólidos.
4. O fenômeno da diminuição da viscosidade aparente com a temperatura e com a deformação que se apresenta no produto concentrado pode ser aproveitado no desenho de aparelhos como, intercambiadores, agitadores e bombas de uma planta de extração de leite de soja.
5. O leite de soja passa de um comportamento Newtoniano em estado natural com 4-6% de sólidos para um comportamento de líquido não Newtoniano ao ser concentrado a níveis superiores a 10% de sólidos totais.
A variação exponencial da sua viscosidade deve ser cuidadosamente considerada se se pretende secar este produto por atomização para obter leite em pó.

Sabe-se que um produto ao ser submetido a secagem por "spray", terá maior densidade aparente quanto maior for sua concentração inicial.

No caso de leite de soja, quanto maior a concentração final atingida, maior será sua densidade aparente. Isto proporciona economia em embalagem, no espaço de estocagem, no volume de transporte, e sobretudo no processo, além disso o produto final apresenta maior facilidade de resolubilização.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.O.A.C. 1960 - Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemist. 9th Edition. Washington.
2. ALFA-LAVAL. Instruction Book. Evaporating Plant Type Centri-Therm CT-1B- 2 Sweden.
3. ALBRECHT, W.J. e C.C. MUSTAKAS. 1966. Rate Studies on atmospheric steaming and immersion cooking of soybean. Cereal Chem. 43: 400 - 407.
4. ALTSCHUL, A. M. 1958. Processed plant protein foodstuffs. Academic Press Inc. Publisher. New York.
5. BLIGH, E.G. e W.J. DYER. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Bio. Chem. Physiol. 37: 911 - 917.
6. BELTER, P. A. e A. K. SMITH. 1952. Protein denaturation in soybean meal during processing. J. Am. Oil Chemist's. Soc. 29: 170 - 174.
7. BAKER, E. C. e G. C. MUSTAKAS, 1973. Heat inactivation of trypsin inhibitor liposygenase and urease in soybeans. Effect of acid and basic additives. J. Am. Oil. Chemist's Soc. vol. 50, 5: 137 - 141.
8. BECKEL, A. C., P. A. BELTER e A. K. SMITH. 1946. Effect of temperature and water - flakes ratio on soybean protein production. Ind. Eng. Chem. 38: 731 - 734.
9. BORCHER, R. e G. W. ACKERMAN. 1950. The nutritive value of legume seeds. Effect of autoclaving and trypsin inhibitor test for 17 species. J. Nutrition 41: 339 - 346.
10. CIRCLE, S. J., F. W. MEYER e R. W. WITNEY. 1964. Rheology of soy protein dispersions. Effect of Heat and others factor on gelation. Cereal Chem. 41: 157 - 172.

11. CATSIMPOOLAS, N. e E. W. MEYER. 1970. Gelation phenomena of soybeans globulins. I. Protein - Protein interactions. Cereal Chem. 47: 559 - 570.
12. CONTRAVES INDUSTRIAL PRODUCTS LTD. 1968. Measurement of rheological properties. Contraves A. G. Zurich.
13. DINSDALE, A. e F. MOORE. 1962. Viscosity and its measurement. The Institute of Physics and The Physical Society. Chapman and Hall, London
14. DUTRA DE OLIVEIRA, J. E. e L. SCATENA. 1967. Nutritional Value of protein from a soybean milk powder. J. Food Sci. 32: 592 - 594.
15. DOURING, F. 1974. Soybean. Scientific American 2: 14 - 21.
16. FERRY, J. D. 1948. Protein gels. Advances in Protein Chem. IV, 1 - 78.
17. GEIDA, 1973. - Contribuição ao Desenvolvimento da Agroindústria - Soja V - CONVÊNIO GEIDA/FCTPTA. Campinas - Brasil.
18. HAYWARD, J. W., H. STENBOCK e G. BOHSTEDT. 1936. The effect of cystine and casein supplement upon the nutritive value of the protein of raw and heated soybeans. J. Nutrition 12: 275.
19. HAND, D. B., K. H. STEINKRAUS, J. P. VAN BUREM, L. R. HACKLER, I. EL RAWI e H. R. PALLESEN. 1964. Pilot plant studies on soy milk. Food Technol. 24: 102 - 108.
20. HACKLER, L. R., J. P. VAN BUREN, K. H. STEINKRAUS, I. EL RAWI., e D. B. HAND 1965. Effect of heat treatment on nutritive value of soy milk protein fed to weanling rats. J. Food Sci. 30: 723 - 728.
21. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1973. Anuário Estatístico do Brasil 1973. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Rio de Janeiro - Brasil.

22. KUNITZ, M. 1947. Crystalline soybean trypsin inhibitor. J. Gen. Physiol. 30: 291 - 310.
23. LIENER, I. E. - 1951. The intraperitoneal toxicity of concentration of the soybean trypsin inhibitor. J. Biol. Chem. 193: 183 - 191.
24. LIENER, I. E. - 1962. Toxic factors in edible legumes and their elimination. Am. J. Clin. Nutr. 11: 281 - 298.
25. LO, W. Y. 1967. - Factors relating to extraction, concentration and sterilization of soy milk. Thesis Cornell University. New York.
26. LO, W. Y., K. H. STEINKRAUS e D. B. HAND. 1968. Concentrations of soy milk. Food Technol. 22: 96 - 98.
27. MELNICK D., B. OSER e S. WEISS. 1946. Rate of enzymes digestion of proteins as a factor in nutrition. Science. 103: 326 - 329.
28. MUSTAKAS, G. C., W. J. ALBRECHT, G. N. BOOKWALTER, J. E. Mc. GUEE, W. F. KWOLEK, e E. L. GRIFFIN JR. 1970. Extruder processing to improve nutritional quality, flavor and keeping quality of fullfat soy flour. Food Technol. 24: 102 - 108.
29. NAGER, R. H., H. C. BECKER e R. T. MILNER, 1938. Some Physical factors affecting the dispersion of proteins in water. Cereal Chem. 15: 463 - 471.
30. OSBORNE T. B. e G. F. CAMPBELL. 1917. The use of soybean as food. J. Biol. Chem. 32: 369-387.
31. RACKIS, J. J. - 1966. Soybean Trypsin inhibitors. Their inactivation during meal processing. Food Technol. 20: 1482 - 1484.
32. SMITH, A. K. e S. J. CIRCLE. 1938. Peptization of soybean proteins Extraction of nitrogenous constituents from oil free meal by acids and bases with and without added salts. Ind. Eng. Chem. 30: 1414 - 1418.

33. SMITH, A. K, S. J. CIRCLE e G. H. BROTHER. 1938. Peptization of neutral salts on the quality of nitrogenous constituents extracted from oil free- J. Am. Chem. Soc. 60: 1316 - 1320.
34. SMITH, A. K. e A. M. NASH. 1961. Water absorption of soybeans. J. Am. Oil Chemist's Soc. 38: 120 - 123.
35. TAN, B, H. 1958. Technology of soy milk and some derivatives. Thesis. Agr. University of Wageningen - Netherland.
36. TOMBS, M. P. 1967. Protein bodies of the soybean - Plant Physiol. 42: 797 - 813.
37. WILKENS, W. F., L. R. MATTICK e D. B. HAND. 1966. Effect of processing method on oxidative off-flavors of soy milk. Food Technol. 21: 86-89.
38. WILKENS, W. F. e L. R. HACKLER - 1969. Effect of processing conditions on the composition of soy milk Cereal Chem. 46: 391 - 396.
39. WOLF, W. J. - 1966. Trypsin inhibitor, hemagglutinin, saponins and isoflavones of soybean - Proc. of Int. Conf. on Soybean Prot. Foods. USDA Northern Regional Research Lab. Peoria, Illinois Oct. 17 - 19.
40. WOLF, W. J. - 1970. Soybeans Proteins Their functional, Chemical and physical properties. J. Agr. Food. Chem. 18: 969 - 976.
41. WHITAKER, J. R. 1971. An Introduction to Enzymology. University of California, Davis. U.S.A.
42. YAN, T. C. - 1927. Studies of the physical and chemical properties of soy milks. Thesis Cornell University. New York.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Roberto Hermínio Moretti pela entusiasta orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. André Tosello, Diretor da Faculdade de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

A Organização dos Estados Americanos.

A Fundação Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos, muito especialmente ao Professor Fumio Yokoya.

Ao Instituto de Fomento Pesquero, Chile.

Aos amigos Eduardo e Manuela Ferrandis pela tradução da tese.

Aos amigos, Vandí, Elza, Cris, Júlia e José Antonio, pela dedicação dispensada no desenvolvimento dos serviços gráficos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.