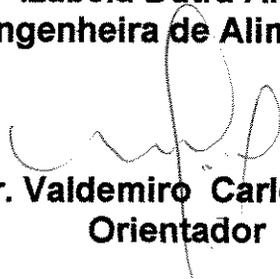


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO ALIMENTAR E NUTRIÇÃO**

**EFEITO DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA SOBRE PROPRIEDADES
FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS DE FARINHAS À BASE DE MILHO,
CASEÍNA E DERIVADOS DE LEVEDURA**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de
Alimentos da Universidade
Estadual de Campinas, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Ciência da
Nutrição.

**Izabela Dutra Alvim
Engenheira de Alimentos**



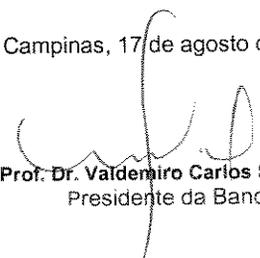
**Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
Orientador**

Campinas, maio de 2001

PARECER

Este exemplar corresponde à
redação final da tese defendida
por **Izabela Dutra Alvim**
aprovada pela Comissão
Julgadora em 17 de agosto de
2001.

Campinas, 17 de agosto de 2001



Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
Presidente da Banca

UNIDADE	PC
N.º CHAMADA:	T/ UNICAMP
	AL 88 e
V.	Ex.
TOMBO BC/	46253
PROC.	16-392101
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC*	R\$ 11,00
DATA	13/09/01
N.º CPD	

CM00159621-5

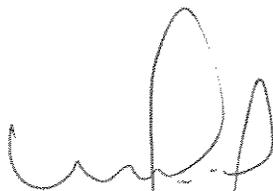
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

AL88e *Alvim, Izabela Dutra*
Efeito da extrusão termoplásmatica sobre propriedades funcionais e nutricionais de farinhas à base de milho, caseína e derivados de levedura / Izabela Dutra Alvim. – Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Valdemiro Carlos Sgarbieri
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Leveduras. 2. Autólise. 3. Extrusão. 4. Farinha de milho.
I. Sgarbieri, Valdemiro Carlos. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Membros da Banca Examinadora da Dissertação apresentada junto à Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas.



.....
Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
Universidade Estadual de Campinas
Presidente



.....
Dr. Flávio Luiz Schimidt
Instituto de Tecnologia de Alimentos
Membro Titular



.....
Vera Lúcia Signorelli Baldini
Instituto de Tecnologia de Alimentos
Membro Titular

.....
Flávia Maria Netto
Universidade Estadual de Campinas
Membro Suplente

*“Eu sonho com as coisas que
nunca existiram e digo:
Porque não?”*

George Bernard Shaw

Aos meus pais Celeste e Dornelas.

Aos meus irmãos Anabela, Bruno e Eduardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Sgarbieri pela motivação constante, apoio e confiança nesses anos de convivência.

A Copersucar nas pessoas de Carlos Russel, Stela, Karl, Ghiraldini, Dionísio e Atil não só pelo apoio técnico como também pelo companheirismo e incentivo constantes.

A FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao ITAL pela disponibilização das instalações para execução dos trabalhos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Yon Kill e a todos do Laboratório de Cereais da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp (Carol, Camila, Leonard, Isabella, Ricardinho, Álvaro) pela acolhida e pelo suporte técnico.

A Daniela pelo apoio essencial nos meses de trabalho experimental.

Aos meus irmãos Anabela, Bruno e Eduardo pelo auxílio ocasional.

A “Turma da levedura” pela dedicação e companheirismo. As “Turmas do Leite e do Sangue” pela torcida, amizade e carinho. A “Turma da Bioquímica” pelo incentivo, amizade e suporte técnico.

Ao Flávio e ao Alfredo pela camaradagem e conversas que ampliaram meus conhecimentos.

A Vera Baldini e Eunice Yamada pela colaboração na correção do boneco e sugestões preciosas.

Ao Plínio, e “pai” João pela paciência, solicitude e, é claro, pelas risadas.

A todos meus amigos sem os quais eu não iria muito longe.

Ao Junior pelo amor, carinho e paciência.

A minha família pelo amor, paciência e constante incentivo.

Aos meus pais por sempre terem me incentivado a seguir meus sonhos.

A todos que de alguma forma me ajudaram a concretizar esse trabalho

A Deus por ter criado esse mundo repleto de maravilhas a serem exploradas!

4.3	Determinações físicas e químicas	44
4.3.1	Composição centesimal	44
4.3.2	Composição em aminoácidos	45
4.3.3	Determinação do triptofano	46
4.3.4	Determinação do Índice de Absorção de Água e Índice de Solubilidade em Água	46
4.3.5	Viscosidade	47
4.4	Caracterização sensorial das farinhas extrusadas e de sopa tendo as farinhas extrusadas como base da formulação	49
4.4.1	Sopas	50
4.5	Ensaio Biológico	51
4.6	Análise estatística dos resultados	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	Obtenção e processamento da levedura	53
5.2	Produção das farinhas	54
5.2.1	Definição dos parâmetros de extrusão	54
5.2.2	Definição do nível de adição de derivados de levedura e caseína	59
5.2.3	Produção e caracterização física das farinhas com as formulações escolhidas	66
5.3	Análise Sensorial	75
5.4	Composição centesimal	81
5.5	Perfil de Aminoácidos	82
5.6	Avaliação nutricional	85
5.6.1	Digestibilidade	85
5.6.2	PER e NPR	87
5.6.3	Ganho de Peso	91
6.	CONCLUSÕES	93
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
8.	BIBLIOGRAFIA	97

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Representação esquemática em corte longitudinal de um extrusor.....	19
Figura 2: Processo de lavagem das células de levedura	34
Figura 3: Fluxograma do processos de autólise, fracionamento e secagem do autolisado, extrato e parede celular	37
Figura 4: Curva de viscosidade típica gerada pelo Viscoanalyzer em função do tempo e da temperatura	48
Figura 5: Representação gráfica dos graus de expansão radial da farinha de milho (F), farinha de milho com 5% de autolisado (FA) ou extrato de levedura (FE), extrusadas em diferentes temperaturas (130 e 170°C) e teores de umidade (20, 25 e 30%)	56
Figura 6: Grau de expansão radial da farinha de milho adicionada de diferentes proporções de autolisado ou extrato de levedura, ou ainda, extrato ou autolisado mais caseína, extrusada a 170°C com diferentes teores de umidade	60
Figura 7: Índices de solubilidade em água e de absorção de água de farinhas extrusadas a 170°C, a 22 e 25% de umidade inicial e diferentes composições	63
Figura 8: Graus de expansão radial da farinha de milho extrusada e das farinhas mistas adicionadas de autolisado ou extrato de levedura (10% p/p) ou adicionadas de derivados de levedura e de caseína (10/10% p/p)	67
Figura 9: Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) de farinha de milho crua e extrusada e farinhas mistas extrusadas, processadas a 170°C e 25% de umidade	68
Figura 10: Curvas de viscosidade (centipoise - cP) das farinhas em função do tempo (min) e da temperatura (°C), para farinhas cruas e extrusadas (170°C e 25% de umidade)	72
Figura 11: Viscosidade final das farinhas de milho crua e extrusada e de farinhas mistas extrusadas	74
Figura 12: Índices de valor protéico (PER e NPR) para ratos alimentados com dietas contendo farinha de milho crua e extrusada e farinhas mistas extrusadas, como única fonte de proteína da dieta(8%): F ₂₅₁₇₀ , farinha de milho extrusada; Fcrua, farinha de milho crua; FE/FA, farinha de milho com 10% de extrato ou autolisado de levedura; FEC/FAC, farinha mista com 10% de extrato ou autolisado de levedura mais	

10% de caseína	88
Figura 13: Curvas de crescimento para ratos em dieta contendo farinha de milho crua ou extrusada, e farinhas mistas contendo derivado de levedura ou derivados de levedura/caseína: Fextr, farinha de milho extrusada; Fcrua, farinha de milho crua; FE/FA, farinha de milho com 10% de extrato ou autolisado de levedura; FEC/FAC, farinha mista com 10% de extrato ou autolisado mais 10% de caseína	91
Tabela 1: Tipos de ligações covalentes possíveis de serem formadas no processo de extrusão (STANLEY, 1989)	25
Tabela 2: Variáveis independentes adotadas na extrusão para as farinhas: F – farinha pura, FE – farinha mais 5% de extrato de levedura, FA – farinha mais 5% de autolisado de levedura	40
Tabela 3: Composição e condições de extrusão das várias farinhas mistas obtidas	43
Tabela 4: Formulação de sopa instantânea (quantidade para preparo de 1 litro de sopa).....	50
Tabela 5: Composição geral das dietas comparadas à AIN-93G (composição para 1kg de dieta	51
Tabela 6: Composição centesimal média, em base seca, e índices biológicos determinados para o autolisado e o extrato de levedura.....	54
Tabela 7: Resultados obtidos nos testes de ordenação quanto à preferência em relação ao sabor e de aceitabilidade global e quanto ao teor de sal das amostras de sopa de fubá. Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de erro de 5%.....	78
Tabela 8: Porcentagem de aceitação, indiferença e rejeição das amostras de sopas cremosas segundo aspectos avaliados..	80
Tabela 9: Composição centesimal média das farinhas de milho crua e extrusada e de farinhas mistas extrusadas	81
Tabela 10: Perfis de aminoácidos das farinhas de milho (crua e extrusada) e das farinhas mistas extrusadas (g/100g de proteínas)	83
Tabela 11: Digestibilidade Verdadeira (Dv) da proteína das farinhas de milho crua e extrusada e das farinhas mistas extrusadas	86
Tabela 12: Escore de aminoácidos essenciais (EAE) e PDCAAS ¹ para farinhas de milho crua e extrusada e farinhas mistas	90

RESUMO

O principal objetivo desse trabalho foi mostrar a possibilidade de aplicações de derivados de levedura na produção de uma base para sopa constituída de farinha de milho adicionada de produtos de levedura e caseína e submetida ao processo de extrusão.

As farinhas mistas foram produzidas contendo farinha de milho e um ou mais dos seguintes ingredientes: 10% de extrato de levedura; 10% de autolisado de levedura; 10% de extrato de levedura e 10% de caseína, 10% de autolisado de levedura e 10% de caseína. As condições de extrusão foram: temperaturas do estágio de alimentação, 80°C; do estágio de mistura, 100°C e de extrusão, 170°C; umidade das farinhas de 25%; parafuso com relação de compressão, 1:3; velocidade de rotação do parafuso, 150rpm; alimentação do equipamento, 85g/min.

Do ponto de vista tecnológico a adição de derivados de levedura e caseína promoveu um aumento, em média, de 2,5 vezes no Índice de Absorção de Água e de 6 vezes para o Índice de Solubilidade em Água das farinhas mistas, em relação à farinha de milho crua. O Grau de Expansão Radial sofreu uma ligeira queda com a adição de derivados de levedura e caseína. A viscosidade das farinhas mistas extrusadas foi bem inferior (em média 20 vezes menor) que o valor apresentado pela farinha de milho crua.

Do ponto de vista nutricional houve elevação no teor protéico das farinhas com as adições, passando de 9,5% da farinha crua para cerca de 13,7% nas farinhas adicionadas de derivados de levedura e 23% (em média) para as farinhas adicionadas de derivados de levedura e caseína. O perfil de aminoácidos das farinhas mistas foi melhorado, como mostrou o EAE (escore de aminoácidos essenciais) que, para a farinha de milho crua

apresentou o valor de 0,43 e em torno de 0,93 para a farinha adicionada de derivados de levedura e caseína. A digestibilidade das farinhas mistas foi de 95%, em média, em relação a farinha de milho crua tomada como 100%. Os valores de PER/NPR foram considerados bons quando comparados à farinha de milho crua e farinha de milho extrusada, sendo de 2,8/3,3 para farinhas adicionadas de derivados de levedura e de 3,7/4,2 para farinhas adicionadas de derivados de levedura e caseína.

Do ponto de vista sensorial, a adição de derivados de levedura conferiu sabor umami às farinhas mistas. Foi feita análise sensorial em sopas formuladas com as farinhas mistas e a preferência recaiu sobre a farinha adicionada de 10% de extrato de levedura e 10% de caseína.

ABSTRACT

The main objective of this study was to demonstrate the possibility of using yeast derivatives in the production of mixed flours, containing corn flour, yeast products and casein, processed by extrusion cooking, to be used as a base in the formulation of soups.

The mixed flours contained corn flour plus one or more of the following ingredients: 10% of yeast extract; 10% of yeast autolysate; 10% of yeast extract plus 10% of casein and 10% of yeast autolysate plus 10% of casein. The conditions of extrusion were: temperature of feeding stage, 80°C; mixing stage, 100°C and extrusion stage, 170°C; moisture content of the flours, 25%; rotational velocity of screw, 150 rpm; compression ratio of the screw, 1:3; feeding rate of the equipment, 85g/min.

From technological standpoint, the addition of yeast derivatives and casein to corn flour promoted, on average increase of 2.5 fold in the index of water absorption and six fold in the water solubility index. The degree of radial expansion decreased slightly with the addition of yeast derivatives and casein. Viscosity of the extruded flours decreased about 20 fold in comparison with the non extruded flours.

From nutritional point of view, there was an increase in protein concentration in the mixed flours, from 9.5% in the corn flour to 13.7% (on average) in the flours added of 10% yeast derivatives and to 23% (average) in the flours added 10% of both yeast derivatives and casein. The essential amino acids score improved from 0.43 for the corn flour to 0.93 (average) for the mixed flours containing 10% of both yeast derivatives and casein. The

protein digestibility for the mixed flours was, on average, 95% of the same index for the corn flour. The PER/NPR were 2.8/3.3 for the flours added of 10% yeast derivatives, and 3.7/4.2 for the flours with 10% of both yeast derivatives and casein. They were considered good and significantly higher than the same index for the corn flour.

From the sensorial point of view, the yeast derivatives introduced the umami flavor into the flours. Sensorial evaluation of soups prepared with the mixed flours indicated the preference for the corn flour added of 10% yeast extract and 10% casein.

1. INTRODUÇÃO

As proteínas são constituintes importantes dos alimentos e na alimentação humana, sendo as fontes principais de origem animal e vegetal. A elevação dos preços das fontes convencionais de proteína levaram à busca de fontes alternativas que sejam de baixo custo e de alto valor nutritivo. Os microorganismos têm se apresentado como uma boa fonte para obtenção não só de proteínas como de outras substâncias de interesse nutricional e industrial (enzimas, polissacarídeos, vitaminas, minerais, etc). Um dos microorganismos mais utilizados para produção de proteínas e outros compostos são as leveduras, conhecidas largamente pela sua capacidade fermentativa, sendo utilizadas na panificação, produção de álcool e bebidas fermentadas. O fracionamento da célula permite a obtenção de derivados como extratos protéicos e autolisados, que são utilizados como potenciadores de aroma e sabor, sendo muito utilizados pela indústria de alimentos. As leveduras e seus derivados possuem também propriedades funcionais de interesse industrial com capacidade de geleificação, capacidade de retenção de água e óleo, emulsificação, etc.

Apesar do alto teor protéico e da boa qualidade da proteína de levedura, a resistência da parede celular à ação das enzimas digestivas e o alto teor de ácidos nucleicos limitam o seu uso na alimentação humana.

A levedura pode ser cultivada sob condições controladas, em fermentadores, para obtenção de componentes de interesse. Outra fonte potencial de obtenção de leveduras é o resíduo, gerado na produção de álcool e cerveja.

O rompimento celular é um importante processo para obtenção dos componentes da levedura, permitindo a separação do material intracelular e da parede celular. Além disso, o rompimento melhora a digestibilidade dos componentes celulares. Esse rompimento pode ser feito por métodos químicos (hidrólise ácida e uso de agentes plasmolisantes); métodos físicos onde a força de cisalhamento empregada promove o rompimento podendo-se, utilizar homogeneizadores de alta pressão ou moinho de bolas, como o **Dynomill®**, que promove atrito entre as células e as esferas de vidro e métodos enzimáticos, como autólise ou uso de enzimas exógenas.

Os produtos obtidos pelo rompimento das células são o **autolisado** - obtido pelo rompimento das paredes celulares pelas suas próprias enzimas; **extrato** - constituído pela parte solúvel das células, que corresponde ao material intracelular, rico em proteínas, vitaminas e sais minerais; **parede celular** - caracterizada como a fração insolúvel das células, rica em carboidratos como, mananas, glicanas e glicoproteínas; **concentrado protéico** - obtido a partir do rompimento mecânico das células e pela precipitação das proteínas com redução dos níveis de ácidos nucléicos.

A texturização de produtos protéicos por extrusão é um processo de larga utilização que oferece diversas vantagens como baixo custo, variedade de produtos que podem ser processados, permitindo a inativação de enzimas, pasteurização, eliminação de fatores antinutricionais e melhoria da digestibilidade das proteínas. Durante o processo de extrusão ocorrem diversas interações entre as proteínas que determinam as características de textura, solubilidade, capacidade de absorver água e gordura, dentre outras. Do ponto de vista físico-químico, a extrusão promove a desnaturação e a dissociação de proteínas, realinhando-as no sentido do fluxo do material no

extrusor e promovendo, no final, ligações diversas que permitem a estabilização estrutural do material extrusado e definição de suas diversas características físicas, funcionais e sensoriais.

Este trabalho é parte de um projeto de obtenção, caracterização e aplicação de derivados de levedura na alimentação humana. O principal objetivo dessa pesquisa foi demonstrar a possibilidade de uso de derivados de levedura na produção de farinhas mistas, a partir da farinha de milho e que, uma vez extrusadas, pudessem servir de base para a formulação de sopas desidratadas de fácil preparo, boa aceitação e elevado valor nutritivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Leveduras: Caracterização

A viabilidade de uso de fontes alternativas de proteína na alimentação humana vem sendo cada vez mais estudada em virtude da elevação do preço das fontes de proteínas convencionais, animal e vegetal (FILHO *et alii*, 1996).

Os microrganismos vêm sendo considerados uma atraente alternativa como fonte protéica, de grande potencial na alimentação (humana e animal) graças a características como alta velocidade de crescimento, baixo custo de produção e proteína de alto valor biológico, que tornam o estudo da sua utilização muito importante (MARIATH & ZUCAS, 1983; BENASSI *et alii*, 1990).

Os microorganismos fornecem também substâncias como enzimas, polissacarídeos, vitaminas, minerais, de propriedades funcionais importantes na indústria farmacêutica (cosméticos, substâncias com atividade fisiológica) e alimentícia nos setores de panificação, carnes e derivados, produtos fermentados, aromatizantes, saborizantes, condimentos em geral (MARIATH & ZUCAS, 1983; PEIXOTO, 1996; RICCI-SILVA *et alii*, 2000; OTERO *et alii*, 2000).

Microorganismos unicelulares como algas, bactérias, fungos e leveduras são utilizados para obtenção de proteínas, sendo a levedura um dos mais utilizados para a produção não apenas de proteínas como de outros produtos (MARIATH & ZUCAS, 1983; ZAMBONELLI *et alii*, 2000).

A microbiologia classifica a levedura como um fungo (PELCZAR, 1980; DZIEZAK, 1987a). Ela é de grande importância não só no campo da tecnologia de alimentos como da ciência em geral, onde é utilizada como modelo biológico em muitas pesquisas (PELCZAR, 1980; HUANG & KINSELLA, 1986; PENNY, 1991). A levedura pode ser encontrada naturalmente no solo e no ar e na superfície de frutos e vegetais (PENNY, 1991).

As leveduras se diferenciam das algas por não realizarem fotossíntese, e dos protozoários por possuírem uma parede celular rígida (PELCZAR, 1980).

Por serem células individualizadas, as leveduras crescem e se reproduzem mais rapidamente que os bolores em geral. São também mais eficientes na realização de alterações químicas por causa de sua maior relação área/volume (PELCZAR, 1980).

2.2 Aplicações

A levedura é amplamente usada na alimentação humana e animal sob várias formas e para diversas finalidades (KILBERG, 1972; MARIATH & ZUCAS, 1983; SGARBIERI *et alii*, 1999; ZAMBONELLI *et alii*, 2000).

A capacidade fermentativa da levedura é provavelmente a propriedade que permitiu sua aplicação mais antiga, sendo utilizada em diversos processos caseiros e industriais. É utilizada pela indústria de panificação, na fermentação de pães e na expansão das massas fermentáveis com produção de CO₂. Também é responsável por

características de sabor e aroma desenvolvidos a partir de compostos voláteis produzidos durante a fermentação (PELCZAR, 1980; MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987a; PENNY, 1991; OTERO *et alii*, 2000; SGARBIERI *et alii*, 1999).

A capacidade fermentativa da levedura também é largamente explorada nas indústrias de cerveja, vinhos e álcool, como catalisador biológico transformando substratos variados em bebidas e combustíveis (MARIATH & ZUCAS, 1983; PENNY, 1991; PEIXOTO, 1996; OTERO *et alii*, 2000).

A levedura inativada vem sendo incorporada como fonte de nutrientes em alimentos naturais ou ingredientes nutritivos na alimentação humana e animal (WALSIEN, 1975; MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987a, 1987b; PENNY, 1991; OTERO *et alii*, 1996; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

A levedura fracionada em seus constituintes celulares permite a obtenção de derivados como extratos protéicos e autolisados, que têm diversas aplicações na indústria alimentícia, sendo uma delas como potenciadores de aromas e sabores, podendo ser usados em diversas formulações e produtos para realçar o sabor dos alimentos. (KNORR *et alii*, 1979; MARIATH & ZUCAS, 1983; SOMMER, 1996; OTERO *et alii*, 1996; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000). São citados como flavorizantes simulando sabor a carne, queijo, assado, etc, e usados na formulação de sopas, produtos cárneos, de panificação, dentre outros. A levedura pode ser usada como veiculadora de flavorizantes, na forma de microcápsulas com substâncias de diversos sabores (AMES & McLEOD,

1985; PENNY, 1991; NAGODAWITHANA, 1992; SOMMER, 1996; NELSON & BISHOP, 1998;).

Além de aplicações tecnológicas, a levedura e seus derivados são amplamente explorados como ferramentas científicas. A célula em si constitui-se em um modelo celular para o estudo de processos bioquímicos e metabólicos (PELCZAR, 1980), amplamente usada nos procedimentos de manipulação genética, criando leveduras com capacidade de produzir produtos de interesse como enzimas, proteínas diversas, vitaminas, corantes, etc. O extrato de levedura é largamente usado na elaboração de meios de cultura para estudos microbiológicos em geral (HUANG & KINSELLA, 1986; ZAMBONELLI *et alii*, 2000).

2.3 Aspectos nutricionais

O uso de levedura como fonte de nutrientes tem sido estudado principalmente desde a década de 60, e vem sendo estimulada pela tendência mundial em substituir a proteína de origem animal por outras fontes como a proteína vegetal e de microorganismos, que poderiam ajudar a atender à demanda de alimentos de boa qualidade em diversas partes do mundo, nos quais a agricultura e a pecuária parecem não suprir eficientemente todas as necessidades da população, levando a um quadro de fome e de desnutrição (WALSIEN, 1975; McCORMICK, 1987; PEIXOTO, 1996; BENASSI *et alii*, 1990).

Os microorganismos têm sido vistos, muito apropriadamente, como uma fonte para obtenção de proteínas para o uso na alimentação humana

(MARIATH & ZUCAS, 1983; COZZOLINO & ZUCAS, 1984; McCORMICK, 1987; BENASSI *et alii*, 1990).

As vantagens atribuídas ao uso de levedura como fonte protéica são a elevada capacidade de se reproduzirem, e portanto, de produzirem biomassa; pouca exigência quanto ao meio de cultivo, podendo ser cultivadas em substratos de baixo custo; possibilidade de serem cultivadas em bioreatores com absoluto controle das variáveis que afetam a produção e produzirem elevados teores de proteínas, vitaminas e outros constituintes celulares de interesse industrial e para a saúde (MARIATH & ZUCAS, 1983; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

A composição das células de levedura pode variar muito em função das condições de crescimento como a composição do meio de cultura, temperatura, agitação no fermentador, etc. Em geral, as células de levedura apresentam um alto teor protéico, entre 35 – 65% e parede celular em torno de 30% do peso seco das células (de onde se extrai diversos carboidratos, glicoproteínas e fibra alimentar). A levedura ainda é rica em vitaminas em geral, principalmente do complexo B e tem uma variada composição em minerais (MARIATH & ZUCAS, 1983; McCORMICK, 1987; DZIEZAK, 1987a; BENASSI *et alii*, 1990; CABALLERO-CORDOBA, 1997; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

O valor nutritivo das proteínas de levedura tem sido reportado por vários pesquisadores e os resultados têm sido divergentes, principalmente em função dos métodos de preparo. Em geral, os resultados de valor biológico, digestibilidade, PER e NPR reportados para as proteínas de levedura, apesar das variações, indicam que a levedura, e principalmente seus derivados, são boas fontes de proteínas (KILBERG, 1972; WALSIEN,

1975; VANANUVAT & VALUE, 1977; KINSELLA & SHETTY, 1978; COZZOLINO & ZUCAS, 1984; SARWAR *et alii*, 1986; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

Apesar das muitas vantagens apresentadas na utilização da levedura como alimento, alguns aspectos limitam seu uso como o teor relativamente baixo de aminoácidos sulfurados (metionina + cistina) para levedura e autolisados, sendo que o extrato de levedura parece oferecer uma composição em aminoácidos essenciais satisfatória em relação a proteínas padrões como as apresentadas pela FAO/WHO (MARIATH & ZUCAS, 1983; SARWAR *et alii*, 1986; DZIEZAK, 1987a); a resistência das paredes celulares à ação das enzimas digestivas de animais monogástricos, diminuindo a digestibilidade e o grau de utilização de nutrientes pelo organismo ou dificultando a liberação do conteúdo celular nos processos tecnológicos de recuperação desses componentes; o elevado teor de ácidos nucléicos por unidade de biomassa, o que limita a quantidade de levedura e derivados que poderão ser incorporados em dietas para humanos. Quantidades excessivas destes ácidos e seus metabólitos no organismo, podem levar à formação de cálculos renais e gota em virtude do acúmulo de ácido úrico nos tecidos (OSER, 1975; PELCZAR, 1980; MARIATH & ZUCAS, 1983; COZZOLINO & ZUCAS, 1984; SARWAR, 1985; BENASSI *et alii*, 1990; SGARBIERI *et alii*, 1999; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

Vários processos vêm sendo testados com o intuito de produzir concentrados protéicos com baixos níveis de RNA como acilação, sulfitólise, fosforilação, extração com sais caotrópicos e uso de enzimas (MARIATH & ZUCAS, 1983; SARWAR *et alii*, 1985; BENASSI *et alii*, 1990; OTERO *et alii*, 1996; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

2.4 Utilização de leveduras em alimentos

O desenvolvimento da biotecnologia, ao longo das décadas, vem permitindo o surgimento de novas técnicas de processos e novos equipamentos, que permitem uma produção otimizada de organismos unicelulares, quanto ao tempo e rendimento, em escala industrial.

A *Candida utilis* (Torula) é a mais usada para produção em unidades industriais visto que, para o objetivo específico de produção de biomassa, esta espécie apresenta maior índice de conversão e menor produção de metabólitos secundários. Além dela, são utilizadas também a *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces uvarum*, provenientes da fermentação alcoólica, e também a *Kluyveromyces fragilis*, fermentada em soro de leite (PENNY, 1991; DZIEZAK, 1987b; SOMMER, 1996).

A levedura contida no resíduo gerado nas destilarias e cervejarias é uma fonte que pode ser utilizada na alimentação e para obtenção de produtos de interesse, já que esse resíduo é poluente e é produzido na escala de centenas de milhares de toneladas anualmente por essas indústrias (FILHO *et alii*, 1996, BENASSI *et alii*, 1990).

Nos Estados Unidos da América, a indústria cervejeira produz cerca de 75 milhões de ton./ano de leveduras como subproduto da fabricação de cerveja e, no Brasil, a produção chega a 35000 ton./ano. As destilarias de álcool brasileiras produzem em torno de 240.000 ton./ano (FILHO *et alii*, 1996; PEIXOTO, 1996) e esses subprodutos têm sido aproveitados como adubo orgânico, adicionado a rações animais ou simplesmente eliminados, gerando altos custos com seu tratamento, pois é um resíduo altamente poluente (MC CORMICK, 1987; BENASSI *et alii*, 1990; PEIXOTO, 1996).

Com o processo de fracionamento, esses subprodutos podem ser convertidos em outros produtos de alto valor agregado, já que as leveduras vêm sendo apresentadas como ricas fontes de compostos de interesse industrial (MC CORMICK, 1987; DZIEZAK, 1987b; HALÁSZ & LASZTITY, 1991; PEIXOTO, 1996; SGARBIERI *et alii*, 1999). Elas também apresentam algumas vantagens na utilização industrial devido à elevada capacidade de produzir biomassa, aumentando assim o rendimento na obtenção de produtos de interesse comercial (MARIATH & ZUCAS, 1983).

A levedura tem pouca exigência quanto ao meio de cultivo, sendo inclusive uma alternativa para tratamento de resíduos industriais, por utilizar estes resíduos como substratos para obtenção de biomassa de levedura e produção de metabólitos de interesse.

Industrialmente as leveduras são, na maioria das vezes, cultivadas em bioreatores, onde são controladas as variáveis que afetam a produção. A manipulação dessas variáveis pode otimizar a produção de determinados produtos como células de elevados teores de proteína, vitaminas e outros constituintes celulares de interesse (MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987b; SOMMER, 1996).

As leveduras podem ser produzidas especificamente para extração de seus componentes e, a cada ano, novas tecnologias surgem para tornar os processos de produção de biomassa e extração mais eficientes e controlados (MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987b; PENNY, 1991; SGARBIERI *et alii*, 1999; SUPHANTHARIKÀ *et alii*, 1999).

2.5 Produtos obtidos a partir da levedura

Além da célula íntegra na forma ativa ou inativa e dos produtos do metabolismo da célula, a levedura pode ser fonte de produtos oriundos do seu rompimento (DZIEZAK, 1987a; PENNY, 1991; OTERO *et alii*, 1996; RICCI-SILVA *et alii*, 2000).

A parede celular da levedura íntegra é resistente a ação das enzimas digestivas, tornando limitado o aproveitamento dos componentes nutritivos. O rompimento melhora a digestibilidade da levedura e permite a separação do material intracelular e da parede celular. Posterior fracionamento de ambas as frações oferece uma variedade de enzimas, carboidratos, vitaminas e outros compostos de grande utilização na indústria (KNORR *et alii*, 1979; MARIATH E ZUCAS, 1983; FUKAL *et alii*, 1986; OTERO *et alii*, 1996).

Os principais derivados de levedura são: autolisado, produzido por autodigestão das células, onde as enzimas líticas da própria levedura promovem o rompimento celular. O autolisado é o produto não fracionado, de composição centesimal muito próxima à da levedura íntegra. Com o fracionamento do autolisado obtém-se o extrato de levedura, constituído pela parte solúvel da célula e que corresponde ao material intracelular, rico em proteínas, vitaminas e sais minerais e a parede celular, caracterizada como a fração insolúvel da célula, rica em carboidratos, glicoproteínas, mananas, glicanas, que fazem parte da sua constituição (KNORR *et alii*, 1979; AMES & MAC LEOD, 1985; DZIEZAK, 1987a, 1987b; KOLLAR *et alii*, 1991; NAGODAWITHANA, 1992; OTERO *et alii*, 1996; SOMMER, 1996; SGARBIERI *et alii*, 1999 SUPHANTHARIKA *et alii*, 1999).

O concentrado protéico é outro derivado de levedura obtido a partir da separação das proteínas do extrato, sofrendo um tratamento para redução dos níveis de ácidos nucléicos e conseqüente aumento no teor de proteínas (MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987a; BENASSI *et alii*, 1990; OTERO *et alii*, 1996; PACHECO, 1996; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

O fracionamento da parede celular permite a obtenção das mananas, beta-glicanas e glicoproteínas, os quais têm revelado propriedades fisiológicas e funcionais bastante interessantes.

Enzimas de interesse comercial, podem ser obtidas a partir do fracionamento do extrato, como proteinases, invertase, lactase, além de ácidos nucléicos, nucleotídeos e nucleosídeos, que vêm sendo empregados tanto em alimentos como em medicamentos (AMES *et alii*, 1985; SARWAR *et alii*, 1985; DZIEZAK, 1987a; MC CORMICK, 1987; RYAN & WARD, 1988; CARVER *et alii*, 1990; KOLLAR *et alii*, 1991; CARVER & WALKER *et alii* 1995; OTERO *et alii*, 1996; RICCI-SILVA *et alii*, 2000).

Os derivados de levedura vêm sendo usados em alimentos formulados como complemento nutricional e como potencializadores de aromas e sabores, como agentes funcionais ou melhoradores de propriedades funcionais de outros produtos e, mais recentemente, têm sido estudados quanto ao seu potencial de fornecer componentes bioativos (MARIATH & ZUCAS, 1983; AMES *et alii*, 1985; DZIEZAK, 1987b; NAGODAWITHANA, 1992; OTERO *et alii*, 1996; SOMMER, 1996).

2.6 Rompimento celular

O rompimento celular pode ser efetuado por métodos químicos, físicos ou enzimáticos (MARIATH E ZUCAS, 1983; AMES *et alii*, 1985; DZIEZAK, 1987a; RYAN & WARD, 1988; NAGODAWITHANA, 1992).

Os métodos químicos podem ser hidrólise ácida, feita com ácido forte concentrado, sendo o ácido clorídrico (HCl) muito utilizado (MARIATH & ZUCAS, 1983; DZIEZAK, 1987a; NAGODAWITHANA, 1992; RICCI-SILVA *et alii*, 2000). A desvantagem desse procedimento é que a neutralização posterior do ácido acaba por aumentar muito o teor salino do hidrolisado ou do extrato mas que, dependendo da aplicação do produto obtido, pode ser uma metodologia de grande eficiência quanto ao rompimento da parede celular (NAGODAWITHANA, 1992).

Outro procedimento, usando-se substâncias químicas, consiste na adição de agentes plasmolisantes que desestruturam os constituintes da parede celular, permitindo o seu rompimento mais fácil pela hidrólise enzimática (sejam enzimas de origem endógena ou exógena) (FUKAL *et alii*, 1986; RYAN & WARD, 1988; KOLLAR *et alii*, 1991; SUPHANTHARIKA *et alii*, 1999). No caso da levedura, no processo de indução e aceleração da autólise, o cloreto de sódio (NaCl) e álcoois têm sido muito utilizados (KOLLAR *et alii*, 1991, NAGODAWITHANA, 1992). Em geral, o método químico está associado com um dos outros dois métodos.

Os métodos físicos promovem o rompimento da célula por meio de força mecânica. Em geral, o uso de pressão ou o atrito direto são as formas mais empregadas. Nos dois casos a força de cisalhamento é a responsável

pelo rompimento (OTERO *et alii*, 1996; PACHECO, 1996; OTERO *et alii*, 2000; RICCI-SILVA *et alii*, 2000).

O processo de rompimento mecânico pode ser realizado com o uso de um homogeneizador de altas pressões (OTERO *et alii*, 2000) ou moinho de bolas, como o “Dynomill”, que promove o atrito entre a suspensão de células e esferas de vidro (OTERO *et alii*, 1996; PACHECO, 1996; SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000). O rompimento mecânico é usado muitas vezes para obtenção da proteína intacta, para que esta não perca sua conformação estrutural e muito menos que seja hidrolisada durante o processo. Para tanto, faz-se necessário um controle rigoroso quanto ao tempo de processamento, inativação enzimática e controle de temperatura. No processo de rompimento físico das células pode ocorrer aquecimento da suspensão devido ao atrito e esse é um inconveniente que deve ser controlado para evitar desnaturação dos componentes celulares (PACHECO, 1996, OTERO *et alii*, 2000).

O processo enzimático pode ser de dois tipos: autólise ou adição de enzimas exógenas. Na autólise, o rompimento celular é feito pelas próprias enzimas líticas da célula. Em pesquisas verificou-se que a adição de um material previamente rompido (pré-autolisado), diminui grandemente o tempo final da autólise (KOLLAR *et alii*, 1991; NAGODAWITHANA, 1992;), bem como o uso de agentes plasmolisantes como etanol e cloreto de sódio (KNORR *et alii*, 1979; KOLLAR *et alii*, 1991, SGARBIERI & CABALLERO-CORDOBA, 2000).

A autólise pode ser dividida em duas etapas principais que seria o rompimento das células, no qual a parede celular é rompida e o material intracelular liberado para a solução, e uma fase de hidrólise onde as

proteínas, ácidos nucléicos e carboidratos são reduzidos a compostos de menor peso molecular como peptídios, nucleotídios e oligossacarídeos (FUKAL *et alii*, 1986; RYAN & WARD, 1988; NAGODAWITHANA, 1992). O fracionamento desses componentes e a reação entre os resíduos são os principais responsáveis pelas características de odor e sabor atribuídos à levedura e seus derivados, sendo a reação de Maillard e a reação entre ácido glutâmico e nucleotídios do tipo 5'IMP e 5'GMP as principais responsáveis pela formação de compostos de sabor (AMES *et alii*, 1985; RYAN & WARD, 1988; NAGODAWITHANA, 1992; SOMMER, 1996).

A adição de enzimas exógenas visa a diminuição do tempo de autólise e também a obtenção de produtos específicos pela lise do material intracelular ou mesmo da parede celular (CHAMPAGNE *et alii*, 1999). As enzimas mais comumente citadas como coadjuvantes no processo de produção de extrato são a papaína, lisozima, zimolase, glicanase e proteinases (KNORR *et alii*, 1979; FUKAL *et alii*, 1986; RYAN & WARD, 1988; KOLLAR *et alii*, 1991; SUPHANTHARIKA, 1999).

Com o uso de enzimas exógenas e a adição de outros tipos de fontes protéicas na suspensão de levedura preparada para lise, pode-se obter produtos diferentes, com sabor e propriedades funcionais tecnológicas diferentes, aumentando significativamente a gama de produtos de levedura que podem ser utilizados na alimentação humana (HOBSON & ANDERSON, 1996; SUPHANTHARIKA *et alii*, 1999).

2.7 Extrusão

2.7.1 Definição

A extrusão é definida como um processo termoplástico onde o atrito e trabalho mecânico são combinados ao calor, promovendo a gelatinização do amido e desnaturação de proteínas, alterando texturas e possibilitando a moldagem do material extrusado em formas diversas (VILELA, 1989; CARDOSO FILHO, 1993; STEEL, 1994; ING-JENG *et alii*, 1997; WHALEN *et alii*, 1997).

A extrusão é um processo contínuo e de um único estágio, que envolve altas temperaturas e pressões e com isso transformando os alimentos quanto as suas características físicas, químicas e nutricionais (CAMIRE *et alii*, 1990; YAYLAYAN *et alii*, 1992; GUTKOSKI, 1997). É considerado também um processo de alta temperatura e curto tempo (high temperature - short time – HTST), com período de residência no extrusor de 1 a 2 minutos em média, minimizando a degradação de nutrientes, melhorando a digestibilidade das proteínas e eliminando fatores antinutricionais e enzimas (CAMIRE *et alii*, 1990; YAYLAYAN *et alii*, 1992; GUTKOSKI, 1997; AINSWORTH *et alii*, 1999; ALONSO *et alii*, 2000).

2.7.2 O extrusor

O extrusor é um equipamento constituído de alimentador, cilindro encamisado, parafuso, matriz e cortador. Um esquema de um extrusor é mostrado na Figura 1.

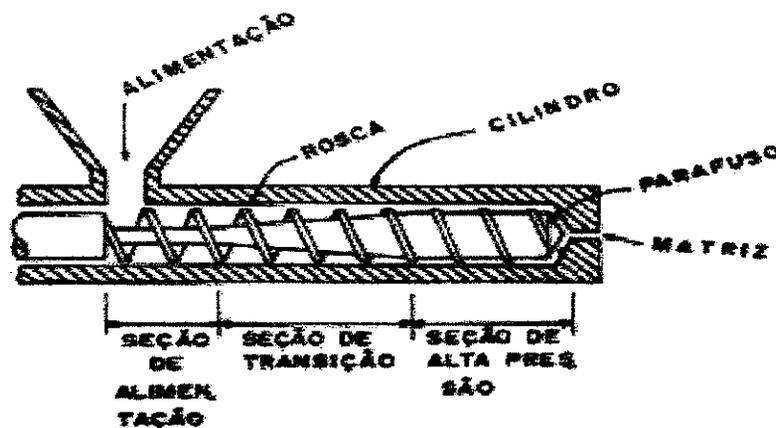


Figura 1: Representação esquemática em corte longitudinal de um extrusor.

O alimentador é onde se introduz a mistura previamente homogeneizada e umedecida; nessa seção o material é misturado e aquecido. A alimentação deve ser contínua para manter a homogeneidade do processo (VILELA, 1989; YACU, 1990).

O parafuso pode ser considerado a parte essencial do extrusor. A ele são atribuídas as funções de misturar a massa, conduzi-la pelo cilindro, elevar a temperatura e a pressão pelo seu atrito com as paredes do cilindro e forçar a massa através da matriz (YACU, 1990; AREAS, 1992; YAYLAYAN *et alii*, 1992; GUTKOSKI, 1997). A velocidade de rotação, o formato e tamanho, o espaçamento entre as ranhuras da rosca e entre o

parafuso e o cilindro são responsáveis diretos pelas características do produto final (YACU, 1990). O parafuso pode ser dividido em três setores onde vão estar ocorrendo os processos de mistura, cozimento e texturização:

- **Seção de alimentação:** Recebe o material e empurra-o pelo parafuso ao longo do extrusor. Ajuda na homogeneização da mistura e uniformiza a massa a ser extrusada.
- **Seção de Transição:** Nesse local a geometria do parafuso muda e promove uma maior taxa de cisalhamento, com aumento da temperatura e pressão. O material é transformado em uma massa homogênea e parcialmente cozida.
- **Seção de alta pressão:** A taxa de cisalhamento, a pressão e a temperatura chegam ao máximo promovendo o cozimento desejado da massa e sua completa homogeneização.

O cilindro encamisado abriga o parafuso e sua camisa e permite a passagem de vapor ou líquido, auxiliando no controle da temperatura do processo. O aquecimento do cilindro também pode ser feito por eletricidade.

A matriz é quem dá a forma ao produto quando este passa por ela e se expande. A diversidade no formato das matrizes permite a obtenção de produtos estruturados das mais diversas formas, como fios, parafusos (muito comuns em macarrão), cilindros, esferas, “escamas”, conchas (comuns em “snacks”) etc.

À matriz geralmente está acoplado um cortador que tem seu tempo de ação controlado, definindo o tamanho do material que sai do extrusor.

Os extrusores podem ser classificados quanto ao número de parafusos. O extrusor simples possui somente um parafuso, sendo o mais comum na indústria principalmente por seu baixo custo. O extrusor duplo tem 2 parafusos dentro do cilindro e, apesar de mais caro, é mais versátil por trabalhar em uma ampla faixa de umidade e com teores mais elevados de lipídios (GUTKOSKI, 1997).

2.7.3 Parâmetros de extrusão

A temperatura e a umidade do material a ser extrusado são citadas como os dois parâmetros de maior importância na extrusão (MILLER, 1985), pois influenciam na reologia do material durante o processo e nas reações e transformações que ocorrem para obtenção do produto final. No entanto, outros parâmetros também estão relacionados com as características do produto final obtido na extrusão: a composição do alimento e tamanho das partículas, que associados à umidade influem no funcionamento do equipamento; a velocidade do parafuso e sua configuração que estão relacionadas com a taxa de cisalhamento; as características da matriz que moldam o produto e influenciam no seu grau de expansão; a pressão, responsável por manter a água em estado superaquecido e com isso favorecer as reações; a velocidade de alimentação e tempo de residência no extrusor, que definem a intensidade das transformações ocorridas no produto (VILELA, 1989; YACU, 1990). A manipulação desses parâmetros define as diversas características do produto, dentre elas a umidade final, o grau de expansão, o aspecto do produto, incluindo a cor, o desenvolvimento do aroma e sabor, a textura, o grau de cozimento, etc. (YACU, 1990). Tais

características, na maioria das vezes, são responsáveis pela aceitabilidade, ou não, do produto pelo consumidor.

Além de modificações nas condições do processamento, podem também ser feitas modificações nas misturas a serem extrusadas, permitindo uma melhor qualidade no produto final. O ajuste de pH pode levar à obtenção de produtos mais tenros com maior capacidade em absorver água (produtos com pH em torno de 8,5), e produtos com maior pastosidade e mastigabilidade para valores de pH em torno de 5,5 (SMITH, 1975). Além disso, a adição de corantes, flavorizantes e emulsificantes também é uma forma de melhorar as características do produto (HARPER, 1979; YAYLAYAN *et alii*, 1992).

2.7.4 Etapas da extrusão

A extrusão baseia-se numa série de fenômenos físico-químicos que envolvem conceitos de mudanças de fase, pressão de vapor, atrito, pressão, temperatura, etc. (CAMIRE *et alii*, 1990; RHEE *et alii*, 1999). Pode-se dividir o processo de extrusão em três etapas: pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão.

Na pré-extrusão ocorre a introdução do material a ser extrusado, sua mistura e condicionamento ao teor de umidade definido para o processo.

Na fase de extrusão o material misturado na primeira parte do extrusor, sendo conduzido pelo cilindro, vai sofrendo um aumento gradativo do atrito mecânico devido ao desenho do parafuso. Esse aumento do atrito leva ao aumento de temperatura e da pressão promovendo uma condição

onde a água da mistura permanece líquida, na forma superaquecida (acima de 100°C). Com a elevação da temperatura e da pressão também acontecem os fenômenos de gelatinização do amido e desnaturação das proteínas com o conseqüente rearranjo das moléculas, promovendo a texturização do material.

Quando o material passa pela matriz, a queda brusca da pressão leva à vaporização instantânea da água superaquecida e, com isso, a expansão do material, que também se resfria rapidamente, mantendo a forma adquirida quando passou pela matriz.

A etapa de pós-extrusão consiste na secagem do material extrusado para umidades inferiores a 10% e posterior adição de saborizantes, ou açúcar para alimentos matinais adocicados e qualquer procedimento que seja necessário para finalizar o produto (VILELA, 1989).

2.7.5 Interações proteína-proteína durante a extrusão

Do ponto de vista físico, a extrusão transforma corpos protéicos em uma suspensão homogênea. Do ponto de vista químico, a extrusão promove a desnaturação e a dissociação de proteínas, realinhando-as no sentido do fluxo do material no extrusor e promovendo, no final, ligações diversas que permitem a estabilização estrutural do material extrusado (KINSELLA, 1978; HARPER, 1981; FERREIRA, 1993).

Não existe um consenso sobre qual a ligação formada seria a maior responsável pela texturização do material e pela sua estabilidade estrutural. Uma teoria razoável é considerar que, os efeitos somados de todas a

ligações e a proporção das ligações presentes na rede de material extrusado é que determinam suas características funcionais. Então, a composição da proteína está diretamente relacionada com os tipos de ligações possíveis de serem formadas na extrusão.

As principais ligações estudadas quanto a sua importância na estrutura formada na extrusão são:

➤ Ligações dissulfídicas: São formadas pela ligação entre dois resíduos de cisteína (Cy-SH), dando origem a um resíduo de cistina (Cy-S-S-Cy) (FERREIRA, 1990; SGARBIERI, 1996). Por se tratar de ligações covalentes, e portanto, bastante estáveis, a ocorrência dessas ligações intermolecularmente na extrusão permite uma maior estabilidade na estrutura formada.

➤ Ligações covalentes não-dissulfídicas intermoleculares: estas estão divididas em: a) ligações cruzadas, como por exemplo do tipo lisinoalanina (reação da alanina modificada com o grupo ϵ -amino da lisina) e lantionina (reação com o grupo tiol da cisteína), que ocorrem em condições de alcalinidade e aquecimento; b) Reação de Maillard: ocorre entre grupamentos amínicos livres de aminoácidos e grupamentos carbonila de açúcares redutores (YAYLAYAN *et alii*, 1992; SGARBIERI, 1996); c) Formação de isopeptídios covalentes podendo ser resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de ligações covalentes possíveis de serem formadas no processo de extrusão (STANLEY, 1989).

Tipo de ligação	Aminoácidos envolvidos	Grupamentos
Éster	Asp, Glu Ser, Thr	COOH OH
Tioéster	Asp, Glu Cys	COOH SH
Ímida	Asn, Gln Asp, Glu	Amida COOH
Fosfodiéster	2 Ser 2 Thr	OH PO ₄
Anel lactona	Geral Ser, Thr	COOH terminal OH
Amida	Lys Asp, Glu Asn, Gln	Amino COOH Amida

➤ Interações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio: são ligações mais fracas e estão relacionadas com a manutenção da estrutura terciária e quaternária das proteínas naturais. No processo de extrusão são rompidas facilmente levando à desnaturação das proteínas. Após a extrusão, essas ligações podem ser formadas novamente e sua presença auxilia as ligações covalentes contribuindo assim na conformação da estrutura das proteínas após a extrusão e, conseqüentemente, na textura do material (FERREIRA, 1990; ARÊAS, 1992).

➤ Formação de ligações isopeptídicas intermoleculares que reforçam a estrutura da malha protéica. Essas ocorrem em condições drásticas de processamento, a altas temperaturas, levando à reação de grupos amino de uma proteína com grupos carboxílicos de outras (FERREIRA, 1990).

Todas essas ligações determinam a textura, solubilidade, capacidade de absorver água e óleo (ARÊAS, 1992) e outras propriedades funcionais de produtos extrusados.

O perfil de ligações formado no produto extrusado pode ser avaliado seguindo uma marcha analítica onde se avalia a solubilidade do produto em vários solventes capazes de romper determinados tipos de ligações e manter outros.

A marcha baseia-se no seguinte critério (ARÊAS, 1992; FERREIRA, 1990): 1) determinação das proteínas solúveis em água, que em geral são aquelas que não se ligaram à malha extrusada; 2) determinação das proteínas insolubilizadas por interações não covalentes, pelo emprego de dodecil sulfato de sódio e uréia; 3) determinação das proteínas insolubilizadas por ligações dissulfídicas com uso de 2-mercaptoetanol ou ditiotreitól; 4) por fim, as proteínas que não se solubilizaram em nenhum dos solventes adotados.

A intensidade com que essas reações diversas ocorrem está diretamente ligada às variáveis do processo, sendo as principais a temperatura, velocidade do parafuso e umidade da mistura. Uma temperatura elevada e baixa umidade favorece a reação de Maillard. Condições severas de extrusão também são responsáveis pela formação das ligações isopeptídicas intermoleculares. As ligações dissulfídicas não são tão afetadas em baixas temperaturas de extrusão.

2.7.6 Funcionalidade de proteínas

A composição da proteína e seu grau de desnaturação durante o processo de extrusão influem diretamente na sua solubilidade em água (WHALEN *et alii*, 1997).

Em geral, a solubilidade dos extrusados é baixa podendo ser explicada pela diminuição das pontes de hidrogênio com a elevação da temperatura no processo, pela baixa concentração de aminoácidos polares e/ou alta em hidrofóbicos e pelas interações polares intermoleculares, não disponíveis para interagir com a água (PHAM & DEL ROSARIO, 1984a; CAMIRE *et alii*, 1990; ARÊAS, 1992; YAYLAYAN *et alii*, 1992; ING-JENG *et alii*, 1997).

Uma alta absorção de água está relacionada com uma estrutura compacta onde o rearranjo protéico permite que grupos polares e das cadeias peptídicas fiquem expostos e ativos aumentando a capacidade de absorção de água (PHAM & DEL ROSARIO, 1984a; CAMIRE *et alii*, 1990; ARÊAS, 1992).

A texturização está relacionada com a temperatura e pressão necessárias para tornar boa parte da proteína solúvel do material rearranjada e insolúvel. Vários tratamentos com a utilização de álcalis, ácidos, com adição de sais, permitem a obtenção de texturas variadas, dependendo da utilização do produto (BHATTACHARTA *et alii*, 1986; MITTAL & LAWRIE, 1986; ARÊAS, 1992; ING-JENG *et alii*, 1997).

2.7.7 Alterações nutricionais

Muitas alterações nutricionais, benéficas ou não, podem ocorrer durante a extrusão (VILELA, 1989; CAMIRE *et alii*, 1990; BATISTUTI *et alii*, 1991; CARDOSO FILHO, 1993; STEEL, 1994), e estas estão relacionadas com as interações entre os componentes da mistura extrusada durante o processo (STEEL, 1994; AINSWORTH *et alii*, 1999).

Entre as alterações benéficas podem ser citadas a inativação de enzimas, a eliminação de microorganismos e a destruição de fatores antinutricionais presentes em várias matérias-primas extrusáveis, formação de aromas e sabores favoráveis (YAYLAYAN *et alii*, 1992; CARDOSO FILHO, 1993; STEEL, 1994; AINSWORTH *et alii*, 1999; ALONSO *et alii*, 2000).

A melhora da digestibilidade também ocorre devido à desnaturação parcial das proteínas, permitindo um melhor aproveitamento das mesmas pelo organismo (CAMIRE *et alii*, 1990; CARDOSO FILHO, 1993; STEEL, 1994). O desenvolvimento de misturas de vários tipos de proteínas para serem extrusadas juntas permite a obtenção de um texturizado protéico de alto valor nutritivo, com um perfil em aminoácidos completo, sem deficiências (PHAM & DEL ROSARIO, 1984b; BHATTACHARTA *et alii*, 1986; CAMIRE *et alii*, 1990; BATISTUTI *et alii*, 1991; ING-JENG *et alii*, 1997).

Existe, no entanto, outros aspectos da extrusão que mostram uma diminuição no valor nutritivo do produto extrusado.

Quanto à proteína, pode-se citar a diminuição da biodisponibilidade da lisina pela sua reação com açúcares na reação de Maillard (ARÊAS, 1992; YAYLAYAN *et alii*, 1992; CARDOSO FILHO, 1993; ING-JENG *et alii*, 1997; WHALEN *et alii*, 1997). A formação de compostos como a lisinoalanina (LAL) e a lantionina, também comprometem o valor nutricional da proteína texturizada tanto por tornar a lisina não disponível para o organismo quanto pelo caráter tóxico dos compostos formados (CAMIRÊ *et alii*, 1990). A formação de isopeptídios também dificulta o aproveitamento dos aminoácidos pelos organismos animal e humano.

2.7.8 Aplicações do processo de extrusão e suas vantagens

A extrusão é um processo largamente usado na texturização de diversas matérias-primas, principalmente proteínas de outras fontes que não a carne (proteínas vegetais, por exemplo), melhorando suas características de textura e sabor, e assim a sua aceitação pelo consumidor (ARÊAS, 1992; WHALEN *et alii*, 1997; RHEE *et alii*, 1999).

A texturização de proteínas vegetais permite a obtenção de produtos com textura semelhante à da carne, podendo ser uma alternativa para sua substituição em diversos produtos como hambúrgueres, salsichas, salames, etc. (BHATTACHARTA *et alii*, 1986; FERREIRA, 1990; GUTKOSKI, 1997).

A extrusão é empregada na produção de cereais matinais e expandidos, produtos texturizados, farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas instantâneas, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros (GUTKOSKI, 1997; RHEE *et alii*, 1999).

O processo de extrusão oferece diversas vantagens tais como: custo relativamente baixo, comparado com outros processos de cocção, por necessitar de pouca mão de obra, permite uma grande produtividade em uma pequena área para implantação do extrusor e pela diversidade de materiais que podem ser processados bem como a variedade de produtos que podem ser criados, com características de textura e sabor melhorados (HARPER, 1989; SINGH *et alii*, 1994; AINSWORTH *et alii*, 1999).

A extrusão é um processo que permite ainda a inativação de enzimas, pasteurização do material, eliminação de fatores antinutricionais e, em alguns casos, diminuição da rancidez oxidativa devido ao poder antioxidante de alguns intermediários das reações do tipo Maillard (VILELA, 1989; GUTKOSKI, 1997; AINSWORTH *et alii*, 1999; ALONSO *et alii*, 2000).

3. OBJETIVOS

- Desenvolver, através do processo de extrusão, formulações de farinha de milho adicionadas de derivados de levedura (autolisado ou extrato) e coágulo de caseína desidratado.

- Caracterizar algumas propriedades funcionais tecnológicas da farinha de milho crua e extrusada, sem adição e após adição dos ingredientes protéicos (autolisado ou extrato de levedura e coágulo de caseína)

- Avaliar as propriedades nutritivas da proteína das farinhas desenvolvidas.

- Realizar testes sensoriais de aceitabilidade das farinhas, em nível de laboratório, na forma de uma sopa de preparo rápido, visando consumidores em geral.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O processamento da levedura, as análises de composição química, análises sensoriais e o ensaio com animais foram feitos nas instalações do Instituto de Tecnologia de Alimentos, utilizando-se de suas plantas pilotos e laboratórios.

A produção das farinhas extrusadas (mistas e sem adição) foi feita no Centro de Tecnologia e Pesquisas em Extrusão e algumas análises foram conduzidas nos laboratório de Cereais do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

4.1 Obtenção e processamento da levedura

4.1.1 Levedura

A levedura utilizada foi a *Saccharomyces cerevisiae*, obtida de usina de produção de álcool no final do processo de fermentação alcoólica, quando a levedura decanta e é feita a “sangria” (coleta) de parte do “leite” (suspensão) de levedura. A levedura foi coletada na usina em recipientes de 200 litros e transportada até o ITAL, onde foi mantida sob refrigeração (5°C) até o processamento.

Inicialmente foi submetida a procedimentos de lavagem para retirada de resíduos de mosto e de álcool, sendo em seguida seca em “spray dryer”, seguindo o procedimento descrito no fluxograma da Figura 2.

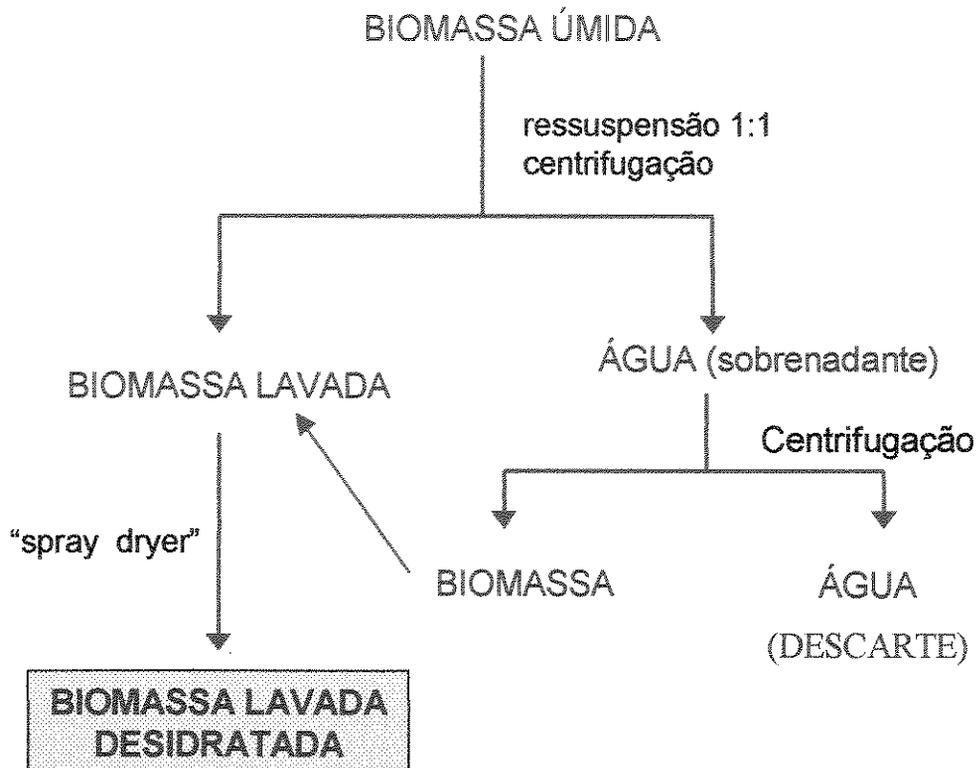


Figura 2: Processo de lavagem das células de levedura.

Foram processados 5000 litros de suspensão de levedura para o armazenamento da célula desidratada. O processamento dessa quantidade de material foi necessário para homogeneização do lote de levedura que supriu o material para este e outros projetos em andamento.

4.1.2 Autólise

Os derivados de levedura utilizados foram produzidos por autólise da levedura, no qual o rompimento ocorre com a utilização das enzimas das próprias células. A autólise foi conduzida nas seguintes condições (KOLLAR *et alii*, 1991; SGARBIERI *et alii*, 1999):

Suspensão de levedura	10% p/v
NaCl	2% p/p
Etanol	7% p/p
Pré-autolisado	15% v/v
Temperatura	55 ± 2 °C
Tempo	24h
PH	5 – 5,5

O pré-autolisado foi produzido a partir de uma suspensão de levedura preparada nas condições descritas acima, com exceção do tempo de incubação que foi de 6h. A quantidade de pré-autolisado na mistura foi de 15% (v/v) com base no volume total a ser autolisado. Após o período de incubação, o pré-autolisado foi recolhido em recipientes plásticos e armazenado sob refrigeração a 5°C até o dia seguinte, quando foi adicionado à suspensão de levedura a ser autolisada.

A suspensão de levedura foi preparada em lotes de 150 litros, resultantes da dispersão de 15kg de células desidratadas para 150 litros de mistura final, que foi acondicionada em recipientes plásticos de 50 litros e mantidas sob refrigeração até o momento do transporte para o Centro Tecnológico COPERSUCAR, em Piracicaba – SP. A suspensão, previamente homogeneizada, mais o pré-autolisado foram transferidos para fermentador (NewBrunswick Scientific Co; Inc MOD NAT´L BD 1630), com capacidade para 250 litros, sistema de agitação por pás, temperatura controlada por dispositivo (Controlador MI 4100) que alterna vapor e água. O total de material introduzido foi de 172,5 litros (150L da suspensão e 22,5L de pré-autolisado). A autólise foi conduzida por 24h sendo interrompida por pasteurização do material com elevação da temperatura para 85°C, mantida por 15 min, para inativação das enzimas. Após ligeiro

resfriamento, o material autolisado foi acondicionado em recipientes plásticos e reconduzido ao ITAL.

O fracionamento do autolisado foi feito em centrífuga de pratos Alpha-Laval, utilizando-se uma velocidade de separação de 5000 rpm e fluxo aproximado de 100L/h, obtendo-se então o extrato que corresponde à fração solúvel do autolisado, composto do material intracelular. O extrato, depois de separado da parede celular, foi concentrado em tacho a vácuo (Groen), mantendo-se a temperatura do material em torno de 55 – 65°C e pressão negativa média de 0,8 atm. A etapa de concentração foi necessária para que se elevasse o teor de sólidos do extrato a valores próximos de 20% antes da etapa de secagem, que foi realizada em “Spray Dryer” (NiroAtomizer). Ao material, antes da secagem, foi adicionado maltodextrina (25%, p/p) para aumentar o teor de sólidos, facilitando a secagem e diminuindo a higroscopicidade do material depois de seco.

A fração insolúvel (**parede celular**), recolhida na centrifugação, foi seca em “Spray Dryer” e armazenada para estudos paralelos de caracterização dessa fração.

A Figura 3 ilustra o fluxograma dos processos de autólise, fracionamento e secagem.

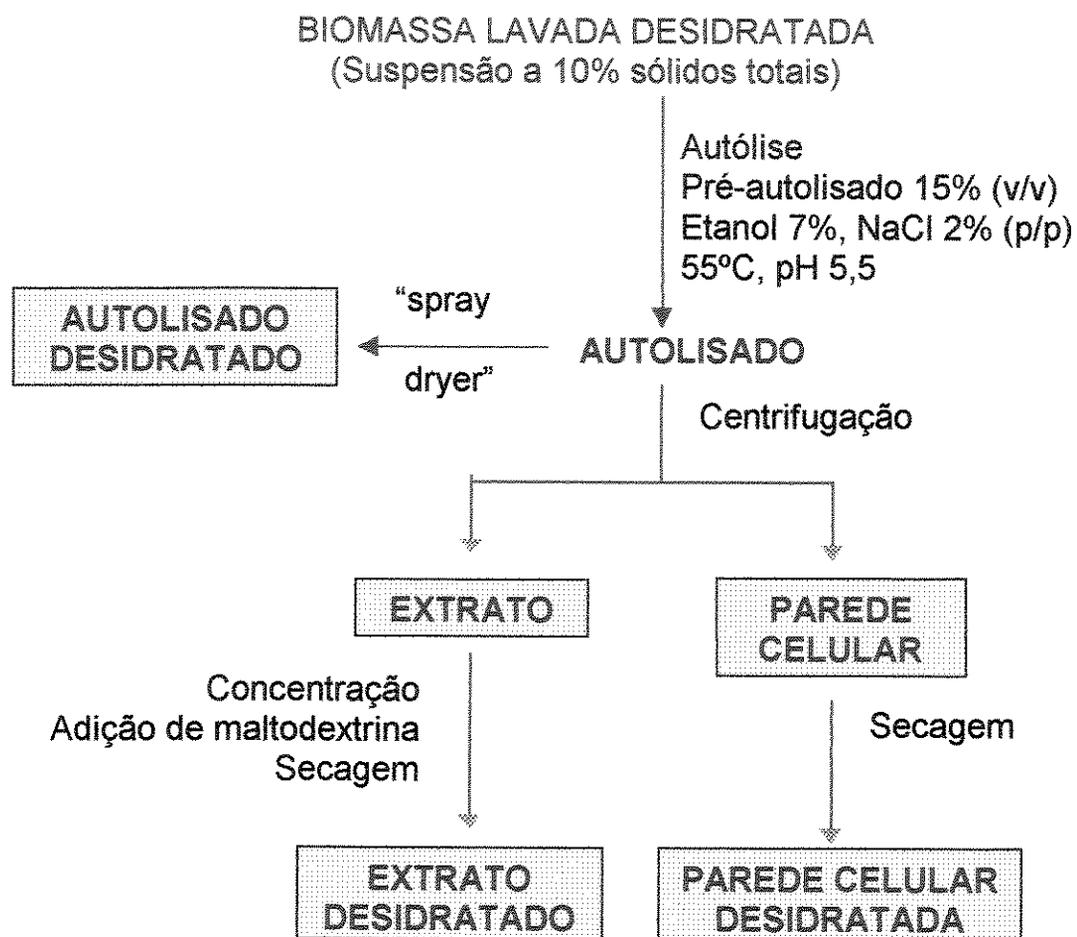


Figura 3: Fluxograma dos processos de autólise, fracionamento e secagem do autolisado, extrato e parede celular.

4.2 Produção das farinhas

4.2.1 Farinha de milho

Foi utilizada como base a farinha de milho comercial, obtida no mercado (fubá mimoso YOKI), devido à sua facilidade de processamento e

grande utilização em nossa cultura alimentar, seu baixo custo e o baixo valor nutricional de sua proteína, que poderia ser melhorado pela adição dos produtos de levedura e caseína, que têm proteína de melhor valor nutricional.

4.2.2 Caseína

A caseína utilizada nas formulações foi obtida a partir do processamento para obtenção de proteínas de soro de leite por ultrafiltração. Nesse processo, a caseína foi separada do leite por coagulação enzimática. O soro foi concentrado e diafiltrado por tecnologia de membranas, enquanto a caseína foi lavada para retirada dos remanescentes de soro. Em seguida, foi fragmentada em moinho coloidal (Meteor, mod. REX-2-AL) com a adição de água em pH 9,5 (NaOH 50%), na proporção de aproximadamente 1:1. A suspensão formada foi passada por uma peneira para retirada de fragmentos grosseiros e submetida à secagem em "spray dryer".

4.2.3 Extrusão das farinhas

4.2.3.1 Definição dos parâmetros de extrusão

Os parâmetros foram definidos visando um bom desempenho do extrusor e obtenção de um produto aceitável do ponto de vista tecnológico.

Foram estudados a **umidade e a temperatura**, que influem diretamente no grau de expansão radial do extrusado, no seu índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e viscosidade (GUTKOSK, 1997; VILELA, 1983), e **composição das farinhas** em função da proporção dos ingredientes utilizados.

Outros parâmetros como: tipo e velocidade de rotação do parafuso e formato da matriz, foram mantidos constantes, uma vez que neste trabalho não se buscou a otimização do processo de extrusão e sim o uso dessa tecnologia como uma operação unitária para obtenção de uma farinha viável, do ponto de vista tecnológico e comercial.

As condições utilizadas na etapa de definição das variáveis de extrusão são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis independentes adotadas na extrusão para as farinhas: F – farinha pura, FE – farinha mais 5% de extrato de levedura, FA – farinha mais 5% de autolisado de levedura.

Variáveis independentes			
Número dos Tratamentos	Produto	Temperatura (°C)	Umidade (%)
01		130	20
02		130	25
03	F – farinha pura	130	30
04		170	20
05		170	25
06		170	30
07		130	20
08		130	25
09	FE – farinha mais	130	30
10	5% de extrato de	170	20
11	levedura	170	25
12		170	30
13		130	20
14		130	25
15	FA – farinha mais	130	30
16	5% de autolisado de	170	20
17	levedura	170	25
18		170	30

Os dados levantados para avaliação do processo e das farinhas produzidas foram o Grau de Expansão Radial (GER), o Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA). Foi monitorado também o comportamento das farinhas quanto à viscosidade por meio do aparelho RVA (Rapid ViscoAnalyzer - Newport).

Além dos dados coletados, a observação do comportamento do extrusor durante o processo foi muito relevante na decisão das condições de extrusão a serem utilizadas.

O condicionamento das farinhas para as umidades desejadas foi feito pela adição de água por gotejamento e a homogeneização do material em misturador planetário (Brabender mod. 826.801). A quantidade de água adicionada foi calculada pela aplicação da seguinte expressão:

$$\text{ÁGUA} = \frac{(\text{Umidade Inicial} - \text{Umidade Final}) \times \text{peso da amostra}}{100 - \text{umidade final}}$$

Após a adição da água e homogeneização, as farinhas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração por aproximadamente 24h para uniformização da umidade.

Após o condicionamento, as farinhas foram processadas em extrusor de laboratório, marca Brabender (mod. 20D/N-GNF 1.014/2) tipo monorosca, com alimentador acoplado de velocidade de alimentação controlável, cilindro encamisado dividido em três zonas de aquecimento distintas com temperatura controlada por termopares, parafuso sem fim único apresentando taxa de compressão 3:1 e matriz circular com 0,435cm de diâmetro.

4.2.3.2 Definição do nível de adição dos derivados de levedura e caseína

Com a definição das condições de extrusão, a etapa seguinte foi de definição do nível de adição dos produtos de levedura e da caseína. Nessa etapa comparou-se os níveis de 5 e 10% e ainda tratamentos com 10% de adição de derivados de levedura mais 10% de caseína.

Na tentativa de conhecer melhor o comportamento do extrusor, da operação de extrusão e das farinhas mistas, decidiu-se novamente processar em dois níveis de umidade (22 e 25%), buscando-se o nível que desse um bom Grau de Expansão Radial (GER) e que permitisse um bom funcionamento do equipamento.

A temperatura de extrusão foi mantida em 170°C para todos os tratamentos.

A Tabela 3 mostra a composição e as condições de extrusão dos processamentos realizados.

Tabela 3: Composição e condições de extrusão das várias farinhas mistas obtidas.

Farinha Mista (Código)*	Autolisado (g)	Extrato (g)	Caseína (g)	Fubá (g)	Água (mL)
FA _{5,25}	50	—	—	700	250
FA _{5,22}	50	—	—	730	220
FA _{10,25}	100	—	—	650	250
FA _{10,22}	100	—	—	680	220
FAC _{10/10,25}	100	—	100	550	250
FAC _{10/10,22}	100	—	100	580	220
FE _{5,25}	—	50	—	700	250
FE _{5,22}	—	50	—	730	220
FE _{10,25}	—	100	—	650	250
FE _{10,22}	—	100	—	680	220
FEC _{10/10,25}	—	100	100	550	250
FEC _{10/10,22}	—	100	100	580	220

Código*: F = farinha, A = autolisado, E = extrato,
 C = Caseína
 5 e 10 = níveis de adição
 22 e 25 = porcentagem de umidade
 Temperatura = 170°C para todos os tratamentos

4.2.3.3 Produção das farinhas escolhidas

Definidos os parâmetros da extrusão e a composição das misturas, partiu-se para a produção de 15kg de cada farinha, divididos em três lotes de 5kg cada. Cada lote foi extrusado em dias diferentes e colocado em

estufa a 60°C por aproximadamente 20h, para completar a secagem. Após a retirada da estufa, o material foi resfriado à temperatura ambiente e foi determinado o GER, que além de definir características do extrusado formado foi usado também para monitoramento da repetibilidade dos processamentos, dentro de cada formulação.

Concluídos os processamentos, os lotes de cada formulação foram moídos em moinho granulador (Term-O-Matic, Treu e Cia Ltda) usando uma peneira com malha de 0,25mm de diâmetro e homogeneizados.

4.3 Determinações químicas e físicas

4.3.1 Composição centesimal aproximada das farinhas

As análises foram feitas em triplicata com exceção da determinação de fibras que foi feita em quadruplicata.

- ◆ **Teor de Umidade:** Determinado em estufa a 105°C por 24h segundo método da AOAC (1998)
- ◆ **Teor de Proteína Bruta:** Determinado pelo método de micro-Kjeldahl através da quantificação do nitrogênio total (AOAC, 1998). Foram usados dois fatores distintos para conversão do teor de nitrogênio determinado nas amostra em valor de proteína bruta: 6,25 para as farinhas e 5,80 para os derivados de levedura.

- ◆ **Teor de Cinzas:** Foi realizado segundo o método descrito em AOAC (1998) pela carbonização das amostras seguida de incineração a 525°C por 24h.
- ◆ **Teor de Lipídios Totais:** Foi determinado de acordo com o método descrito por BLIGH & DYER (1959), pelo emprego dos solventes clorofórmio, (em duas etapas de 10 e 10 ml), metanol (20ml) e água (8 ml).
- ◆ **Fibra Alimentar:** Foi usado o método enzimático/gravimétrico que se baseia na gelatinização e hidrólise do amido e hidrólise das proteínas das amostras pela ação de enzimas, seguido de precipitação da fração fibra pela adição de etanol (AOAC, 1998; PROSCKY *et alii*, 1984).
- ◆ **Carboidratos:** O teor de carboidratos foi determinado por diferença, subtraindo de 100% a soma dos valores obtidos para as determinações anteriores.

4.3.2 Composição em aminoácidos

Feita por hidrólise da amostra com HCl 6N a 110°C por 22h, e posterior determinação em analisador automático de aminoácidos (DIONEX DX-300), com separação dos aminoácidos em coluna de troca catiônica e reação pós-coluna com ninidrina. O cálculo da concentração de cada aminoácido foi feito por comparação com mistura padrão de aminoácidos PIERCE.

4.3.3 Determinação de triptofano

Foi determinado pela hidrólise enzimática com pronase a 40°C por 24h, seguida de reação colorimétrica com dimetilamino benzaldeído (DAB) e nitrito de sódio, na ausência de luz e posterior leitura a 540nm (SPIES, 1967). A concentração de triptofano foi determinada a partir de uma curva padrão.

4.3.4 Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA)

Foram determinados segundo ANDERSON et alii (1969). Uma mistura contendo 2,5g das amostras e 30 ml de água foi mantida sob agitação por 30 min. Em seguida, o material foi centrifugado a 1611 x g. O sedimento úmido foi pesado e no sobrenadante foi determinado o resíduo seco (sólidos solúveis) após evaporação. Os índices foram calculados de acordo com as seguintes expressões:

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo de centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (b.s.)(g) - Peso do resíduo da evaporação}}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (b.s.)(g)}} \times 100$$

4.3.5 Viscosidade

A viscosidade das farinhas foi determinada usando-se o analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyzer), modelo RVA – 3D+ da Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália, provido do *software Termoclíne*.

O analisador rápido de viscosidade foi projetado para determinação de viscosidade de produtos amiláceos a partir de pequenas quantidades de amostra (3 a 4g), em um curto espaço de tempo (13 a 20 min). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento são monitoradas automaticamente por computador (WHALEN *et alii*, 1997).

O RVA expressa os resultados em uma curva onde são identificados vários parâmetros para avaliação da farinha como viscosidade final do produto após aquecimento, retrogradação do amido, temperatura de pasta, dentre outras. Essas informações são usadas para avaliar a qualidade de produtos amiláceos, determinar comportamento de produtos no cozimento, vida de prateleira de produtos, dentre outras características (NEWPORT SCIENTIFIC Pty. Ltd, 1998). A Figura 4 ilustra as curvas típicas registradas pelo RVA em função do tempo e da temperatura.

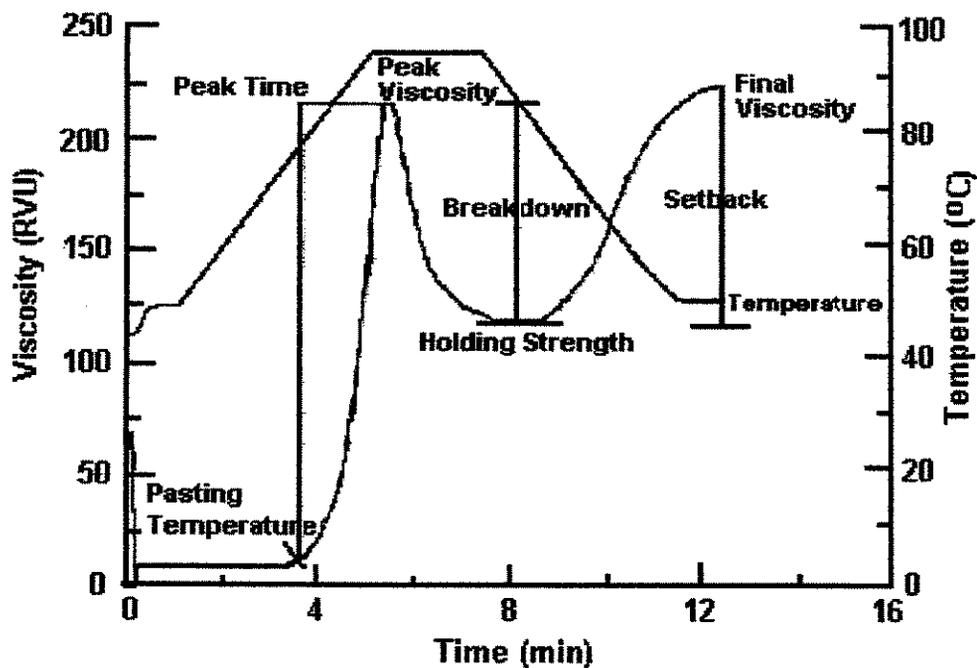


Figura 4: Curva de viscosidade típica gerada pelo Viscoanalyzer em função do tempo e da temperatura. Significado dos termos: Pasting temperature (temperatura de pasta); Peak viscosity (pico de viscosidade); Peak time (tempo para atingir o pico de viscosidade); Breakdown (queda da viscosidade); Holding Strength (resistência da amostra a aquecimento e agitação); Setback (retrogradação); Final viscosity (viscosidade final), temperature (curva da variação de temperatura).

4.4 Caracterização sensorial das farinhas extrusadas e de sopa tendo as farinhas extrusadas como base da formulação

A análise sensorial foi dividida em duas etapas sendo que na primeira, uma equipe de provadores realizou um exame comparativo para definição das características sensoriais das farinhas.

As amostras na forma de pó foram avaliadas quanto à aparência e, após preparo de mingau a 10% (p/v) em água mineral natural, foram avaliadas quanto a aparência, aroma, sabor e sensação na boca.

A segunda etapa foi o desenvolvimento de uma sopa instantânea utilizando as farinhas extrusadas como base. Essas sopas foram avaliadas sensorialmente, por 30 provadores não treinados, aplicando-se testes de ordenação e aceitabilidade (MEILGAARD *et alii*, 1987; ISO 8587, 1988). Foi solicitado a cada provador que ordenasse as amostras segundo sua preferência (1 = mais preferida até 5 = menos preferida). A avaliação da aceitabilidade global e do teor de sal de cada amostra foi feita por meio de escala hedônica de 9 pontos (1 = gostei extremamente até 5 = não gostei nem desgostei, 9 = desgostei extremamente). Para tanto, as amostras foram apresentadas em códigos de três números aleatórios segundo um delineamento de blocos completos casualizados. O teste foi conduzido em cabines individuais iluminadas com lâmpadas fluorescentes, com coleta e análise dos resultados realizadas pelo sistema computadorizado “*Compusense Five*” versão 4,2 para avaliação sensorial.

4.4.1 Sopa

Uma formulação de sopa foi desenvolvida utilizando-se as farinhas extrusadas como base. Os ingredientes utilizados na sopa e suas respectivas quantidades estão listados na Tabela 4.

Tabela 4: Formulação de sopa instantânea (quantidade para preparo de 1 litro de sopa).

Ingrediente	Quantidade (g)
Farinha extrusada	100,00
Caldo de galinha	6,67
Gordura vegetal hidrogenada	5,00
Sal	10,00
Urucum	0,43
Páprica picante	1,33
Salsa/alho/cebola*	2,00
Alho em pó	1,67
Cebola em pó	1,17
Açúcar	2,50
Mandioquinha*	6,67
Cenoura*	6,67
Tomate*	3,33

* em flocos.

A sopa foi preparada adicionando-se à mistura seca, água fervente e o tempo de cozimento foi de 10 minutos.

4.5 Ensaio Biológico

- ◆ **Dietas:** As dietas foram formuladas com base na recomendação da AIN-93 (REEVES *et alii*, 1993), dietas de crescimento para ratos, com algumas modificações necessárias para mantê-las isocalóricas e isoprotéicas em função da composição centesimal das farinhas (Tabela 5).

Tabela 5: Composição geral das dietas comparadas à AIN-93G (composição para 1kg de dieta).

Ingrediente	AIN-93G	Grupo Farinhas
Amido	493,48	Complemento p/ 1kg
Proteína	100	80
Maltodextrina	132	—*
Sacarose	100	—*
Óleo	70	70
Fibra	50	40**
Mineral	35	35
Vitamina	10	10
L-Cistina	3	3
Bitartarato de Colina	2,5	2,5
Tert-butil hidroquinona	0,014	0,014

* Não foram adicionadas devido ao alto teor de carboidratos das farinhas extrusadas

** As farinhas testadas apresentaram alto teor de fibras, excedendo às recomendações da AIN.

- ◆ **Animais:** Foram usados 48 ratos machos recém desmamados da linhagem Wistar, pesados inicialmente e divididos por sorteio em 6 grupos com 8 animais. Cada rato foi mantido em gaiola individual com dieta e água oferecidas “ad libitum”, em laboratório apropriado com

temperatura controlada a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ e período de claro/escuro automático de 12h.

O ensaio teve duração de 21 dias sendo os 7 primeiros dias de adaptação, 7 dias intermediários nos quais foram coletadas as fezes dos animais para determinação de Digestibilidade Verdadeira (Dv) e 7 dias restantes para complementação dos dados para o cálculo de ganho de peso, o quociente de eficiência protéica (PER - Protein Efficiency Ratio) e o quociente de eficiência líquida da proteína (Net Protein Ratio – NPR) (SGARBIERI, 1996). Os animais foram pesados em intervalos de dois dias, fazendo-se também, o controle do consumo das dietas.

As fezes coletadas no ensaio foram moídas e o teor de nitrogênio total determinado pelo método de micro-Kjeldahl (AOAC, 1998).

4.6 Análise estatística dos resultados

Os resultados experimentais da extrusão e ensaio biológico foram analisados utilizando a ANOVA e teste de Tukey para comparação entre as médias. Os resultados foram processados pelo programa Statistic for Windows (STATSOFT, INC., 1995).

Na análise sensorial, os dados de ordenação foram analisados estatisticamente, com base na análise de Friedman e Teste de Fisher (MEILGAARD *et alii*, 1987; ISO 8587, 1988) para comparação entre amostras, enquanto os dados relativos à escala hedônica foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey para comparação das médias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Obtenção e processamento da levedura

O processamento da levedura mostrou-se satisfatório, considerando-se as condições limitantes de processamento, que foi realizado em nível piloto. Em linhas gerais seguiu-se o processo reportado por SGARBIERI *et alii* (1999). O rendimento do processo foi de 45% (proteína no extrato/proteína total). Esse rendimento pode variar de 35 a 70%, estando relacionado ao tipo de levedura e condições de obtenção do extrato. Outro fator que influi no rendimento é o nível de atividade das enzimas intracelulares. Na produção de álcool, a mesma cultura de células é utilizada diversas vezes (em muitos casos durante a safra inteira); isso resulta em uma levedura com parede celular muito rígida e enzimas pouco ativas.

A Tabela 6 mostra os resultados de composição centesimal e valor biológico obtidos para as frações utilizadas nesse trabalho, autolisado e extrato de levedura.

Tabela 6: Composição centesimal média, em base seca, e índices biológicos determinados para o autolisado e o extrato de levedura.

Composição centesimal (g/100g)*		
	Autolisado	Extrato
Proteína (N x 5,80)	37,1	44,8
Lipídios	1,9	0,5
Fibra alimentar	40,6	3,9
Cinzas	6,7	13,1
Carboidratos	13,7	37,7****
Índices biológicos		
	Autolisado	Extrato
Digestibilidade Verdadeira	76,6	91,1
PER	3,7	3,5
NPR	4,2	3,9
EAE**	≥1,0	0,9 (Leu)***

* em base seca

** escore de aminoácidos essenciais

*** aminoácido ligeiramente limitante

**** o teor elevado de carboidratos no extrato, se deve à adição de 25% (p/p) de maltodextrina em relação aos sólidos totais

5.2 Produção das farinhas

5.2.1 Definição dos parâmetros de extrusão (triagem de variáveis)

Essa etapa foi realizada para definição das condições de extrusão que propiciassem a obtenção de farinhas mistas, contendo derivados de

levedura que atendessem aos objetivos deste trabalho. Não se buscou otimização do processo, e sim a utilização da extrusão como uma operação unitária que envolve formulação, cozimento e alterações de propriedades funcionais dos produtos. Seguindo esse conceito alguns parâmetros de avaliação foram subjetivos e outros baseados em dados experimentais.

As condições de temperatura e umidade foram avaliadas com base nas características do produto extrusado e também nas condições de funcionamento do extrusor, que variaram em função dessas duas variáveis. A adição de derivados de levedura também interferiu no processamento. As farinhas adicionadas de autolisado foram mais difíceis de processar, provavelmente por ser um material rico em fibras alimentares que absorvem e retêm a água presente nas farinhas.

Alguns aspectos observados subjetivamente foram: variação no torque (constante ou irregular), barulhos estranhos durante a extrusão (ruidos e estalos não característicos), fluidez do material ao longo do processo (o material saía da matriz sem interrupções, continuamente), entupimento da matriz e do cilindro/parafuso (não entupimento e fácil limpeza ou entupimento com necessidade de interromper-se o processamento). O Grau de expansão radial (GER) de diferentes formulações e diferentes tratamentos (temperaturas, teores de umidade) é apresentado no gráfico da Figura 5.

Grau de expansão radial (GER) Triagem

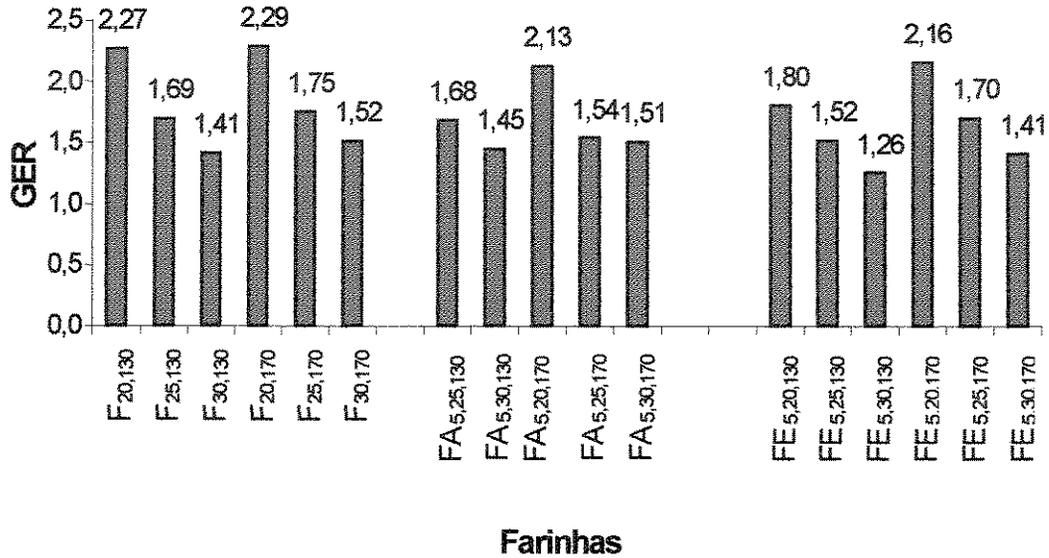


Figura 5: Representação gráfica do grau de expansão radial da farinha de milho extrusada (F), farinha de milho com 5% de autolisado (FA) ou extrato de levedura (FE), extrusadas em diferentes temperaturas (130 e 170^oC) e teores de umidade (20, 25 e 30%).

O GER expressa a expansão do extrusado em relação ao diâmetro do orifício da matriz. Foram tomadas, aleatoriamente, 20 amostras do produto formatado, medindo-se o diâmetro destas com um paquímetro e em seguida o diâmetro do orifício da matriz, calculando-se a relação diâmetro do extrusado/diâmetro da matriz.

A expansão do extrusado ocorre tanto no sentido longitudinal quanto no radial e essa expansão está intrinsecamente relacionada com o teor de umidade e a temperatura de extrusão (MILLER, 1985). Valores altos de

GER indicam que a expansão do material extrusado em relação ao orifício da matriz utilizada foi maior, e isso é consequência das variáveis do processo e do tipo de farinha.

No caso da farinha de milho processada, observou-se que as maiores expansões foram nas condições de menor umidade (20%) e maior temperatura (170°C). MILLER (1985), WHALEN *et alii* (1997) e RHEE *et alii* (1999) mostraram uma relação inversamente proporcional entre a expansão do material e o teor de umidade. MILLER (1985) justifica esse fenômeno pela relação entre a quantidade de água e a força do gel formado no processo. Em altas umidades o gel é mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes. No caso de baixa umidade na farinha, a matriz formada na extrusão tem células grandes e pouco uniformes, pois o gel formado é pouco elástico. No caso da temperatura, o GER aumenta até um determinado valor para depois decrescer, e isso depende do tipo de farinha (SINGH *et alii*, 1994).

A adição de derivados de levedura resultou na diminuição do GER, que pode ser interpretada como uma decorrência da baixa capacidade de formação de gel do extrato e do autolisado, interferindo assim na gelatinização da mistura.

Apesar dos resultados, estas condições foram pouco operacionais para o equipamento, principalmente no caso das farinhas adicionadas de autolisado de levedura, tornando inviável sua utilização.

As condições de menor temperatura (130°C) e maior umidade (30%) apresentaram os menores GER e os produtos apresentaram-se bastante escuros, duros e de aspecto irregular, sendo também descartadas. RHEE *et*

alii (1999) também observaram que em altas umidades o material obtido era muito rígido.

A faixa intermediária de umidade (25%) apresentou GER e operacionalidade do extrusor satisfatórios. No entanto, os produtos obtidos com a temperatura mais baixa (130°C) apresentaram aspecto bastante irregular, com trechos menos expandidos e outros mais expandidos, enquanto que na temperatura de 170°C, os produtos apresentaram-se com aspecto bem mais uniforme.

Quanto ao comportamento do extrusor, as condições de baixa umidade (20%) e baixa temperatura (130°C) apresentaram os piores resultados, com muitas anomalias no comportamento do equipamento e, no caso da formulação FA_{5,20,130}, não foi possível coletar amostra suficiente para realizar as análises, pois o material obtido apresentou-se muito irregular e houve entupimento do extrusor, obrigando à interrupção do processamento.

Como consequência dessa triagem das variáveis definiu-se que as condições de extrusão mais adequadas foram:

- Temperatura extrusão: 170°C
- Temperatura do estágio de alimentação: 80°C
- Temperatura do estágio de mistura: 100°C
- Umidade: 25%
- Parafuso: relação de compressão 1:3
- Velocidade do parafuso: 150rpm
- Alimentação: 85g/min

5.2.2 Definição do nível de adição de derivados de levedura e caseína

Nessa etapa comparou-se os níveis de 5 e 10% de adição de derivados de levedura à farinha de milho. Estes foram escolhidos, com base em informações fornecidas pela etapa de triagem, onde adicionou-se 5% em todos os tratamentos, e foi observado que já nesse nível a adição de autolisado à farinha de milho gerava certa dificuldade na extrusão. A adição de valores muito acima de 10% poderia impossibilitar o processamento da farinha nas condições escolhidas.

Outros parâmetros considerados para a escolha dos níveis de adição testados foram os resultados anteriores obtidos na análise sensorial, realizados em biscoitos adicionados de derivados de levedura (desenvolvidos em projeto paralelo), que indicaram o valor de 5% como limite de adição. Valores acima deste nível de 5% levaram à uma menor aceitação do produto pelo consumidor.

Na formulação de sopas de preparo rápido são adicionados condimentos, legumes, carnes, etc, juntamente com a farinha mista. Além disso, durante o preparo de sopas ocorre uma diluição do produto com água. Essa premissa justificou o aumento do nível de adição para 10%, testando-o juntamente com o nível de 5% e verificando os tipos de farinha obtidos no processo.

O GER novamente foi determinado e os valores obtidos em função dos níveis de adição à farinha e da umidade (22 e 25%) para os tratamentos com extrato (FE), com extrato+caseína (FEC), com autolisado (FA) e com autolisado+caseína (FAC) estão representados, numérica e graficamente, na Figura 6.

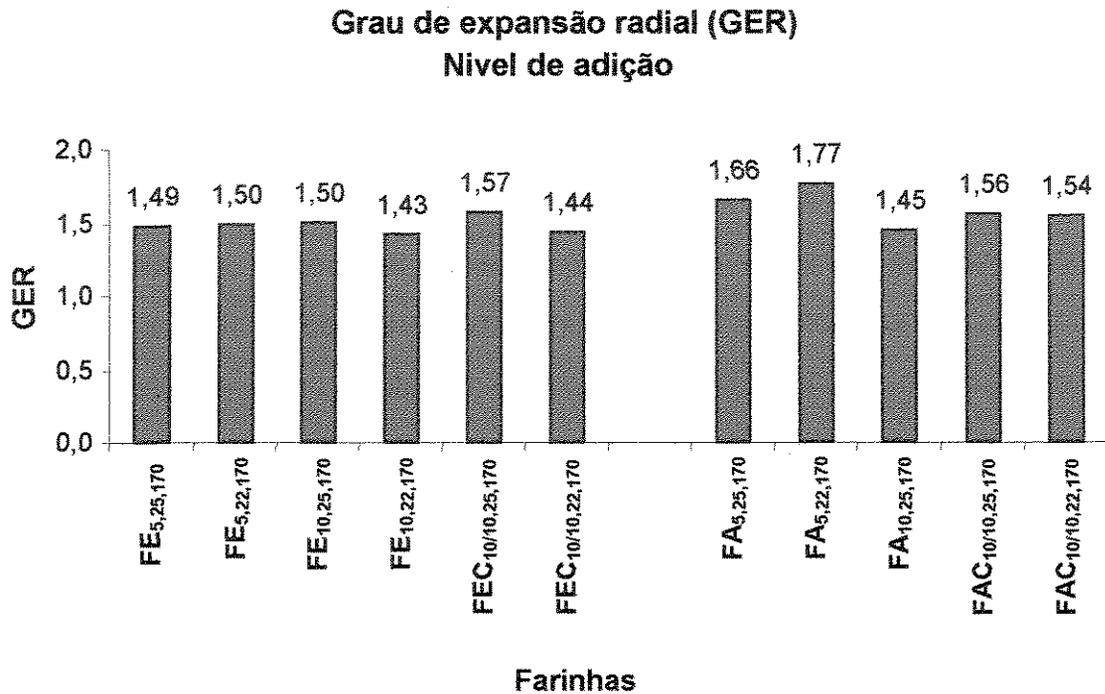


Figura 6: Grau de expansão radial da farinha de milho adicionada de diferentes proporções de autolisado ou extrato de levedura, ou ainda, extrato ou autolisado mais caseína, extrusada a 170°C com diferentes teores de umidade.

Para o GER, não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre a adição de 5 ou 10% de extrato de levedura.

No caso dos tratamentos com autolisado, a adição de 10% promoveu uma queda do GER comparado com o nível de 5%. No entanto, a 10% de adição, o GER foi similar entre o extrato e o autolisado. A adição de caseína não alterou significativamente o GER das farinhas adicionadas de extrato ou autolisado ($p \geq 0,05$).

A variação no teor de umidade interferiu pouco do ponto de vista do GER, mas foi significativa no aspecto de funcionamento do extrusor. A 22% de umidade houve maior incidência de ruídos estranhos e irregularidades no material extrusado. O processamento da farinha com 10% de autolisado, 22% de umidade a 170°C (FA_{10,22,170}) não foi possível devido ao comportamento anormal do extrusor.

Aparentemente a adição de autolisado tem maior interferência nas propriedades das farinhas obtidas que o extrato. Isso pode ser em decorrência de sua composição centesimal, mais complexa, com alto teor de fibras. No caso do extrato, os teores de proteínas parcialmente hidrolisadas pela autólise e carboidratos simples (maltodextrina na maioria) representam 82% da composição, levando-se a crer que estas substâncias têm comportamento mais favorável ao processo de extrusão nas condições utilizadas .

Nessa etapa, para indicação de nível de adição, também foram determinados o Índice de Solubilidade em Água (ISA) e o Índice de Absorção de Água (IAA).

O IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos e da capacidade de formação de gel das macromoléculas (GOMEZ & AGUILERA, 1983). Esse índice está relacionado com a capacidade de absorção de água dos constituintes da matéria prima. Durante a extrusão, os grãos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. Os grãos de amido gelatinizados absorvem mais água que os grãos de amido no estado natural, e as proteínas, devido a mudanças conformacionais em suas estruturas como alteração no seu balanço hidrofílico-hidrofóbico, dentre outros fatores provocados pela extrusão,

podem contribuir para o aumento ou diminuição do IAA (CARDOSO FILHO, 1993).

O ISA depende da quantidade de moléculas solúveis e está relacionado com a degradação dos constituintes da matéria-prima. Está relacionado também com o grau de gelatinização e/ou dextrinização do amido (WHALEN *et alii*, 1997). Em produtos extrusados, esse efeito leva a um aumento da solubilidade pela liberação de amilose e amilopectina dos grânulos, que são danificados no processo. A extrusão também pode levar à formação de compostos de baixo peso molecular, em condições drásticas de processamento, influenciando assim no valor de ISA (GUTKOSKY, 1997).

Os valores de IAA e ISA para as farinhas mistas extrusadas, em várias condições, na etapa para determinação do nível de adição de derivados de levedura, estão mostrados na Figura 7.

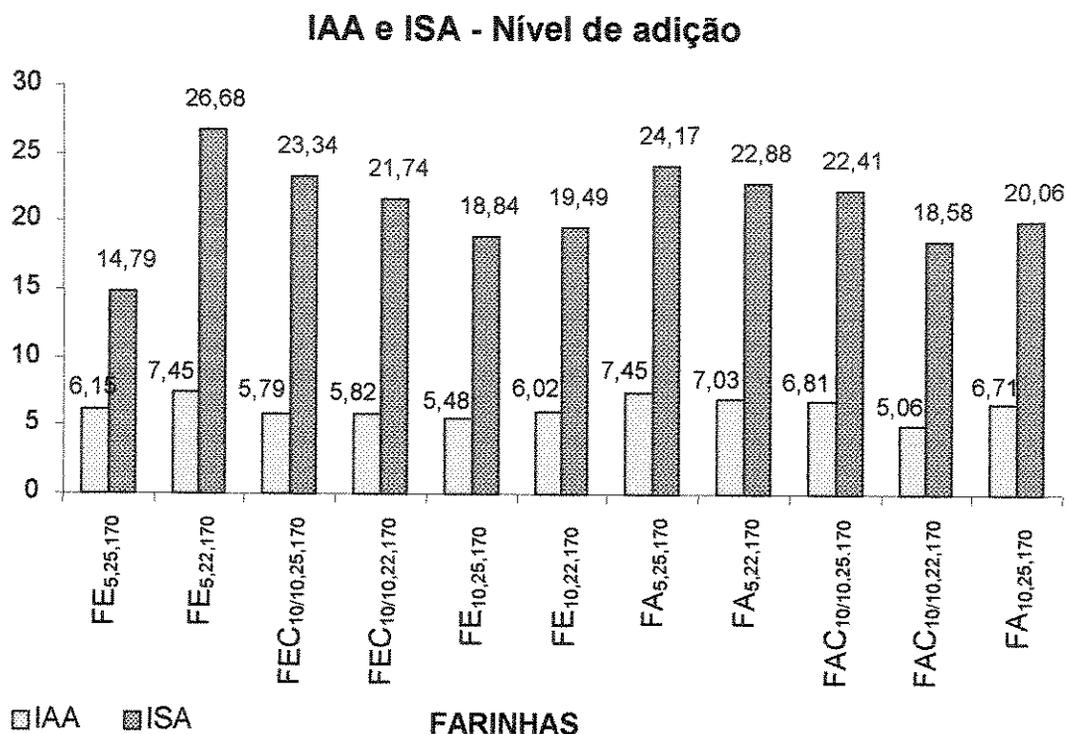


Figura 7: Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) de farinhas extrusadas a 170°C, a 22 e 25% de umidade inicial e diferentes composições.

O IAA foi expresso em gramas de água retida no precipitado por grama de amostra original. O ISA exprime a quantidade de fração solúvel em gramas por 100g de amostra.

A adição de derivados de levedura aumentou o IAA em relação à farinha de milho crua (IAA = 2,65), mostrando assim que, a extrusão promoveu a gelatinização do amido, ao mesmo tempo que expôs maior número de grupamentos hidrofílicos nas farinhas produzidas. No entanto, o

aumento no IAA não foi grande (média de duas vezes e meia), o que indica condições brandas de extrusão.

O aumento da adição de extrato modificou o IAA significativamente ($p < 0,05$), observando-se a diminuição do índice, independente da umidade (22 ou 25%). Isso mostra uma menor taxa de gelatinização do amido, provavelmente em decorrência do próprio aumento de extrato, em detrimento da quantidade de farinha de milho e, conseqüentemente, de amido na farinha mista. O alto teor de maltodextrina do extrato também pode interferir, diminuindo o IAA.

Um comportamento inverso foi observado para o autolisado, pois não houve diferença estatística entre os níveis de adição. Isso pode ser em decorrência do elevado teor de fibras presentes no autolisado, que promovem maior absorção de água, ou seja, o teor de amido é diminuído pela adição de mais autolisado, mas é compensado com a fibra. Essa hipótese pode ser reforçada pela observação do IAA das farinhas adicionadas de autolisado (FA e FAC), que se mostraram mais elevados que os das farinhas adicionadas de extrato (FE e FEC).

Ao nível de 10% de adição houve diferença significativa entre as farinhas adicionadas de autolisado e extrato ($p < 0,05$), sendo o IAA de FE menor que o de FA. Mais uma vez essa diferença pode ser atribuída ao teor mais elevado de fibras do autolisado.

A adição de caseína na proporção de 10% não causou alteração no IAA das farinhas, quando comparadas com as farinhas adicionadas de 10% de derivados de levedura somente.

O ISA para as farinhas adicionadas de derivados de levedura e derivados de levedura e caseína foram significativamente mais altos ($p < 0,05$) que para a farinha de milho crua (ISA = 2,21). Isso é decorrência do processo de extrusão que favorece a solubilização de componentes, como amido e proteínas, e também dos derivados de levedura, por serem parcialmente hidrolisados apresentando compostos de baixo peso molecular e terem alta solubilidade, favorecendo o aumento do ISA.

O aumento do nível de adição de derivados de levedura de 5 para 10% não alterou o ISA significativamente ($p \geq 0,05$), tanto para o extrato quanto para o autolisado.

Ao nível de 5% de adição houve diferença significativa ($p < 0,05$) no ISA entre as farinhas adicionadas de extrato ou de autolisado. No entanto, ao nível de 10% de adição, não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os tipos de derivado adicionado à farinha de milho.

Como no caso do IAA, a adição de caseína também não interferiu no ISA.

A variação no teor de umidade interferiu, em alguns casos, nos valores de ISA e IAA.

Desta etapa, foram definidos os níveis de adição de produtos de levedura em 10%, o nível de caseína foi fixado em 10%, e confirmou-se o teor de umidade de 25% (que não apresentou problemas quanto à operação do equipamento) para processamento das farinhas na temperatura de extrusão de 170°C.

5.2.3 Produção e caracterização física das farinhas com as formulações escolhidas

Segundo as etapas de triagem e de determinação dos níveis de adição, as farinhas mais adequadas e escolhidas para serem processadas foram:

- ◆ $F_{25,170}$: Farinha de milho sem adição.
- ◆ $FE_{10,25,170}$: Farinha de milho adicionada de 10% de extrato de levedura.
- ◆ $FA_{10,25,170}$: Farinha de milho adicionada de 10% de autolisado de levedura.
- ◆ $FEC_{10/10,25,170}$: Farinha de milho adicionada de 10% de extrato de levedura e 10% de caseína.
- ◆ $FAC_{10/10,25,170}$: Farinha de milho adicionada de 10% de autolisado de levedura e 10% de caseína.

As condições mantidas constantes foram: temperatura de extrusão de 170°C; umidade de 25%; parafuso com relação de compressão 3:1; velocidade do parafuso de 150rpm; alimentação de 85g/min; temperatura do estágio de alimentação de 80°C; temperatura do estágio de mistura de 100°C.

Os resultados do GER são apresentados na Figuras 8.

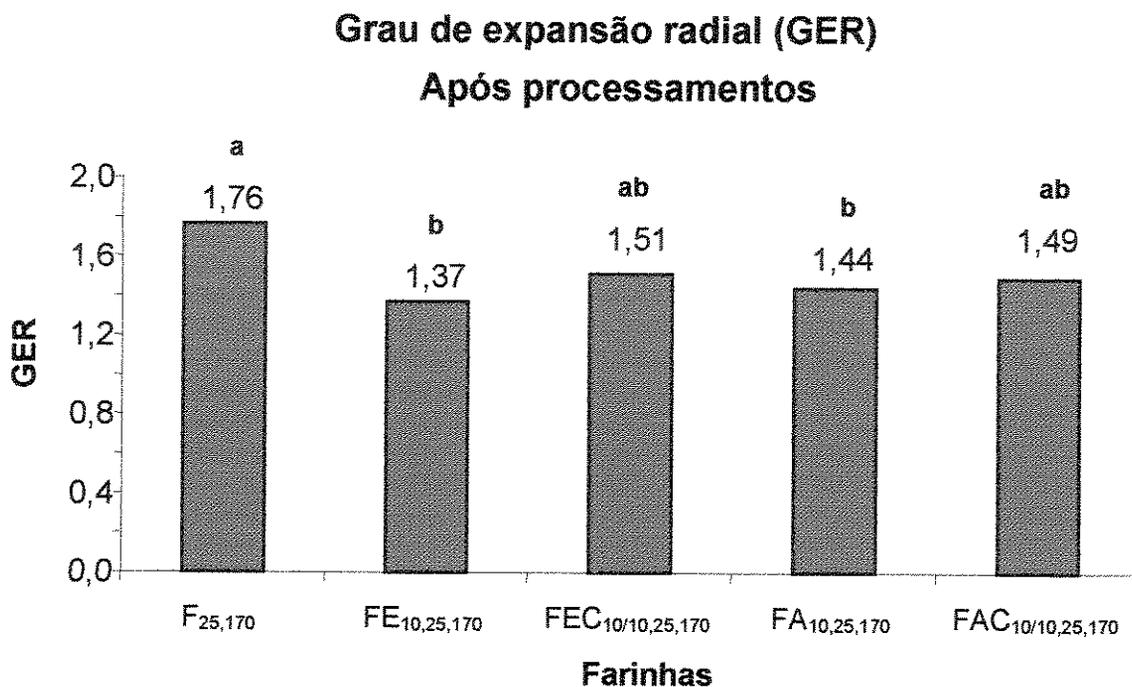


Figura 8: Graus de expansão radial da farinha de milho extrusada e das farinhas mistas adicionadas de autolisado ou extrato de levedura (10% p/p) ou adicionadas de derivados de levedura e de caseína (10/10% p/p).

^{a,b,c,d} Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Os valores de IAA e ISA, apresentados na Figura 9, da etapa de processamento diferiram um pouco dos obtidos na etapa de definição dos níveis de adição. A comparação entre a farinha de milho crua e a farinha de milho extrusada permitiu melhor interpretação sobre o processo de extrusão e sobre as características das farinhas obtidas.

IAA e ISA - Após processamentos

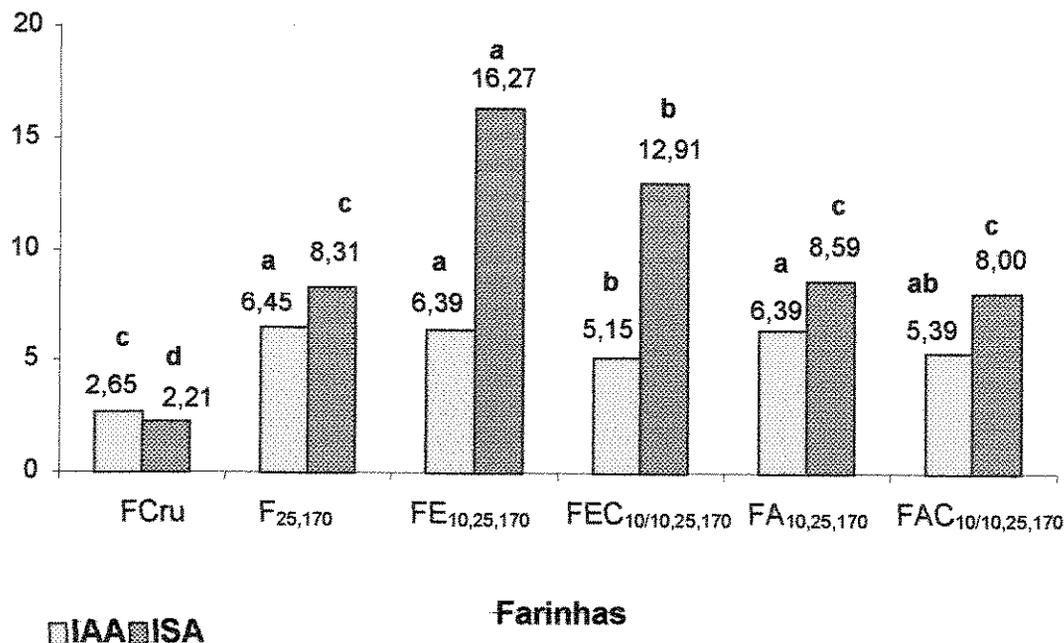


Figura 9: Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) de farinha de milho crua e extrusada e farinhas mistas extrusadas, processadas a 170°C e 25% de umidade.

a,b,c,d Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

O IAA para a farinha de milho extrusada foi de aproximadamente duas vezes o da farinha de milho crua, enquanto que o ISA para farinha de milho elevou de 4 vezes com a extrusão. Esse resultado se deve à utilização de condições brandas de processamento.

Não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre as farinhas adicionadas de extrato ou autolisado (FE ou FA), mostrando novamente que o tipo de derivado de levedura adicionado não interfere no IAA. Os índices para as farinhas mistas também não diferiram estatisticamente ($p \geq 0,05$) do

determinado para a farinha de milho extrusada sem adição de derivados de levedura.

Não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre a farinha adicionada de autolisado (FA) e a farinha adicionada de autolisado e caseína (FAC). No caso das farinhas adicionadas de extrato de levedura ou extrato de levedura e caseína (FE e FEC) houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre elas quanto ao IAA. Isso pode ser em decorrência da adição de caseína, que estando desnaturada, apresenta baixa capacidade de absorção de água e baixa solubilidade, sendo comprovado pelo valor de IAA para FEC que é inferior ao de FE. No caso das farinhas adicionadas de autolisado, também houve uma queda do IAA de FA para FAC, mas o alto teor de fibras do derivado de levedura compensou a formação dos compostos insolúveis.

A farinha mista, adicionada de extrato, apresentou o valor mais elevado para o ISA seguida da farinha adicionada de extrato e caseína, em virtude da alta solubilidade do extrato de levedura e a predominância de compostos de baixo peso molecular em sua composição.

Não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre a farinha extrusada sem adição de derivados de levedura (F) e as farinhas adicionadas de autolisado (FA) e autolisado e caseína (FAC) quanto ao ISA.

A farinha de milho crua apresentou o menor valor de ISA, sendo este aproximadamente quatro vezes menor que na farinha extrusada. Esses valores mostram o efeito da extrusão sobre a farinha, aumentando a solubilidade pela destruição dos grânulos de amido e hidrólise parcial de macromoléculas.

Alterações significativas foram observadas na viscosidade das farinhas tanto em função da formulação como da extrusão.

O amido nativo existe como grânulos microscópicos em que as moléculas de seus componentes se arranjam radialmente, formando camadas concêntricas alternadas por regiões amorfas e regiões cristalinas. O amido é um polímero de glicose formado por dois tipos de moléculas: amilose que tem uma estrutura basicamente linear e a amilopectina, de estrutura altamente ramificada. Quando o amido é adicionado à água e aquecido, torna-se túrgido, até um ponto em que ocorre o rompimento do grânulo e a liberação, principalmente da amilose, para o solvente. Estes fenômenos são caracterizados por variações na viscosidade da suspensão. O analisador de viscosidade (RVA) é capaz de monitorar essa variação de viscosidade e expressá-la em uma curva de viscosidade x tempo (NEWPORT SCIENTIFIC Pty. Ltd, 1998).

A extrusão é definida como um processo termoplástico, onde o atrito e o trabalho mecânico, juntamente com o calor, promovem a gelatinização do amido e desnaturação de proteínas, alterando texturas e possibilitando a moldagem do material extrusado em formas diversas (VILELA, 1989; CARDOSO FILHO, 1993; ING-JENG *et alii*, 1997). Isso significa que os grânulos de amido são danificados no processo de extrusão, alterando sensivelmente o comportamento deste no cozimento e, conseqüentemente, na análise pelo RVA.

A Figura 10 apresenta diversas curvas de viscosidade obtidas pelo RVA para as farinhas em estudo. O Gráfico 1, mostra a diferença de comportamento, ao longo das análises, entre farinha de milho crua, a farinha de milho extrusada e as farinhas mistas extrusadas. Os demais

gráficos mostram as diferenças entre cada tipo de farinha, antes e após a extrusão. Os valores apresentados no final de cada curva são de viscosidade final. Pode-se notar a diferença entre as farinhas mistas antes e após a extrusão, A simples adição de produtos de levedura, caseína e água já altera, sensivelmente, a viscosidade final.

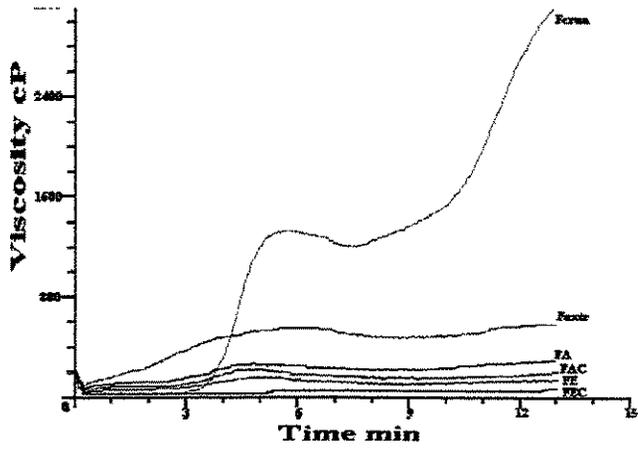


Gráfico 1

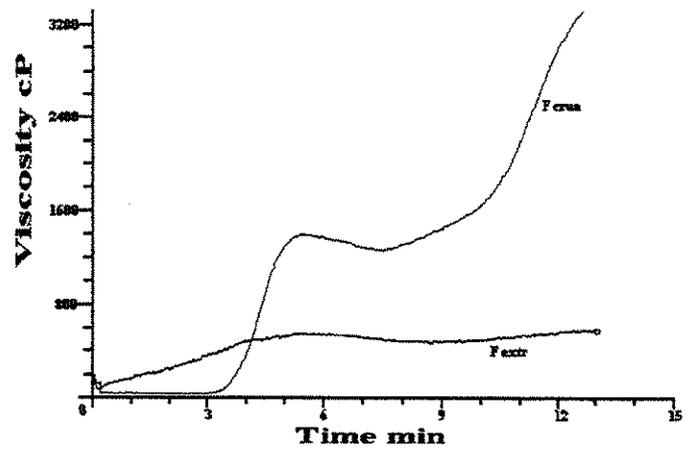


Gráfico 2

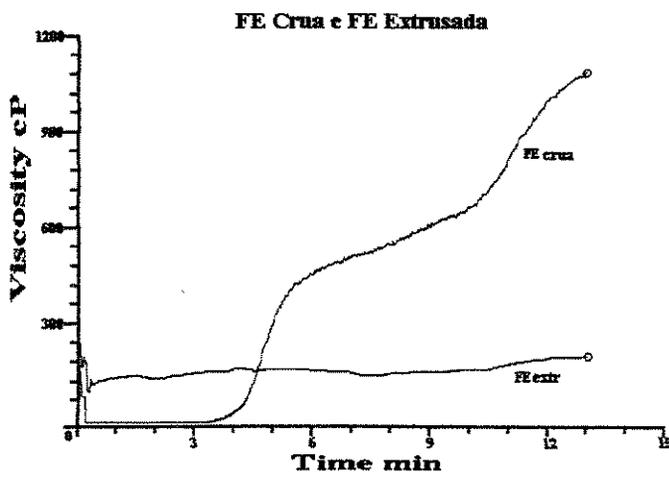


Gráfico 3

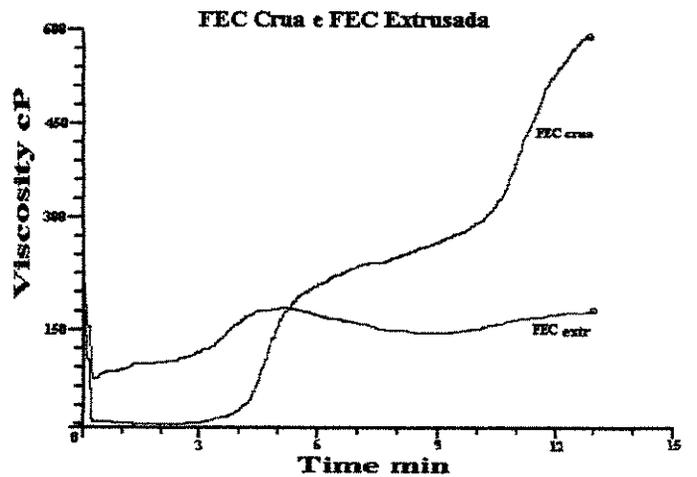


Gráfico 4

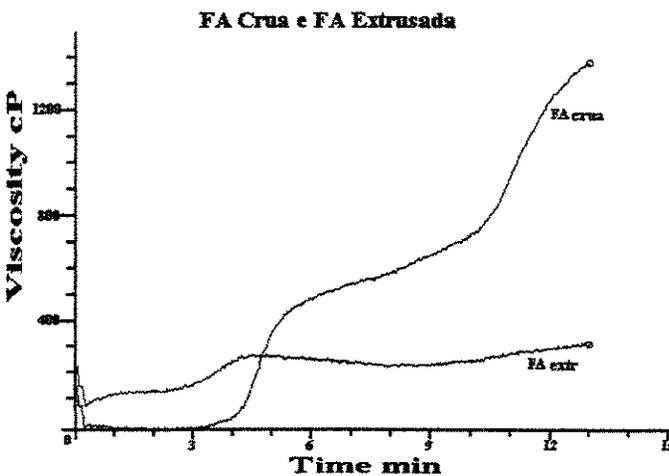


Gráfico 5

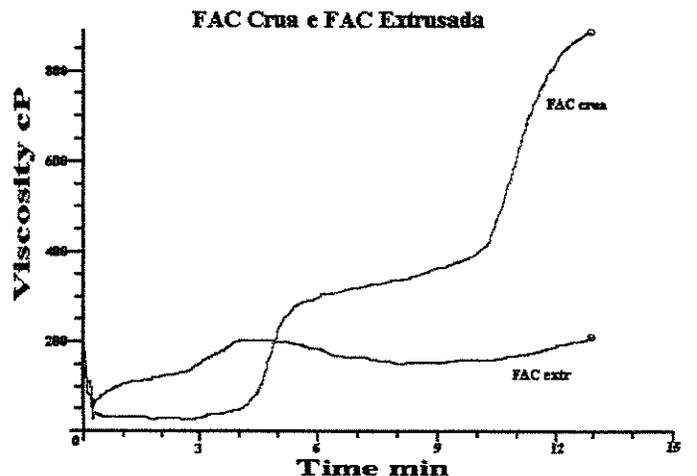


Gráfico 6

Figura 10: Curvas de viscosidade (centipoise - cP) das farinhas em função

do tempo (min) e da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), para farinhas cruas e extrusadas (170°C e 25% de umidade).

As farinhas extrusadas não mostraram grande variação na viscosidade ao longo da análise, demonstrando uma baixa taxa de retrogradação, o que é uma característica favorável na formulação de sopas.

As farinhas extrusadas apresentaram baixa viscosidade final. No entanto, nesses valores a suspensão adquiriu uma consistência adequada para sopas, levando à indicação de uma concentração média de 12% das farinhas, na etapa de formulação.

A Figura 11 mostra os valores de viscosidade final entre a farinha de milho crua e extrusada e farinhas extrusadas adicionadas de derivados de levedura e derivados de levedura/caseína. As farinhas mistas não apresentaram diferença estatística entre si, mas diferiram da farinha de milho extrusada sem adição ($p < 0,05$), indicando que a adição dos derivados de levedura e de caseína interfere no rearranjo das moléculas de amido durante o resfriamento, diminuindo ainda mais a viscosidade nessa etapa.

Viscosidade Final na análise do RVA

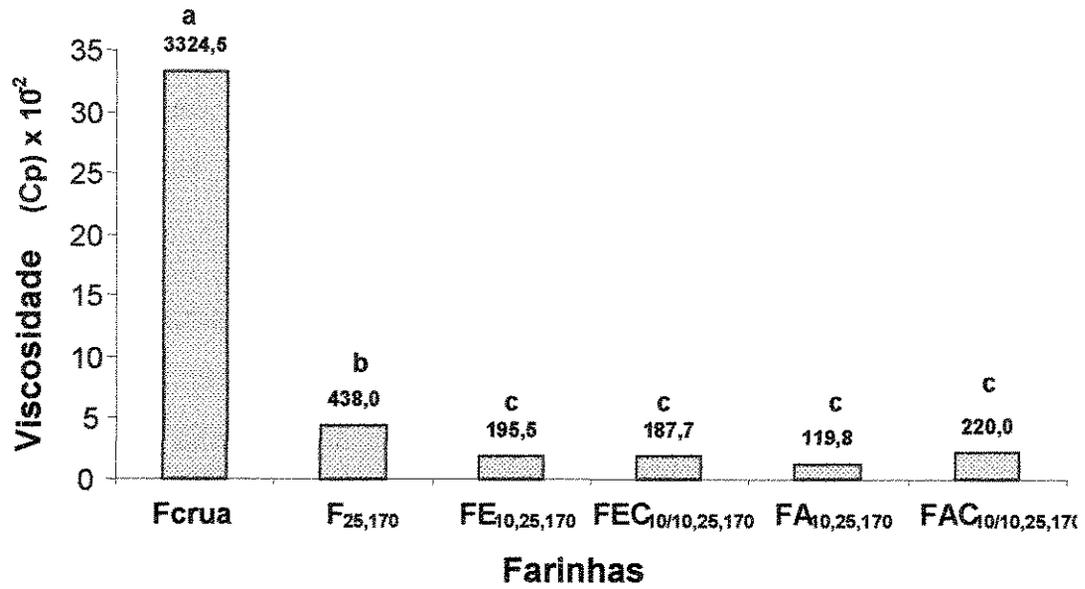


Figura 11: Viscosidade final das farinhas de milho, crua e extrusada e de farinhas mistas extrusadas.

^{a,b,c} Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

5.3 Análise Sensorial

As características da farinha de milho extrusada, farinhas mistas com adição de derivados de levedura e adição de derivados de levedura e caseína são descritas a seguir.

F_{25,170}: Farinha de milho extrusada

- ◆ **Aparência:** pó fino e solto de coloração amarela. Após preparo, formou-se um mingau mole, sem grumos, de coloração creme-amarelado claro.
- ◆ **Odor:** aroma característico de amido de milho cozido, característico de fubá
- ◆ **Sensação na boca:** textura fina, pouco farinhenta
- ◆ **Sabor:** característico de amido de milho cozido.

FE_{10,25,170}: Farinha de milho com 10% de extrato de levedura, extrusada.

- ◆ **Aparência:** pó fino e solto de coloração amarelo acastanhado. Após preparo, formou-se um mingau mole e sem grumos de coloração creme-acastanhado escuro.
- ◆ **Odor:** aroma característico de milho cozido com leve aroma de caldo de carne

- ◆ **Sensação na boca:** farinhento
- ◆ **Sabor:** característico de amido cozido com gosto “umami”, levemente ácido e salgado.

FEC_{10/10,25,170}: Farinha de milho com 10% cada de extrato de levedura e caseína, extrusada.

- ◆ **Aparência:** pó fino e solto de coloração castanho-amarelado. Após preparo, formou-se um mingau mole sem grumos de coloração creme-acastanhado escuro.

- ◆ **Odor:** aroma característico de amido cozido com leve aroma caramelizado.

- ◆ **Sensação na boca:** farinhento

- ◆ **Sabor:** característico de amido cozido com leve sabor de caldo de carne, lembrando a “umami”. Muito levemente salgado.

FA_{10,25,170}: Farinha de milho com 10% de autolisado de levedura, extrusada.

- ◆ **Aparência:** pó fino e solto de coloração castanha. Após preparo, formou-se um mingau mole cremoso e sem grumos de coloração creme-acastanhado escuro.

- ◆ **Odor:** aroma característico de amido cozido

◆ **Sensação na boca:** farinhento

◆ **Sabor:** característico de amido cozido com leve sabor “umami”. Muito levemente picante.

FAC_{10/10,25,170}: Farinha de milho com 10% cada de extrato de levedura e caseína, extrusada.

◆ **Aparência:** pó fino e solto de coloração castanha. Após preparo, formou-se um mingau mole e sem grumos de coloração castanha-escura. Levemente esverdeada.

◆ **Odor:** aroma característico de amido cozido.

◆ **Sensação na boca:** farinhento e grudento.

◆ **Sabor:** característico de amido cozido com predominância do gosto “umami”.

Os derivados de levedura, principalmente o extrato, são usados em alimentos como flavorizantes, em virtude de seu alto teor de glutamato e de compostos potencializadores de sabor como os nucleotídeos, principalmente os do tipo 5'-GMP e 5'-IMP (SOMMER, 1996). Um dos sabores muito associado ao extrato de levedura é o sabor à carne.

Todas as farinhas adicionadas de derivados de levedura apresentaram característica de sabor “umami”, evidenciando a presença do glutamato. No caso das farinhas adicionadas de derivados de levedura/caseína o sabor foi menos intenso, e na farinha adicionada de extrato de levedura foi mais intenso, apresentando também sabor associado à carne.

A coloração mais escura das farinhas mistas extrusadas deve-se a dois fatores principais: cor dos derivados, castanho escuro para o extrato e castanho ligeiramente esverdeado para o autolisado, e reações de escurecimento (tipo Maillard) ocorridas durante o processo de extrusão.

Os resultados da avaliação sensorial das sopas formuladas a partir da farinha de milho extrusada e das farinhas mistas extrusadas são apresentados na Tabela 7 para ordenação quanto à preferência, aceitabilidade global e teor de sal.

Tabela 7: Resultados obtidos nos testes de ordenação quanto à preferência em relação ao sabor e aceitabilidade global e quanto ao teor de sal das amostras de sopa preparadas com farinha de milho extrusada e farinhas mistas extrusadas. Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de erro de 5%.

Farinhas (base p/ sopas)	Ordenação*	Aceitabilidade global**	Aceitabilidade quanto ao teor de sal**
FEC _{10/10,25,170}	78 ^b	3,9 ± 2,0 ^b	3,6 ± 1,6 ^b
F _{25,170}	81 ^b	3,4 ± 1,8 ^b	3,6 ± 1,7 ^b
FE _{10,25,170}	82 ^b	3,8 ± 1,8 ^b	3,9 ± 1,7 ^{ab}
FAC _{10/10,25,170}	100 ^{ab}	5,8 ± 2,3 ^a	4,7 ± 2,1 ^a
FA _{10,25,170}	109 ^a	5,8 ± 2,4 ^a	4,7 ± 2,1 ^a
D.M.S.	24,00	1,351	1,071

* Resultado expresso como a soma total da pontuação dada pelos provadores, segundo a ordem de preferência, de (1 para a mais preferida até 4 para a menos preferida). O somatório menor portanto, é para a

amostra mais preferida enquanto que o somatório maior representa a menos preferida.

**** Valores expressos como *Média ± Desvio-padrão*.**

D.M.S.: Diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Fisher para ordenação e pelo Teste de Tukey para aceitabilidade.

A sopa formulada a partir da farinha de milho adicionada de extrato de levedura e caseína (FEC) foi preferida ($p < 0,05$) quanto ao sabor. Estatisticamente, a sopa mais preferida não diferiu das sopas onde se utilizou farinha de milho extrusada (F), farinha adicionada de extrato de levedura (FE) e farinha adicionada de autolisado e caseína (FAC) que obtiveram segunda, terceira e quarta colocações. Por sua vez, a sopa formulada com farinha adicionada de autolisado (FA) foi menos preferida em relação ao sabor, diferindo estatisticamente das demais ($p < 0,05$).

Quanto à aceitabilidade global, as sopas contendo FEC, FE e F não diferiram estatisticamente entre si, todas obtendo médias situadas entre "Gostei" e "Gostei pouco". Estas três sopas foram melhor aceitas estatisticamente do que as contendo FAC e FA, que não diferiram estatisticamente entre si e obtiveram médias correspondentes a "Desgostei pouco" na escala utilizada.

Quanto ao teor de sal, as amostras FEC e F obtiveram médias situadas entre "Gostei" e "Gostei pouco", consideradas estatisticamente diferentes ao nível de probabilidade de 5%, das amostras de FA e FAC, as quais obtiveram médias correspondentes a "Não gostei nem desgostei". A amostra FE obteve média correspondente a "Gostei pouco", não diferindo estatisticamente das demais.

As sopas contendo FE, F e FEC obtiveram maior frequência de menções positivas como por exemplo “bom sabor, saboroso” e “bom teor de sal” que as demais, sendo consideradas com bom sabor. O sabor das sopas contendo FAC e FA foi considerado muito forte e picante.

Na Tabela 8 são apresentadas as porcentagens de aceitação, indiferença e rejeição associadas às sopas observando-se em geral, grande porcentagem de rejeição tanto de um modo global, quanto para o teor de sal das sopas onde se utilizou FA e FAC. As sopas com F, FEC e FE obtiveram porcentagens de aceitação semelhantes, sendo a sopa contendo FEC a que obteve melhor aceitação quanto ao teor de sal, e menor rejeição.

Tabela 8: Porcentagem de aceitação, indiferença e rejeição das amostras de sopas cremosas segundo aspectos avaliados.

SOPAS	Aceitação Global (%)			Teor de Sal (%)		
	Aceitação	Indiferença	Rejeição	Aceitação	Indiferença	Rejeição
F _{25,170}	76,7	10,0	13,3	73,3	10	16,6
FE _{10,25,170}	76,6	0,0	23,3	73,4	3,3	23,3
FEC _{10/10,25,170}	76,6	6,7	16,6	83,3	6,7	9,9
FA _{10,25,170}	33,4	3,3	63,4	53,3	16,7	29,9
FAC _{10/10,25,170}	36,6	0,0	63,4	53,3	10,0	36,6

5.4 Composição Centesimal aproximada das farinhas

A Tabela 9 mostra a composição centesimal aproximada das farinhas de milho crua e extrusada, das farinhas extrusadas com adição de derivados de levedura e/ou caseína.

Tabela 9: Composição centesimal média (em base seca) das farinhas de milho crua e extrusada e de farinhas mistas extrusadas.

Farinhas/ formulações	Proteína (%) (N x 6,25)	Lipídios Totais (%)	Fibra Alimentar Total (%)	Cinzas (%)	Carboidratos* (%)
Farinha crua	9,5	3,8	4,1	0,9	81,7
F _{25,170}	10,1	3,1	3,8	1,0	82,0
FE _{10,25,170}	13,9	2,0	2,5	2,2	79,4
FA _{10,25,170}	13,5	2,2	5,8	1,5	77,0
FEC _{10/10,25,170}	23,7	3,2	3,5	3,5	66,1
FAC _{10/10,25,170}	22,4	3,0	8,8	2,8	63,1

* calculado por diferença.

A adição de derivados de levedura promoveu um aumento no teor de proteínas em torno de 30%, em relação à farinha de milho crua. No caso das farinhas adicionadas de derivados de levedura e caseína, o aumento no teor de proteína foi em torno de 58%. Esse aumento se deve ao alto teor protéico da caseína.

Como esperado, os teores de fibra alimentar apresentaram-se mais elevados nas farinhas adicionadas de autolisado (FA e FAC), visto que o teor de fibra alimentar nesse derivado foi de 40,6%, muito superior àquele apresentado pelo extrato que foi de 3,9% (Tabela 6).

Os teores de cinzas em FE e FA foram mais elevados que nas farinhas de milho crua e extrusada. Isso se deve à adição de cloreto de sódio na autólise. No caso de FAC e FEC, além dos derivados de levedura, ainda foi usada a caseína que apresentou um teor de aproximadamente 9,3% (b.s.) de cinzas em sua composição.

O teor de lipídios totais não sofreu grande variação, estando um pouco abaixo no caso de FE e FA, provavelmente devido aos baixos teores de lipídios no autolisado e no extrato (1,9 e 0,5%, respectivamente).

5.5 Perfil de aminoácidos

A Tabela 10 apresenta os teores de aminoácidos das farinhas mistas, farinha de milho crua e farinha de milho extrusada sem adição de derivados de levedura. Os resultados foram expressos em gramas de aminoácidos por 100 gramas de proteínas.

Tabela 10: Perfis de aminoácidos das farinhas de milho (crua e extrusada) e das farinhas mistas extrusadas (g/100g de proteínas).

Aminoácidos	Farinha Crua	F 25,170	FE 10,25,170	FA 10,25,170	FEC 10/10,25,170	FAC 10/10,25,170	FAO/ WHO
Treonina	2,9*	2,9*	3,5	4,1	4,0	3,8	3,4
Metionina+Cisteína	2,4*	2,6	2,5	2,5	3,0	2,5	2,5
Valina	3,9	4,0	5,0	4,8	5,7	5,2	3,5
Leucina	12,1	12,5	10,9	10,4	10,3	9,8	6,6
Isoleucina	2,6*	2,9	3,8	3,7	4,3	3,9	2,8
Fenilalana+Tirosina	7,5	7,6	7,6	7,3	8,9	8,4	5,8
Lisina	2,6*	1,8*	5,5*	4,7*	6,2	6,2	5,8
Triptofano	0,6*	0,6*	1,0*	0,9*	1,0*	0,9*	1,1
Histidina	2,4	2,5	2,4	2,3	2,8	2,4	1,9
Cisteína	1,1	1,3	1,0	1,0	0,8	0,6	
Metionina	1,3	1,3	1,5	1,5	2,2	1,9	
Fenilalanina	4,6	4,7	4,7	4,5	4,9	4,8	
Tirosina	2,9	2,9	2,9	2,7	4,0	3,6	
Ácido .Aspártico	5,3	5,5	8,0	7,6	8,0	7,1	
Ácido Glutâmico	18,6	19,0	17,0	16,3	19,5	18,6	
Serina	4,4	4,5	4,8	5,1	5,4	5,2	
Prolina	8,4	9,6	7,0	6,9	8,7	8,3	
Glicina	3,1	3,1	3,9	3,6	3,1	2,7	
Alanina	7,1	7,3	7,7	7,3	5,5	5,1	
Arginina	2,9	3,0	3,0	3,1	3,6	3,1	

* Aminoácidos limitantes, em relação ao padrão (FAO/WHO, 1985)

A análise dos perfis de aminoácidos das farinhas, comparativamente aos valores recomendados pela FAO/WHO (1985) para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos, mostrou que a farinha de milho crua apresentou como limitantes os aminoácidos sulfurados (metionina+cisteína), isoleucina,

treonina, triptofano e lisina. A farinha de milho extrusada mostrou-se deficiente em treonina, triptofano e lisina, a mais limitante.

A diminuição do teor de lisina foi em torno de 25% e foi causada por sua termoinstabilidade.

Nas farinhas adicionadas de derivados de levedura, o triptofano e a lisina apareceram como aminoácidos limitantes, apesar do ligeiro aumento em seus teores.

As farinhas com a adição dos derivados de levedura e da caseína, apresentaram apenas o triptofano como aminoácido ligeiramente limitante.

Tanto para as farinhas adicionadas de derivados de levedura, quanto para as farinhas adicionadas de derivados e caseína, a diferença entre o perfil apresentado e o dos aminoácidos essenciais recomendados pela FAO/WHO (1985) foi pequena. Um aumento na adição de derivados de levedura provavelmente supriria as necessidades destes aminoácidos. No entanto, o aumento da adição desses derivados para valores acima de 10%, principalmente no caso do autolisado, implicaria em problemas no processamento das farinhas nas condições definidas. A adição dos derivados de levedura, mostrou-se eficiente quando à melhora do perfil de aminoácidos nas farinhas em geral.

5.6 Avaliação Nutricional

5.6.1 Digestibilidade

A digestibilidade é um parâmetro nutricional que mede a proporção do nitrogênio ingerido que é absorvido, ou seja, é a diferença entre o nitrogênio ingerido e o nitrogênio excretado nas fezes, dividido pelo nitrogênio ingerido.

A digestibilidade verdadeira é calculada pela expressão (SGARBIERI,1996) :

$$Dv = \frac{NI - NFa}{NI} \times 100$$

$$NFa = NF - NFe$$

Onde:

Dv = digestibilidade verdadeira

NI = nitrogênio ingerido

NF = Nitrogênio excretado nas fezes

NFa = nitrogênio fecal de origem alimentar

NFe = nitrogênio fecal de origem endógena

Os dados obtidos para a digestibilidade verdadeira da proteína das farinhas de milho crua e extrusada e farinhas mistas extrusadas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Digestibilidade Verdadeira (Dv) da proteína das farinhas de milho crua e extrusada e das farinhas mistas extrusadas

Fonte Protéica	Digestibilidade Verdadeira (%)
Farinha de milho crua	91,7^a ± 2,06
F_{25,170}	92,2^a ± 1,75
FE_{10,25,170}	85,2^{ab} ± 0,84
FEC_{10/10,25,170}	90,3^{ab} ± 0,29
FA_{10,25,170}	84,6^b ± 1,82
FAC_{10/10,25,170}	87,8^{ab} ± 1,48

^{a,b} Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes (p < 0,05).

A digestibilidade da proteína das farinhas de milho crua e extrusada não apresentou variação estatística (p ≥ 0,05), indicando que o processo de extrusão foi relativamente brando e não afetou significativamente esse parâmetro. Nas demais farinhas, houve uma ligeira queda nos valores de digestibilidade. Isso provavelmente ocorreu em virtude da maior reatividade das fontes protéicas provenientes dos derivados de levedura e da caseína, adicionadas à formulação das farinhas, que devem ter facilitado a formação de ligações químicas cruzadas durante o processo de extrusão (FERREIRA, 1990).

Os valores de digestibilidade para todas as farinhas foram maiores dos que os citados por SGARBIERI (1996), 76%, para milho integral.

5.6.2 PER e NPR

A proteína exerce um papel na formação dos tecidos do organismo e, quando de boa qualidade nutricional, o organismo cresce e ganha em peso. Ao contrário, se a proteína é deficiente, sob o ponto de vista nutricional, não promove o crescimento adequado. O NPR (quociente de eficiência líquida da proteína) e o PER (quociente de eficiência protéica) são índices que mostram a eficiência da proteína em promover crescimento através do quociente entre o ganho de peso do animal e a ingestão da proteína.

Os índices de valor protéico calculados (PER e NPR) para as farinhas de milho (crua e extrusada) e para as farinhas mistas extrusadas são mostrados na Figura 12.

PER e NPR

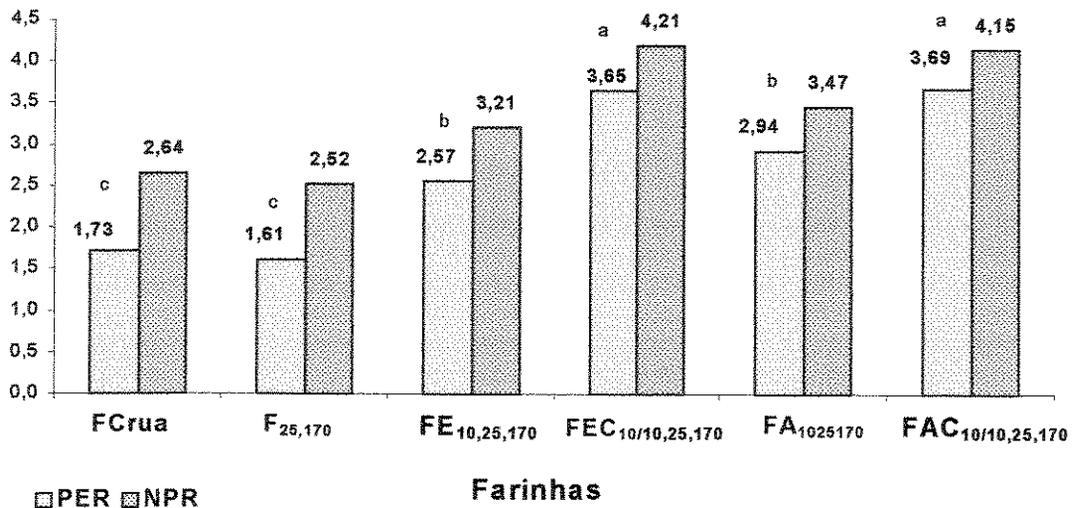


Figura 12: Índices de valor protéico (PER e NPR) para ratos alimentados com dietas contendo farinha de milho crua e extrusada e farinhas mistas extrusadas, como única fonte de proteína da dieta(8%): Fcrua, farinha de milho crua; F_{25,170}, farinha de milho extrusada; FE/FA, farinha de milho com 10% de extrato ou autolisado de levedura; FEC/FAC, farinha mista com 10% de extrato ou autolisado de levedura mais 10% de caseína.

a,b,c Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Os valores de PER e NPR das farinhas de milho crua e extrusada não apresentaram diferença estatística ($p \geq 0,05$), indicando que os efeitos do processo de extrusão foram brandos.

Todas as farinhas mistas apresentaram um aumento significativo nos valores de PER e NPR, em relação à farinha de milho extrusada sem adição, sendo que, as combinações de derivados de levedura/caseína apresentaram os índices mais elevados, significativamente superiores às farinhas contendo apenas extrato ou autolisado. Esses resultados estão coerentes com os perfis de aminoácidos apresentados anteriormente na Tabela 8, onde observou-se que a proteína da farinha pura apresentou vários aminoácidos essenciais limitantes, e essa limitação diminuiu com a adição de derivados de levedura, sendo essa correção mais acentuada com a adição de caseína. As farinhas mistas apresentaram elevado valor protéico com índices acima de 2,5 para o PER e acima de 3,5 para o NPR. Segundo SARWAR *et alii* (1986), dieta contendo 8% de proteína, tendo a caseína como única fonte protéica, apresentou PER de 3,6 e NPR de 4,9.

Outros índices indicativos da elevação do valor protéico pelo enriquecimento da farinha de milho são o escore de aminoácidos essenciais (EAE) e o PDCAAS (escore de aminoácidos essenciais corrigido pela digestibilidade verdadeira). Esses valores são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Escore de aminoácidos essenciais (EAE) e PDCAAS¹ para farinhas de milho crua e extrusada e farinhas mistas.

Fontes protéicas	EAE	PDCAAS ¹
Farinha crua	0,43 (Lys)*	42,17
F _{25,170}	0,32 (Lys)*	29,49
FE _{10,25,170}	0,92 (Try)*	78,42
FA _{10,25,170}	0,81 (Try)*	68,54
FEC _{10/10,25,170}	0,93 (Try)*	84,00
FAC _{10/10,25,170}	0,85 (Try)*	74,60

¹PDCAAS = Dv x EAE

*(): aminoácido mais limitante em cada farinha

Apesar das farinhas de milho crua e extrusada apresentarem valores de digestibilidade altos (91,7 e 92,2, respectivamente), os perfis de aminoácidos, deficientes em vários aminoácidos essenciais, levam a uma perda de valor protéico indicado pelo PDCAAS nessas farinhas. A farinha de milho extrusada teve uma perda maior no valor desse índice, em virtude do menor teor de lisina (Tabela 10).

De acordo com esses índices, as melhores farinhas mistas foram FEC_{10/10,25,170}, seguida de FE_{10,25,170}, que apresentam EAE mais próximos de 1,00 e, portanto, com PDCAAS mais elevados.

5.6.3 Ganho de Peso

O gráfico da Figura 13 ilustra as curvas de crescimento, expressas em ganho de peso dos animais, nos dias de pesagem.

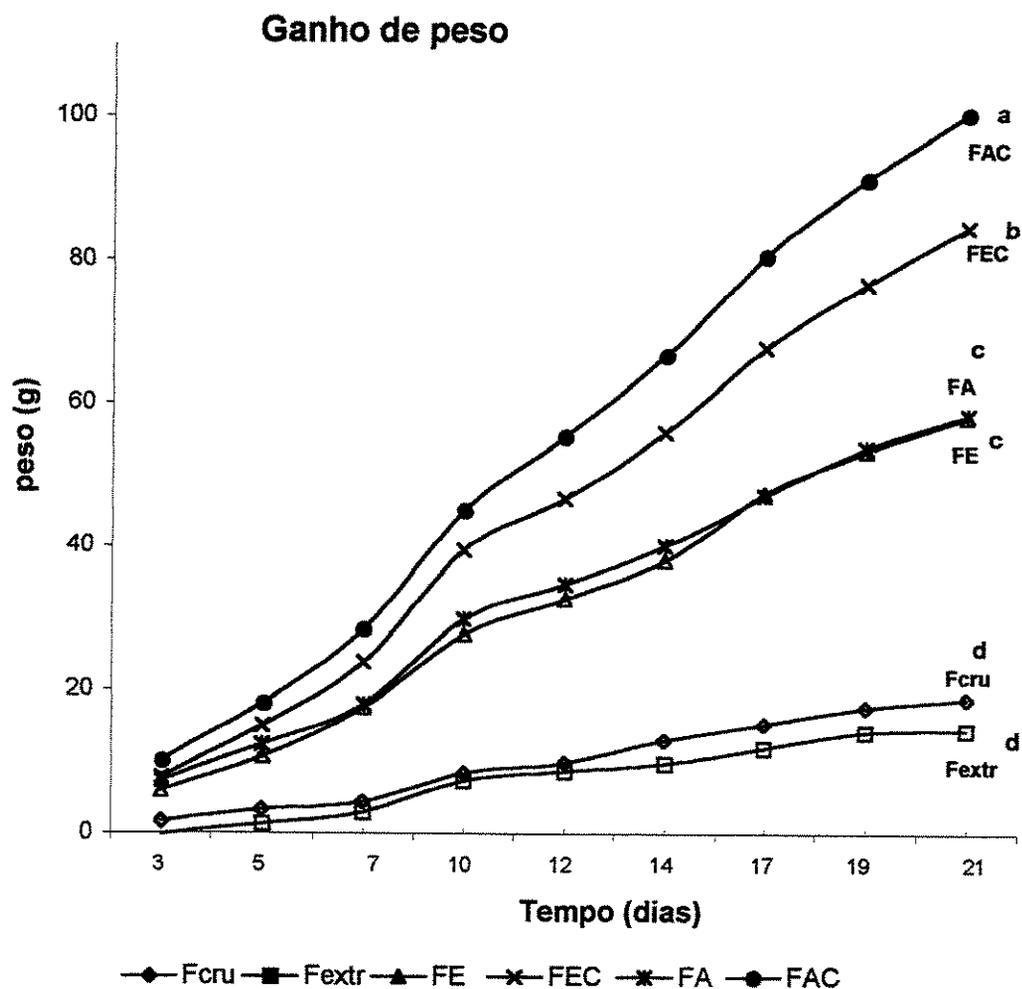


Figura 13: Curvas de crescimento para ratos em dieta contendo farinha de milho crua ou extrusada, e farinhas mistas contendo derivado de levedura ou derivados de levedura/caseína: Fcrua, farinha de milho crua; Fextr, farinha de milho extrusada; FE/FA, farinha de

milho com 10% de extrato ou autolisado de levedura; FEC/FAC, farinha mista com 10% de extrato ou autolisado mais 10% de caseína.

^{a,b,c,d} Letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Em relação à capacidade de promover crescimento, a melhor farinha foi a FAC_{10/10,25,170}, que diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) em relação a FEC_{10/10,25,170}. Isso contradiz os índices de PDCAAS que indicaram a proteína da farinha FEC como sendo melhor que a proteína da farinha FAC, porém está em concordância com o PER (Figura 13) que indica os valores mais elevados para a Farinha FAC, embora não tenha diferido estatisticamente ($p \geq 0,05$) da FEC. No entanto, o crescimento não é decorrente exclusivamente da proteína, mas também de fatores de crescimento, como vitaminas, sais minerais, hormônios, prebióticos, entre outros. O autolisado tem composição rica em sais minerais e vitaminas, essenciais ao crescimento (DIZIEZAK, 1987; WASLIEN, 1975). Em trabalhos realizados paralelamente a este, foi mostrada a presença de fatores de crescimento no autolisado que, associados às proteínas de soro de leite, promoveram um sinergismo, possibilitando um melhor desempenho da mistura do que das proteínas de autolisado e soro isoladamente.

As farinhas de milho extrusadas adicionadas de derivados de levedura não diferiram entre si estatisticamente. O mesmo comportamento foi observado para as farinhas crua e extrusada sem adição. No entanto, a farinha extrusada mostrou um desempenho um pouco pior que a farinha crua, provavelmente em decorrência do menor teor de lisina, que pode ter sido destruída pelo processo de extrusão.

6 CONCLUSÕES

1. As condições mais adequadas para extrusão das farinhas foram: temperatura no estágio de alimentação, 80°C; estágio de mistura, 100°C; extrusão, 170°C; umidade das farinhas, 25%; relação de compressão do parafuso, 1:3; velocidade de rotação do parafuso, 150 rpm; alimentação do equipamento, 85g/min. As condições de extrusão foram consideradas brandas.
2. Dentro das condições experimentais adotadas, o nível mais adequado de adição tanto dos derivados de levedura quanto de caseína foi de 10% (p/p).
3. A adição de derivados de levedura e derivados/caseína à farinha de milho, elevou o valor de ISA (6 vezes) e IAA (2,5 vezes) e diminuiu a viscosidade das farinhas extrusadas produzidas (20 vezes), em relação à farinha de milho crua.
4. O enriquecimento da farinha de milho com 10% de derivados de levedura elevou a concentração de proteína de 9,5% na farinha de milho crua para 13,7% em média, nas farinhas mistas extrusadas.
5. A adição de derivados de levedura e caseína (10/10 %) elevou ainda mais o valor protéico das farinhas, tanto quantitativa quanto qualitativamente. O teor de proteína atingiu 23% em média, o NPR foi de 4,18, o PER de 3,67 (em média) e o maior valor de PDCAAS foi de 84% para farinha adicionada de 10% de extrato de levedura e 10% de caseína, comparado ao valor de 29,5% para a farinha de milho extrusada.

6. A adição de derivados de levedura à farinha de milho conferiu sabor “umami” à mesma, característica desses derivados, tendo melhorado seu potencial de aceitação pelo consumidor.
7. As sopas formuladas a partir das farinhas extrusadas contendo extrato de levedura e extrato/caseína tiveram boa aceitação na análise sensorial. As sopas formuladas com as farinhas adicionadas de autolisado de levedura e autolisado e caseína não foram muito bem aceitas.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A possibilidade da variação nas condições de extrusão como tipo do parafuso, velocidade de rotação do parafuso, temperaturas e umidade, permitem uma ampliação dos usos dos derivados de levedura em produtos extrusados. Para tanto se faz necessário um estudo mais aprofundado de otimização do processo em função do produto desejado. Além da produção de farinhas extrusadas adicionadas de derivados de levedura, a produção de extrusados formatados tipo “snack”, utilizando esses derivados poderia ser alvo de estudo.

Outro constituinte da levedura, a parede celular, poderia ser estudada quanto a adição em produtos extrusados. Tendo um bom teor protéico e elevado teor de fibras alimentares necessitaria de adequação das condições de extrusão para possibilitar seu processamento.

A aromatização de produtos extrusados, em geral, é feita após a extrusão devido a termosensibilidade de muitos aromatizantes. YAYLAYAN *et alii* (1992) estudaram uma forma de produzir aroma e sabor durante a extrusão, controlando a reação de Maillard que ocorre durante o processo. Essa reação é uma das principais responsáveis pela característica “flavorizante” do extrato de levedura. Um estudo submetendo à extrusão, farinhas adicionadas de extrato de levedura e alguns compostos como açúcares e aminoácidos poderia levar à produção de aromas e sabores variados, durante a extrusão.

8. BIBLIOGRAFIA

AINSWORTH, P.; FULLER, D.; PLUNKETT, A.; IBANOGLU, S. Influence of extrusion variables on the protein in vitro digestibility and protein solubility of extruded soy tarhana. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 79, n. 5, p. 675 – 678, 1999.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Washington, v. 68, n. 2, p.159 – 165, 2000.

AMES, J.M.; MAC LEOD, G. Volatile components of a yeast extract composition. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 1, p. 125 – 135, 1985.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, U.F.; GRIFFIN, JR. E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, St Paul, Minnesota, v. 14, n. 1, p. 4 – 7, 11 – 12, 1969.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), **Official methods of analysis**, 16th ed., Arlington, 1998, v. 1 – 2.

ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Pearl River, v. 32, n. 4, p. 365 – 392, 1992.

BATISTUTI, J.P.; BARROS, R.M.C.; ARÊAS, J.A.G. Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum*, L.) defatted flour by response surface methodology. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 56, n. 6, p. 1695 – 1698, 1991.

BENASSI, V. T.; CAMARGO, C. R. O.; CIACCO, C. F. Características químicas e redução do conteúdo de ácido nucleico das células de levedura (*Saccharomyces spp.*) proveniente da produção de álcool de cana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 249 – 260, 1990.

BHATTACHARTA, M.; HANNA, M.A.; KAUFMAN, R.E. Textural Properties of extruded plant protein blends. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 51, n. 4, p. 988 – 993, 1986.

BLIGH, E. G. & DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry Physiology**. Ottawa, v. 46, n. 1, p. 31 – 37, 1959.

CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K.. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Boca Raton, v. 29, n. 1, p. 35 – 57, 1990.

CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis no processo de extrusão e nas características funcionais da farinha de feijão comum**, Tese - Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 1993, 128p

CARVER, J.D.; COX, W.L.; BARNES, L.A. Dietary nucleotide effects upon murine natural killer cell activity and macrophage activation. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, Silver Spring v. 14, n. 1, p. 18 – 22, 1990.

CARVER, J.D.; WALKER, W.A. The role of nucleotides in human nutrition. **Journal of Nutritional Biochemistry**, New York, v. 6, n. 2, p. 58 – 72, 1995.

CHAMPAGNE, C. P.; BARRETE, J.; GOULET, J. Interaction between pH, autolysis promoters and bacterial contamination on the production of yeast extracts. **Food Research International**, Ottawa, v. 32, p. 575 – 583, 1999.

COZZOLINO, S. M. F.; ZUCAS, S. M. Valor nutricional da biomassa protéica, obtida a partir de *Saccharomyces cerevisiae* em melaço de cana de açúcar. **Ensaio preliminar. Revista de Farmácia e Boquímica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 191 – 200, 1984.

DZIEZAK, J.D. (Ed.) Yeasts and yeast derivatives: definitions, characteristics, and processing. **Food Technology**, Chicago, v. 41, n. 2, p. 103-121, 1987a.

DZIEZAK, J.D. Yeasts and yeast derivatives: applications. **Food Technology**, Chicago, v. 41, n. 2, p. 122 – 125, 1987b.

FAO/WHO/UNU expert consultation, Energy and protein requirements; FAO/WHO nutrition meetings. Geneva: **Food and Agriculture Organization/World Health Organization**, 1985. Report series 724.

FERREIRA, S. H. P. Interações proteína-proteína na texturização de proteínas de soja e de pulmão bovino por extrusão termoplástica. Tese – Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 1990, 123p.

FERREIRA, S.H.P.; ARÊAS, J.A.G. Protein-protein interactions in the extrusion of soya at various temperatures and moisture contents. *Journal of Food Science*. Chicago, v. 58, n. 2, p. 378 – 384, 1993.

FILHO, D.L.; GHIRALDINI, J.A.; ROSSEL, C.E.V. Estudo da otimização da recuperação de biomassa de levedura em destilarias, *Anais do “Workshop” sobre “Produção de Biomassa de Levedura: Utilização em Alimentação Humana e Animal”*, pp. 90 - 98, 1996, *Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, S.P.*

FUKAL, L.; KÁS, J.; RAUCH, P. Properties of yeast proteinases. *Journal of Institute of Brewer*. London, v. 92, n. 4, p. 357 – 359, 1986.

GOMEZ, M.H.; AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. *Journal of Food Food Science*, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378 – 381, 1983.

GUTKOSKI, L.C. Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade. Tese - *Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 1997 241p.*

HALÁSZ, A.; LÁSZTITY, R. Use of yeast biomass in Food production, Boca Raton: CRC Press, 1991. 312p.

HARPER, J. M. Food extrusion *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Palm Beach, v. 11, n. 2, p. 155 – 215, 1979.

HARPER, J.M. *Extrusion of foods*, Boca Raton: CRC Press, 1981, v. 2, 174 p.

HARPER, J.M. Food extruders and their applications´ *Extrusion Cooking – American Association of Cereal Chemists*. Saint Paul, Cap 1: 1 – 16, 1989.

HOBSON, J.C.; ANDERSON, D. A. G. Method of preparing yeast extract containing hydrolyzed non-yeast protein with yeast autolytic enzymes. *Biotechnology Advances*, Oxford, v. 14, n. 3, p. 351 – 360, 1996.

HUANG, Y.T.; KINSELLA, J.E. Functional properties of phosphorylated yeast protein: solubility, water holding capacity and viscosity. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington DC, v. 34, n. 4, p. 670 – 674, 1986.

ING-JENG, J.; CAMIRE, M.E.; BUSHWAY, A. A. Properties of an extruded product prepared from potato flakes and chicken thigh meat. **Food Science and Technology International**, v. 3, n. 6, p. 451 – 458, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8587: sensory analysis – Methodology – Ranking**. Switzerland, 1988. 9 p.

KILBERG, R. The microbes as a source of food. **Annual Reviews of Microbiology**, Palo Alto, v. 26, n. 1, p. 426 – 465, 1972.

KINSELLA, J.E. Texturized proteins: fabrication, flavoring and nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Palm Beach, v. 10, n. 2, p. 147 – 207, 1978

KINSELLA, J.E.; SHETTY, H.J. Yeast protein recovery, nutritional and functional properties. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v. 107, p. 797-825, 1978.

KNORR, D.; SHETTY, K.J.; KINSELLA, J.E. An enzymatic method for yeast autolysis. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 1362 – 1365, 1979.

KOLLAR R.; STURDIK E.; FARKAS V. Induction and acceleration of yeast lysis by addition of fresh yeast autolysate. **Biotechnology Letters**, Northwood, v. 13, n. 8, p. 543 – 546, 1991.

MARIATH, J. G. R.; ZUCAS, S. M. Valor nutricional da proteína isolada do resíduo de cerveja, **Associação Brasileira das Industrias de Alimentação**, v. 65, n. 2, p. 24 – 36, 1983.

MC CORMICK, R. Unconventional protein sources diversity development choices. **Prepared Foods**, Chicago, v. 156, n. 12, p. 135-136, 1987.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**, Boca Raton: CBC Press, 1987. p. 113 – 118. v. 1.

MILLER, R.C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on product characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, p. 249 – 253, 1985.

MITCHELL, J.R.; AREAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. **Food Extrusion Science and Technology**. Cap.22: 345 – 360, 1992.

MITTAL, P.; LAWRIE, R.A. Extrusion studies of mixtures containing certain meat offals: Part 2 – Textural properties. **Meat Science**. Essex, v. 16, n. 2, p. 143 – 160, 1986.

NAGODAWITHANA, T. Yeast-derived flavors and flavor enhancers and their probable mode of action. **Food Technology**, Chicago, v. 46, n. 11, p. 140 – 144, 1992.

NELSON, G.; BISHOP, J. Yeast delivery system. **Food Ingredients and Analysis International**. Luxbridge, v. 20, n. 5, p. 13 – 14, 1998.

NEWPORT SCIENTIFIC **Application manual for the RapidVisco Analyzer**, Warriewood, 1998. Catalogo.

OSER, B.L. Guidelines for the evaluation of single cell protein for human consumption. In: TANNENBAUM, S.R. and WANG, D.I.C. (Eds.), **Single-Cell Protein II**, M.I.T Press Mass, 1975, p. 484-488.

OTERO, M. A.; WAGNER, J. R.; VASALLO, M. C.; GARCIA, L.; AÑÓN, M. C. Thermal behavior and hidration properties of yeast proteins from *Saccharomyces cerevisiae* and *Kluyveromyces fragilis*. **Food Chemistry**, Washington, v. 69, n. 2, p. 161 – 165, 2000.

OTERO, MA., VASALLO, MC. VERDIEIA O., FERNANDEZ, V., BETANCOURT D. A process for the complete fractionation of baker's yeast. **Journal of Chemistry Technology and Biotechnology**, Great Britain, v. 67, n. 1, p. 67 – 71, 1996.

PACHECO, M. T. B. **Propriedades funcionais, nutricionais, e toxicológicas de concentrados proteicos de levedura (*Saccharomyces sp*), obtidos por diferentes processos de extração**, Tese – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

PEIXOTO, N. Processamento de produtos de biomassa de levedura para alimentação humana: potencial, mercado interno e externo, **Anais do "Workshop" sobre "Produção de Biomassa de Levedura: Utilização em Alimentação Humana e Animal"**, p. 90 – 98, 1996, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, S.P.

PELCZAR, M.J., Fungos: as leveduras. In: PELCZAR, M.J. **Microbiologia**, McGraw-Hill do Brasil, 1980, v. 1, cap. 16: p. 345 – 347.

PENNY, C. Rising prospects for yeast products. **Food Ingredients & Processing International**, Hertfordshire, p:18 – 21, Out. 1991.

PHAM C.B.; DEL ROSARIO R.R. Effect of processing variables on protein properties - Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. **Journal of Food Technology**. London v. 19, n. 5, p. 535 – 547, 1984a.

PHAM C.B.; DEL ROSARIO R.R. Effect of extrusion variables on the available lysine, total and reducing sugar - Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. **Journal of Food Technology**. London, v. 19, n. 5, p. 549 – 559, 1984b.

PROSCKY, L.; ASP, N-G; FURDA, I.; DEVRIES, J. W.; SCWEIZER, T. F. HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in food products and total diets: Interlaboratorial study. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, v. 67, n. 6, p. 1044 – 1052, 1984.

REEVES, P. G.; NIELSEN, FH.; FAHEY, GC. AIN - 93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc Committee on reformulation of the AIN – 76 rodent diet. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 123, n. 11, p. 1939 – 1951, 1993.

RHEE, K. S.; CHO, S. H.; PRADAHN, A. M. Expanded extrudates from corn starch-lamb blends: process optimization using response surface methodology. **Meat Science**, Oxford, v. 52, n. 2, p. 127 – 134, 1999.

RICCI-SILVA, M.E.; VITOLO, M.; ABRAHÃO-NETO, J. Protein and glucose 6-phosphate dehydrogenase releasing from baker's yeast cells disrupted by a vertical bead mill. **Process Biochemistry**, Watford, v. 35, n. 8, p. 831 – 835, 2000.

RYAN, E.; WARD, O. P. The application of lytic enzymes from *Basidiomycete aphyllophorales* in production of yeast extract. **Process Biochemistry**, Watford, p:12 – 15, Feb. 1988.

SARWAR, G., SHAH, BG., MONGEAU, R., HAPPNER, K. Nucleic acid, fiber and nutrient composition of inative dried food yeast products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 2, p. 353 – 357, 1985.

SARWAR, G.; PEACE, R. W.; BOTTING, H. G. Protein quality of food yeasts and metabolism of their purines by rats. **Nutrition Reports International**, Woburn, v. 34, n. 5, p. 709 – 720, 1986.

SGARBIERI, V. C.; CABALLERO-CÓRDOBA, G. M. Nutritional and toxicological evaluation of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) biomass and yeast protein concentrate. **Journal of the Science of food and Agriculture**, London, v. 80, n. 3, p. 341 – 351, 2000.

SGARBIERI, V.C. **Proteína em alimentos protéicos: Propriedades, Degradações, Modificações**. Livraria Varela, São Paulo, SP, 1996, 517p.

SGARBIERI, V.C.; ALVIM, I. D.; VILELA, E. S. D.; BALDINI, V. L. S.; BRAGAGNOLO, N. Produção piloto de derivados de levedura (*Saccharomyces* sp.) para uso como ingrediente na formulação de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2 n. 1-2, p. 119 – 125, 1999.

SINGH, N.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Effect of temperature on the extrusion behaviour of flour from sound and sprouted wheat. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 31, 3, p. 233 – 235, 1994.

SMITH, O.B. Extrusion and forming: creating new foods. **Food Engineering**. Los Angeles, v.47, n. 7, p. 48 – 50, 1975.

SOMMER, R. Yeast extracts: Production, properties and components, 9th **International Symposium on yeast**, Sydney, 1996, 11p.

SPIES, J.R. Determination of tryptophan in proteins. **Analitycal Chemistry**, v. 39, n. 12, p. 1412 – 1415, 1967.

STANLEY, D. W. Protein reactions during extrusion processing, chap 10: In: HARPER, J.M. **Extrusion cooking**, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1989, p. 321 – 341.

STATSOFT, INC. *Statistica for Windows, Computer Program Manual*. Tulsa, 1995. Catálogo.

STEEL, C.J. *A Influência da extrusão termoplástica em propriedades funcionais e nutricionais de farinhas de feijão e farinhas mistas de feijão e arroz*, Tese – Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 1994, 103p.

SUPHANTHARIKA, M.; VARAVINIT, S.; SHOBSNGOB, S. Production of yeast extract containing hydrolysed non-yeast protein. *Foods Food Ingredients J*, Osaka, v. 181, p. 70 – 75, 1999.

VANANUVAT, P. VALUE J. Yeast protein for poultry feed. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Palo Alto, 9(3): 325 - 343, 1977.

VILELA, E.R. *Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu*, Tese - Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 1989, 149p.

WALSIEN, LT. Unusual sources of protein for man. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Palo Alto, 6(1): 77 - 151, 1975.

WHALEN, P. J.; BASON, M. L.; BOOTH, R. I.; WALKER, C. E.; WILLIAMS, P. J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser, *Cereal Foods World*, Saint Paul, v. 42, n. 6, p. 469 – 475, 1997.

YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. *Cereal Foods World*. St Paul, v. 35, n.9, p. 919 – 926, 1990.

YAYLAYAN, V.A.; FICHTALI, J.; VAN DE VOORT, F.R. Production of Maillard reaction flavour precursors by extrusion processing. *Food Research International*. Ottawa, v. 25, n. 3, p. 175 – 180, 1992.

ZAMBONELLI, C.; RAINIERI, S.; CHIAVARI, C.; MONTANARI, G.; BENEVELLI, M.; GRAZIA, L. Autolysis of yeast and bacteria in fermented foods. *Italian Journal of Food Science*, Pinerolo, v. 1, n. 12, p. 9 – 21, 2000.