

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PANIFICÁVEL A BASE DE  
PRODUTOS DE MANDIOCA VISANDO OS HIPERSENSÍVEIS AO  
GLÚTEN**

**LUIZ FERNANDO SANTOS ESCOUTO**

*Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP-Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre  
em Agronomia - Área de Concentração em  
Energia na Agricultura.*

**BOTUCATU - SP  
Outubro - 2000**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PANIFICÁVEL A BASE DE  
PRODUTOS DE MANDIOCA VISANDO OS HIPERSENSÍVEIS AO  
GLÚTEN**

**LUIZ FERNANDO SANTOS ESCOUTO**

ADMISSÃO

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marney Pascoli Cereda

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP –  
Campus de Botucatu, para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia – Área de  
Concentração em Energia na Agricultura



BOTUCATU-SP  
Outubro – 2000



REPRODUÇÃO  
AUTORIZADA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO  
DA INFORMAÇÃO  
DIRETORIA DE SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA  
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

E74d Escouto, Luiz Fernando Santos  
Desenvolvimento de produto panificável a base de  
produtos de mandioca visando os hipersensíveis ao  
glúten / Luiz Fernando Santos Escouto. -- Botucatu,  
2000  
xv, 145 f. : il. ( algumas color. ) ; 28 cm  
  
Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual  
Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu,  
2000  
Orientador: Marney Pascoli Cereda  
Bibliografia: f. 132-145  
  
1. Pão 2. Dieta sem glúten - Receitas 3. Farinha de  
mandioca 4. Polvilho azedo 5. Panificação - Fórmulas e  
receitas I. Título

Palavras-chave: Glúten; Energia; Panificação; Celiacos;  
Produtos de mandioca; Pão.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIENCIAS AGRONOMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

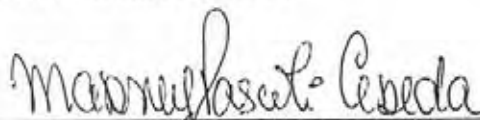
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TITULO: "DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PANIFICAVEL A BASE DE PRODUTOS DE MANDIOCA  
VISANDO OS HIPERSENSIVEIS AO GLUTEN"

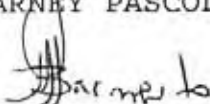
ALUNO: LUIZ FERNANDO SANTOS ESCOUTO

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARNEY PASCOLI CEREDA

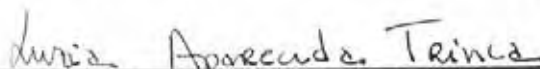
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFA. DRA. MARNEY PASCOLI CEREDA



PROFA. DRA. SILENE BRUDER S. SARMENTO



PROFA. DRA. LUZIA APARECIDA TRINCA

Data da Realização: 31 de outubro de 2000 ..

"Conheceríamos os efeitos morais dos alimentos? Existiria uma filosofia da nutrição?"

Frederich Nietzsche

"...A gastronomia funciona como disciplina que permite a codificação de regras singulares, um método para realizar novas relações entre os homens, mas também entre o corpo e a alma, entre o corpo e ele próprio.

A alimentação é o mesmo que uma metáfora possível da necessidade por ser saciada. Comer é acalmar o corpo que faz saber quanto o atormenta a perda de energia consubstancial à vida, no que ela tem de mais sumário. A partir dessa necessidade natural, os homens elaboraram uma possibilidade cultural: a arte de se alimentar. "

Michel Onfray

"É necessário que o alimento seja obtido de um trabalho feito pelos homens. O pão é assim. Sempre pensei que o pão é uma relação com os homens."

Jean Paul Sartre

"Na cozinha se aprende a sabedoria essencial para a vida. A pura utilidade alimentar, essencial à sobrevivência, pela magia da culinária, torna-se arte, brinquedo, fruição, alegria."

"...a ciência é uma função vital. Ela é digna, tem valor, quando serve para diminuir o sofrimento e aumentar o prazer."

Rubem Alves

"*Sapientia*: nenhum poder, um pouco de saber, um pouco de sabedoria, e o máximo de sabor possível."

Roland Barthes

**A meu filho Idjarruri ,  
meus pais Bento e Onélia  
e irmãos Carlos Magno e Normélia**

**OFEREÇO**

**AGRADECIMENTOS**

## AGRADECIMENTOS

À Professora Dr.<sup>a</sup> MARNEY PASCOLI CEREDA pela orientação, ensinamentos, amizade e incentivos constantes.

À FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP) pela concessão de Bolsa de Mestrado (Proc. 98/05442-0).

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação, em especial ao Professor Dr. José Raimundo Passos pelos ensinamentos e amizade.

Aos funcionários do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) pelo auxílio para a realização deste trabalho e em especial à FÁBIO URBANO pela colaboração valiosa nas análises químicas e as secretárias Yara Pinto Chaves e Alessandra Regina Batista pelo apoio ao trabalho.

À Dr.<sup>a</sup> Magali Leonel pelo incentivo e apoio ao trabalho.

Às funcionárias da secção de pós-graduação da FCA.

Aos funcionários da Biblioteca do Campus de Botucatu da UNESP pela dedicação as suas funções.

Aos funcionários da Horticultura pelo apoio no uso do texturômetro.

À Professora Dr.<sup>a</sup> Luzia Trinka do Departamento de Bioestatística do Instituto de Biociências pela orientação na análise estatística.

À UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Campus de Botucatu – Fazenda Lageado na pessoa do seu Diretor Dr. Elias Simões pelas facilidades concedidas.

Aos colegas de moradia, em especial ao Marco Antônio Gandolfo, Silas Macedo, Edson Massao Tanaka e Emerson Galvani pela amizade e cumplicidade constantes.

Aos colegas de curso em especial à Liziele Maria Ricardo Gerreiro, Suzan Pantaroto, Nívea Maria Vicentini e Tarcísio Mauro Rosseto de Castro pelo incentivo, enriquecimento do trabalho e amizade.

À Teresa Prado da Silva pela amizade, amor e carinho.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho,

Os nossos mais sinceros  
agradecimentos



**SUMÁRIO**

	<b>Página</b>
RESUMO.....	01
SUMMARY.....	03
1 INTRODUÇÃO.....	06
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	09
2.1 O Glúten e a Doença Celíaca.....	09
2.2 A Importância do Glúten.....	12
2.3 A Formação do Glúten.....	19
2.4 Tecnologia de Farinhas Mistas.....	26
2.4.1 Farinhas Proteínáceas.....	27
2.4.2 Farinhas Amiláceas.....	29
2.5 Desenvolvimento de Novos Produtos Sem Glúten.....	33
2.6 Qualidade de pães.....	48
2.7 Amido.....	49
2.8 Polvilho azedo e a panificação.....	55
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3.1 Material.....	60
3.2 Equipamentos.....	61
3.3 Preparo básico dos pães.....	62
3.4 Elaboração dos Produtos.....	62
3.4.1 Fluxo de Processo.....	63
3.5 Avaliação do Produto.....	64

3.5.1 Propriedades Organolépticas dos Pães.....	64
3.5.1.1 Cor da Crosta.....	66
3.5.1.2 Quebra.....	66
3.5.1.3 Simetria.....	67
3.5.1.4 Características da Crosta.....	67
3.5.1.5 Cor do Miolo.....	68
3.5.1.6 Características das Células do Miolo.....	68
3.5.1.7 Textura do Miolo.....	69
3.5.1.8 Aroma.....	69
3.5.1.9 Gosto.....	69
3.5.2 Medidas Instrumentais dos Pães.....	70
3.5.2.1 Volume Específico.....	70
3.5.2.2 Cor da Crosta e do Miolo.....	71
3.5.2.3 Textura.....	71
3.6 Avaliação da Melhor Formulação.....	72
3.6.1 Avaliação Energética e Econômica.....	72
3.6.2 Índice de Aceitabilidade.....	72
3.6.3 Cor.....	72
3.6.4 Calorimetria.....	72
3.7 Análise Estatística dos Experimentos.....	74
3.7.1 Delineamento do Experimento.....	74
3.7.2 Análise Estatística dos Resultados.....	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	81
4.1 Avaliação do Produto.....	81

4.1.1 Propriedades Organolépticas.....	81
4.1.2 Características Externas.....	83
a) Cor da Crosta.....	83
b) Simetria e Quebra.....	87
c) Características da Crosta.....	88
4.1.3 Características Internas.....	91
a) Cor do Miolo.....	91
b) Estrutura das Células do Miolo .....	94
c) Textura.....	97
d) Aroma.....	98
e) Gosto.....	101
4.2 Medidas Instrumentais.....	104
a) Volume Específico.....	104
b) Textura do Miolo.....	107
4.3 Avaliação da Melhor Formulação.....	114
4.3.1 Avaliação Energética e Econômica.....	115
4.3.2 Índice de Aceitabilidade.....	118
4.3.3 Avaliação de Cor da Crosta e Miolo.....	119
4.3.4 Avaliação Calorimétrica.....	120
4.4 Discussão.....	122
4.5 Considerações Gerais.....	127
5 CONCLUSÕES.....	130
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

**LISTA DE QUADROS**

Quadro	Página
01 Composição média do grão de trigo.....	13
02 Formulação do pão de amido de mandioca e farinha de soja.....	37
03 Procedimento utilizado na fabricação do pão de amido de mandioca e farinha de soja.....	38
04 Diversas etapas do grão de amido em função da temperatura em presença de excesso de água.....	54
05 Formulação básica para pão sem glúten.....	62
06 Planilha de avaliação das propriedades organolépticas do pão.....	65
07 Variáveis e níveis de variação.....	75
08 Delineamento experimental central composto para três variáveis em três níveis valores codificados utilizados em ensaios para pão sem glúten.....	77
09 Delineamento experimental central composto para as variáveis estudadas, em três níveis - valores reais utilizados em ensaios para pão sem glúten, expressos em peso na formulação ajustada .....	78
09 Planilha de avaliação das propriedades organolépticas do pão.....	75

10 Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o volume dos pães sem glúten.....	85
11 Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a cor da crosta dos pães sem glúten.....	86
12 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para as características da crosta dos pães sem glúten.....	89
13 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães sem glúten.....	92
14 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a estrutura de células do miolo dos pães sem glúten.....	95
15 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aroma dos pães sem glúten.....	99
16 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o gosto dos pães sem glúten.....	102
17 Análise de variância e estimativa dos coeficientes do volume para pães em glúten.....	105
18 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo após 3 horas de forneamento para pães sem glúten.....	109

19 Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo após 24 horas de forneamento para pães sem glúten.....	112
20 Tempo gasto e energia requerida para a produção do produto.....	115
21 Custo de processamento de 1 tonelada de massa para pão sem glúten.....	116
22 Custo de processamento de 1 tonelada de massa para pão francês.....	117
23 Resultados da análise univariada para índice de aceitabilidade de pão sem glúten para duas questões.....	118
24 Energia bruta das calorias fornecidas nas amostras de pães sem glúten...	120
25 Tabela nutricional do pão sem glúten.....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 Símbolo do trigo cortado.....	11
02 Papel das ligações dissulfídicas inter e intramoleculares na estrutura da gliadina e glutenina.....	20
03 a) Cadeia de polipeptídios unida por 3 ligações dissulfídicas intramoleculares e 4 grupos sulfidrílicos livres ; b) Parte linear da molécula de glutenina com 5 cadeias de polipeptídios unidas por 2 ligações dissulfídicas cada.....	21
04 Formação das camadas de glúten através de forças secundárias e incorporação de unidades de proteínas com ligações dissulfídicas intermoleculares entre as camadas.....	24
05 Efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten.....	25
06 Ligações de hidrogênio intermoleculares das moléculas de amido formando filme capaz de reter gases e água.....	50
07 Amilose e amilopectina, e as ligações que explicam a capacidade de estender e relaxar à forma original.....	51
08 Representação dos polímeros de amilose e amilopectina.....	52

09 Fluxograma de energia dos equipamentos utilizados no processo de produção dos pães sem glúten.....	63
10 Aspecto geral do pão sem glúten.....	82
11 Superfície de resposta para o atributo <b>COR DA CROSTA</b> em pães sem função da percentagem de clara e da percentagem de farinha de mandioca.....	84
12 Superfície de resposta para o atributo <b>COR DA CROSTA</b> em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de fermento, para 55% de farinha de mandioca.....	85
13 Superfície de resposta para o atributo <b>COR DA CROSTA</b> em pães sem glúten em função da percentagem de farinha de mandioca e da percentagem de fermento, para 20% de clara.....	86
14 Superfície de resposta para o atributo <b>CARACTERÍSTICAS DA CROSTA</b> em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de farinha de mandioca, para 10% de fermento.....	91
15 Superfície de resposta para o atributo <b>COR DO MIOLO</b> em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e da percentagem de farinha de mandioca.....	94
16 Superfície de resposta para o atributo <b>ESTRUTURA</b> em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de fermento..	96



17 Superfície de resposta para o atributo AROMA em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de fermento.	100
18 Superfície de resposta para o atributo GOSTO em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e da percentagem de farinha de mandioca.....	103
19 Superfície de resposta para o atributo VOLUME ESPECÍFICO em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e da percentagem de farinha de mandioca.....	107
20 Superfície de resposta para o atributo TEXTURA após 3 horas de forneamento em função da percentagem de fermento e da percentagem de clara.....	108
21 Superfície de resposta para o atributo TEXTURA após 3 horas de forneamento em função da percentagem de fermento e da percentagem de clara.....	109
22 Superfície de resposta para o atributo TEXTURA após 3 horas de forneamento em função da percentagem de fermento e da percentagem de clara.....	111
23 Superfície de resposta para o atributo TEXTURA após 24 horas de forneamento em função da percentagem de fermento e da percentagem de clara.....	114

## **RESUMO**

O objetivo do trabalho foi desenvolver e avaliar uma formulação para produção de pão sem glúten para celíacos utilizando polvilho azedo e farinha de mandioca. A doença celíaca ou enteropatia glúten sensível, é uma doença caracterizada por danos à mucosa do intestino delgado e má absorção. É uma enfermidade de caráter genético ativada, em indivíduos suscetíveis, pela ingestão do glúten do trigo e proteínas similares originárias de outros cereais como a aveia, centeio e cevada. A hipersensibilidade alimentar tem sido objeto freqüente de estudos clínicos e tecnológicos em busca de alternativas alimentares.

Neste trabalho o polvilho azedo substituiu a farinha de trigo como responsável pela estrutura do pão e retenção de gases. A formulação inicial era: polvilho azedo 42%, sal 1%, açúcar refinado 5%, gordura vegetal hidrogenada 9%, farinha de mandioca 24%, leite em pó integral 3%, clara de ovo desidratada 12% e fermento biológico fresco 4%. A formulação foi ajustada e avaliada por metodologia de superfície de resposta com 26 tratamentos. As variáveis fixadas, mais importantes, através de ensaios prévios foram: clara desidratada, fermento fresco e farinha de mandioca moída crua. O delineamento foi central,

composto com a) 8 combinações entre os níveis -1 e +1 das 3 variáveis independentes (fatorial  $2^3$ ); b) 6 combinações fixando 2 das variáveis no nível 0 e uma delas variando de -1 e +1 um ponto central, todas as variáveis no nível 0. Portanto, o delineamento usou 15 tratamentos diferentes sendo que cada combinação da parte fatorial (item (a)) foi repetida 2 vezes e o ponto central item (c) foi repetido 4 vezes. Os dados experimentais obtidos foram submetidos a análise de variância e ao teste F ao nível de 10% de probabilidade. Os pães sem glúten foram analisados quanto as características organolépticas cor da crosta e miolo, quebra, simetria, características da crosta, estrutura das células do miolo, textura do miolo aroma e sabor, e instrumentais: volume, textura do miolo e cor da crosta e miolo. Foram realizadas no melhor resultado avaliação calorimétrica, energética e econômica, índice de aceitabilidade e cor. O melhor resultado mostrou pães com miolo compacto e elástico, leve gomosidade, alvéolos sem uniformidade e uma rede estruturada, nos níveis de clara desidratada 12%, fermento biológico fresco 6% e farinha de mandioca moída crua 26%, respectivamente, em relação ao peso total da formulação.

---

Palavras-chave: energia, polvilho, panificação, celíacos

**DEVELOPMENT OF THE BREADMAKING PRODUCT AT BASIS OF CASSAVA****DRIVING AT THE HYPERSENSITIVE AT THE GLUTEN** Botucatu, 2000. 139p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

**Author:** LUIZ FERNANDO SANTOS ESCOUTO**Adviser:** MARNEY PASCOLI CEREDA**SUMMARY**

The objective of this study was develop and adjust a formulation for bread without gluten production for celiac using fermented cassava starch. The celiac disease or enteropaty sensitive-gluten, is a disease characteristic for damage the mucosa of the jejunal morphology malabsortion. Is a illness gluten-intolerance, in individual susceptible, ingested of wheat gluten and similar proteins of the cereal how oat, rye and barley. The food

hypersensitive had been object after of the technological and clinical research in search of the food alternative.

In this paper the fermented cassava starch substituted the wheat flour how responsible for structure of bread and gas retained. The basic formulation was: fermented cassava starch 42%, salt 1%, sugar 5%, hydrogenated vegetal fat 9%, ground cassava flour 24%, powdered milk 3%, powdered egg white 12% and yeast 4%. The formulation was adjusted and available for response surface methodology study with 26 treatments. The fixed variables more important were: powdered egg white, fresh yeast and ground cassava flour.

The experiment was central composed with: a) 8 combination between the levels -1 and +1 of the 3 variables independents (factorial  $2^3$ ); b) 6 combination fixing 2 of the variables in the level 0 and one of them altering of -1 and +1, and it was all the variables in the level 0, one center point. Therefore, used 15 different treatments treatments each combination of the part factorial was repeated 2 times and the center point was repeated 4 times. The experimental datas were submitted to analysis of variance and using F test at 10% probability level. Bread without gluten were analysed according to the organoleptic characteristics, crust color, break, symmetry, crust characteristics, crumb color, structure of cells of the of crumb, crumb texture, flavor and taste, were evaluated. The instrumental analysis were made volume, texture and color of crumb and the crust. The was accomplished in the best result crust and crumb color analysis, calorimetry, index of the acceptability energetic and economical analysis. The best result showed bread made with compact and elastic bread crumb, slight gumminess, alveoli without uniformity and a structured net, in the level of powdered egg white 12%, fresh yeast 6% and ground cassava flour 26%, in relation to the total formulation weight.

---

Keywords: energy, fermented cassava starch, bread making, celiac

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da mandioca como fonte energética na alimentação humana já é bem estabelecida. Pouco, porém, tem sido abordado sobre o uso dos seus subprodutos (farinha de mandioca, farinha de raspas, polvilho doce e azedo) em panificação, sendo que, “a farinha de raspas é praticamente o único subproduto que já foi mais aproveitado para a confecção de pães” (El-Dash, 1994).

Dos cereais, o trigo especialmente, tem sido historicamente utilizado como fonte alimentícia panificável e, são recentes os estudos sobre a possibilidade do melhor aproveitamento das proteínas formadoras do glúten, gliadina e glutenina (85%) (El-Dash, 1996). O consumo do trigo no Brasil chega a 7,5 milhões de toneladas sendo importadas 6,5 milhões. Somente a partir de 1995, com a melhoria do preço do trigo de produção interna houve um aquecimento nas exportações de trigo. Em nível da indústria de massas, biscoitos e panificação, esta última é a mais demandante da moagem brasileira, em torno de 52%<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Informações pessoais do Dr. Gérard Chuzel, perito da Cooperação Técnica Francesa, projeto: “Programa de Tecnologia Agro-alimentar e Agro-industrialização”. Agência Brasileira de Cooperação.

Segundo a FAO (Food Agricultural Organization) de 1961 a 1981, o consumo de trigo nos países tropicais aumentou em 3,0% ao ano, enquanto o consumo de raízes e tubérculos cerca de 0,5% ao ano. Paralelo a este aumento de consumo vem crescendo também a importação de trigo por esses países, onde a produção é bem menor que a de culturas nativas, em função de não apresentarem regiões adequadas, ou por não disporem de programas agrícolas voltados para a obtenção de auto-suficiência de produção.

A hipersensibilidade alimentar tem sido objeto freqüente de estudos clínicos e tecnológicos. A doença celíaca ou enteropatia glúten sensível, enquanto uma hipersensibilidade alimentar, é uma doença caracterizada por danos à mucosa do intestino delgado e má absorção (Francischi, 1981). É uma enfermidade de caráter genético ativada, em indivíduos suscetíveis, pela ingestão do glúten do trigo e proteínas similares originárias de outros cereais como a aveia, centeio e cevada (Cervetto, 1983).

Mais precisamente, é a fração gliadina contida no glúten a responsável por distúrbios no metabolismo das células epiteliais do intestino delgado produzindo uma alteração funcional global dos mesmos através de mecanismos ainda não esclarecidos (Cervetto, 1983). O tratamento dietético é fundamental, e, de certa forma problemático, pois requer a exclusão de alimentos a base de cereais da dieta, alimentos estes que são habituais na alimentação do brasileiro e de custo relativamente baixo tais como: pão, macarrão, biscoitos entre outros (Baldo & Wrigley, 1984).

Vários estudos foram realizados no século XX visando a substituição parcial ou total do trigo, sendo que os objetivos dos pesquisadores estavam voltados para a produção de pão isento de glúten destinado aos consumidores portadores de doença celíaca.



Segundo Silva (1999) um estudo multicêntrico, envolvendo 22 países, foi realizado pela ESPGAN (Sociedade Européia de Gastroenterologia e Nutrição Pediátrica) em 1992, estabeleceu a incidência de 1 caso de DC (doença celíaca) para 1000 indivíduos nascidos vivos na Europa. A maior incidência foi observada na Suécia, sendo de 1 caso para 250 nascidos vivos e a menor incidência foi observada na Dinamarca 1 caso para 4000 nascidos vivos. No norte da África e na América do Sul, foi observada incidência de 1 caso de DC para 1000 nascidos vivos segundo Branski & Troncone, citados por Silva (1999). Não foram descritos casos entre chineses e japoneses.

Segundo a ACELBRA seção de São Paulo, não existem dados seguros sobre os celíacos no Brasil. Estima-se existirem em torno de 0,03% de brasileiros com a doença (480.000 à 530.000), predominando na faixa de 1 a 10 anos em 40% dos casos e de 11 a 20 anos em 26% dos pacientes.

Segundo Vilpoux *et al.*,(1996) as reservas disponíveis de fécula de mandioca (polvilho azedo e doce) estão em torno de 200.000 mil toneladas de polvilho doce e 30.000 mil toneladas de polvilho azedo.

Diante do exposto e tendo em vista a disponibilidade do polvilho azedo para se chegar a um produto panificável sem glúten, o projeto propõe um processo baseado em uma formulação a base de polvilho azedo e farinha de mandioca com aspecto semelhante ao pão de trigo a ser utilizado como alimento complementar em alimentação de celíacos.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O Glúten e a Doença Celíaca**

A doença celíaca, também conhecida como enteropatia sensível ao glúten, espru-celíaco ou espru não tropical, é doença caracterizada por danos à mucosa do intestino delgado e má absorção, o que compromete a utilização de vários nutrientes pelo organismo (Francischi, 1981).

Os sintomas clássicos da doença incluem: pouco crescimento, perda de peso, má nutrição, diarreia, esteatorréia, podendo ainda o indivíduo manifestar uma série de outros sintomas e sinais (Francischi, 1981).

Segundo Silva (1995) deve-se observar a não utilização de alimentos normalmente encontrados no mercado e que são preparados com os “elementos proibidos”: pão, biscoitos, massas (principalmente macarrão), farinha de trigo, farinha de rosca, confeitos elaborados com farinha de trigo, bolos, salgados, croquetes, alimentos empanados, achocolatados que contenham malte, casquinha de sorvete, alguns pudins industrializados,

leite maltado, doces, produtos industriais de legumes e frutas para crianças, preparações que não sendo preparados em nível doméstico e, sim, industrializadas para sopas, cremes, carnes à milanesa, tempêros comerciais para saladas e cerveja.

A orientação nutricional deverá ter como objetivo imediato suprimir os sintomas gastrintestinais (vômitos, diarreia, gases), a seguir, adequar a ingestão de calorias e demais nutrientes para garantir pleno desenvolvimento e crescimento do organismo. Para tanto, um acompanhamento contínuo da ingestão, do crescimento e do desenvolvimento do paciente propiciará intervenções nutricionais, evitando seqüelas irreversíveis (Silva, 1995).

Segundo Augusto (1995) os alimentos que podem ser utilizados como substitutos dos cereais que contém a fração tóxica (alfagliadina) são: farinha e amido de milho, farinha de batata, arroz, soja, polvilho e araruta.

O primeiro INQUÉRITO NACIONAL BRASILEIRO SOBRE DOENÇA CELÍACA realizado em 1989, alertou os pediatras para dirigirem uma competente investigação, devido a dificuldades em rever prontuários e o número pequeno de dados protocolados por Estado. Assim o número de pacientes com diagnóstico de DC (doença celíaca) está provavelmente, muito abaixo do número real de doentes celíacos no Brasil. Destacou-se a concentração dos pacientes no sul e sudeste do país, possivelmente por razões ligadas ao maior contingente de população em especial branca, associado à presença de maiores recursos técnicos nessa área. Novos dados estão sendo compilados para o segundo inquérito nacional brasileiro sobre doença celíaca (SPGPN, 1993).

No Brasil, particularmente em São Paulo, com apoio técnico-científico da disciplina de Gastroenterologia Pediátrica da EPM – UNIFESP, os pais dos celíacos fundaram a ACELBRA – SP (Associação dos Celíacos do Brasil - Secção São Paulo) que

objetiva orientar os pacientes quanto à doença e dieta sem glúten, por meio de palestras e envio de manual de orientação alimentar, divulgar a doença alertando os médicos e a população em geral, alertar as indústrias de alimentos solicitando o cumprimento da lei de dezembro de 1992 que determina a impressão de advertência “contém glúten” em rótulos e embalagens de todos os alimentos industrializados que o contenham, bem como e, se possível, utilizar e legalizar o símbolo internacional “sem glúten” nas embalagens de produtos permitidos para o consumo pelos celíacos (Figura 1). Cadastrar os pacientes celíacos, crianças e adultos, pois não existem dados de incidência da doença no Brasil. Segundo Associação dos Celíacos da Argentina a preparação do pão segue uma orientação padrão mesclando-se uma receita das 3 farinhas básicas: farinha de arroz, fécula de mandioca e fécula de milho acrescidas de manteiga, fermento biológico fresco, açúcar, sal, água e leite em pó (ACELA, 1999).



**Figura 1:** Símbolo do trigo cortado

**Fonte:** ACELBRA - SP

Segundo Francischi (1998) em vários países são encontrados uma série de produtos destinados à celíacos, os quais são designados pelo símbolo de “alimentos isentos de glúten”. Entretanto, o mercado brasileiro é carente de produtos que atendam às

necessidades desse público alvo. A importância do controle da alimentação dos celíacos é reconhecida no Brasil através da lei federal n. 8543 de 23/12/92 que determina a impressão de advertência em rótulos e embalagens de alimentos industrializados que contenham glúten, como trigo, aveia, cevada, malte e centeio e/ou seus derivados. Uma outra conquista para os indivíduos portadores de doença celíaca seria a legalização do símbolo internacional “sem glúten” nos produtos brasileiros (Figura 1). Porém, segundo a ACELBRA a maioria das empresas alimentícias por ela consultada relutou em esclarecer se utiliza ou não o glúten em suas formulações, fato que facilitaria em muito o estabelecimento de uma dieta de restrição ao glúten pelos pacientes. Portanto, existe uma necessidade urgente de maior preocupação por parte das empresas alimentícias no esclarecimento quanto à presença ou não de glúten em suas formulações, uma vez que o prejudicial não é a quantidade mas a simples presença do mesmo.

## **2.2 A Importância do Glúten no Processo de Panificação**

Segundo o Quadro 1, a composição média do grão de trigo é conhecida pela riqueza em proteína, gorduras, cinzas, carboidratos (amido, açúcar e fibras) e enzimas.

**Quadro 1:** Composição média do grão de trigo

Determinações	Grão(%)
Umidade	11,0 – 14,0
Proteína	9,0 – 16,0
Gordura	1,8 – 2,5
Cinza	1,6 – 2,0
Carboidrato	69,0 – 76,0
Amido	65,0 – 71,0
Açúcar redutor	1,5 – 3,0
Fibras	1,8 – 2,5

**Fonte:** El-Dash (1986)

As proteínas do trigo formam dois grupos: albuminas e globulinas (15%) e gliadina e glutenina (85%). As duas últimas estruturam o glúten, essencial na formulação da massa. A gliadina possui alta extensibilidade e baixa elasticidade e é solúvel em etanol a 80%, enquanto que a glutenina tem baixa extensibilidade e alta elasticidade, sendo solúvel em álcali (El-Dash, 1986).

O glúten úmido se apresenta como uma massa elástica e coesa, que se expande, quando assada. A massa de glúten varia de tamanho de acordo com o teor protéico da farinha, sendo que 80% do nitrogênio da farinha estão presentes como glúten. O glúten úmido contém cerca de dois terços de água e um terço de matéria seca. As bolas de glúten assadas contêm, aproximadamente, 85% de proteína, 8% de lipídio e quantidades variáveis de amido, dependendo da eficiência da sua lavagem. Um aspecto interessante na fabricação de massas com farinhas que contêm glúten refere-se à capacidade de estiramento do glúten:

quanto maior esta capacidade, melhor será a massa produzida. A oxidação também melhora a qualidade das massas; razão pela qual muitas vezes são adicionados agentes oxidantes às formulações. Uma possível explicação para os efeitos benéficos dos oxidantes sobre o glúten é que estes atuam sobre os grupos –SH para formar o grupo S-S, o que fortalecem e inativam as proteases que o desdobram (Augusto, 1995).

O processo de panificação consiste em etapas definidas e interrelacionadas. A primeira etapa do processo é a seleção da formulação adequada ao tipo de produto desejado. Para a elaboração de pães os ingredientes essenciais são, farinha, água, fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) e sal (Machado, 1996).

Segundo Pylar (1988 a) na etapa de mistura dos ingredientes ocorre a incorporação de ar, o qual se subdivide em pequenas células. O processo de mistura tem dois objetivos. O primeiro é a dispersão uniforme e completa dos ingredientes para a obtenção de uma massa homogênea, com desenvolvimento físico do glúten que fornece uma massa de estrutura uniforme e características viscoelásticas desejadas. O segundo é a incorporação de oxigênio, que fornecerá núcleos para formação de células de gás no pão.

As alterações químicas e reológicas que ocorrem na massa durante a etapa de mistura foram estudadas por vários pesquisadores e cada um atribui determinado(s) tipo(s) de reações ou interações sobre as hipóteses de formação do glúten (Machado, 1996).

Após a etapa de mistura, a massa é deixada em repouso durante um determinado período, em condições de umidade e temperatura controladas. Durante esta etapa de fermentação, as células de fermento são dispersas uniformemente na massa. Devido a etapa de mistura as leveduras atuam sobre os açúcares disponíveis transformando-os em dióxido de carbono e álcool. Como consequência desta produção de gás ocorre a expansão ou

crescimento da massa. Segundo Machado (1996) o glúten se torna mais flexível e elástico durante a fermentação devido a uma série de fatores tais como a ação de enzimas proteolíticas, produção de álcool, formação de vários ácidos orgânicos e inorgânicos, aumento da concentração de íons de hidrogênio, entre outros. Todos estes fatores alteram as características coloidais do glúten de maneira que ele se torna capaz de formar um filme fino. Este filme retém as células de gás formadas nesta etapa, ao mesmo tempo que mantém sua extensibilidade e elasticidade, impedindo a ruptura da massa devido à pressão exercida pelo gás.

O tempo requerido para que a massa alcance seu ponto máximo e ideal de elasticidade e capacidade de retenção dos gases ainda não está bem estabelecido. Segundo Pyler (1988 b) alterações que ocorrem no glúten e propiciam este grau ideal de maturidade, ainda não foram suficientemente esclarecidas e a utilização de massas pouco ou excessivamente fermentadas não resultam pães de boa qualidade.

Um elemento chave para uma boa fermentação é a correta mistura dos ingredientes ou desenvolvimento do glúten, durante a mistura da massa.

Na fermentação de uma massa corretamente misturada, duas forças atuam: a produção e retenção de gases. A produção de gases é principalmente uma reação enzimática que envolve as enzimas naturalmente presentes na farinha, as adicionadas como suplementação e as provenientes do fermento (levedura) (Machado, 1996). Segundo Head, citado por Pyler (1988b) os fatores que levam a uma maior produção de gás são: o aumento da concentração de fermento; adição de açúcar ou malte diastático em farinhas com deficiência de um ou outro; utilização de nutrientes para fermento em quantidades adequadas; altas



temperaturas, próxima de 35°C. Entre os fatores que reduzem a produção de gás estão: sal, quantidades excessivas de nutrientes para fermento e temperaturas excessivamente altas.

Vários são os fatores que regem a retenção de gás incluindo: pH, agentes oxidantes, branqueadores, sais, umidade, fatores físicos e químicos, enzimas proteolíticas e outros, além dos mecânicos como: mistura, expansão da massa, sova, divisão, boleamento e moldagem.

Segundo Dubois (1984) a fermentação produz gases que causam a expansão das células, resultando em melhor incorporação e retenção dos gases. Os ácidos desenvolvidos durante a fermentação aumentam a concentração do íon de hidrogênio da massa, causando dissociação no glúten o que permite formar filmes finos extensíveis, aumentando assim suas propriedades de retenção de gás e expansão. O resultado da fermentação da levedura e da produção dos gases na etapa final da fermentação é uma massa crescida. Nesta fase o glúten se acha desenvolvido a ponto de se expandir sob o processo de pressão dos gases que estão se formando. O processo finaliza no forneamento onde se dá a transformação de uma massa não apetecível em um produto mais leve, poroso, saboroso e facilmente digerível através do calor. A expansão e a formação de filme superficial fino é o primeiro efeito observado quando a massa é levada ao forno. O crescimento rápido das células através da expansão térmica dos gases e do aumento da produção de gás pelas leveduras é crítico, nos primeiros estágios do cozimento, sobre a capacidade de retenção de gás da massa (Dubois,1984).

Segundo Pyler (1988d) nos cinco minutos iniciais do forneamento a massa continua um progressivo aumento no volume, o que é denominado como “oven rise”. Após a etapa de expansão da massa, ocorre o “oven spring”, que é o auge de uma série de

reações. O calor agindo sobre os gases produz sua expansão e por conseqüência a expansão das células que os retém. Outro efeito puramente físico que ocorre pela ação do calor é a redução da solubilidade dos gases. Uma parte do dióxido de carbono gerado pela levedura permanece presente na solução na massa. Quando a temperatura da massa atinge aproximadamente 49°C o dióxido de carbono é liberado da solução. Este gás livre migra para as células de gás já existentes, aumentando sua pressão interior. O terceiro efeito físico é a transformação dos líquidos de baixo ponto de ebulição em vapores. O álcool que constitui a maior parte destes líquidos se transforma rapidamente em vapor, quando a temperatura da massa atinge 79°C, elevando ainda mais a pressão e aumentando a expansão das células de gás.

A formação da crosta é iniciada ao mesmo tempo em que o “oven spring” é atingido e o resultado característico é a formação da “quebra” e “rasgo” nas laterais superiores do pão. Portanto, nos primeiros instantes do forneamento há um aumento constante de pressão interna produzida pelos efeitos físicos da penetração de calor. Quando atinge-se o período do “oven spring” ocorre simultaneamente uma queda da pressão e o início da gelatinização do amido. Segundo Pylar (1988c) parte desta pressão perdida é devida à coalescência de pequenas células de gás em células maiores e em menor número. Além dos efeitos puramente físicos do calor, ocorre também a influência da atividade da levedura. O principal fator que determina a taxa de fermentação e a formação de dióxido de carbono e álcool é a temperatura, sendo que esta taxa aumenta com o aumento da temperatura, até certo ponto. Assim, antes da massa atingir aproximadamente 60°C, que é a temperatura de morte da levedura, ela continuará a produzir dióxido de carbono na massa em quantidades suficientes para contribuir com a expansão do volume. A ação da levedura é auxiliada, à temperaturas

elevadas, pelo aumento da atividade amilolítica das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase. Finalmente, no “oven spring” ocorre um amaciamento do glúten, simultaneamente ao inchamento ou gelatinização do amido, quando a temperatura atinge aproximadamente 54°C. O grau de gelificação do amido é limitado pela disponibilidade de água. Como o fenômeno da gelificação está associado à absorção de água, ocorre remoção da água retida pelas proteínas do glúten, ao mesmo tempo que este se desnatura e perde a afinidade pela água. A coagulação do glúten inicia quando a temperatura da massa atinge aproximadamente 74°C e continua lentamente até o final do forneamento. Durante este processo o glúten se transforma em uma estrutura semi-rígida. Com a expansão das células, ocorre uma orientação dos grânulos flexíveis do amido dentro da matriz protéica alongando os grânulos e permitindo ao glúten se tornar um filme fino; que poderá se romper mas não irá colapsar. Assim, a maior alteração que ocorre durante o forneamento é a distribuição da água proveniente do glúten para o amido, permitindo que o amido sofra a gelificação (Pylar, 1988c).

No final da etapa de cozimento ocorre desenvolvimento do “flavor” do pão. As condições de formação da crosta são essenciais para a completa produção do flavor. Segundo Johnson & El-Dash (1969) o “flavor” do pão é um fenômeno complexo que envolve sensações psicológicas e fisiológicas, sendo função dos ingredientes e processamento do pão.

De acordo com pesquisadores de Kansas State University (1972), o “flavor” do pão resulta da formação de compostos carbonílicos aromáticos, ácidos orgânicos, vários álcoois e outros compostos formados pela interação de amino grupos livres com açúcares redutores durante o cozimento, através da Reação de Maillard. Os grupos amino livres dos aminoácidos, peptídios ou proteínas reagem com os grupos hidroxílicos dos açúcares, em uma seqüência de alterações complexas que resultam na formação de polímeros

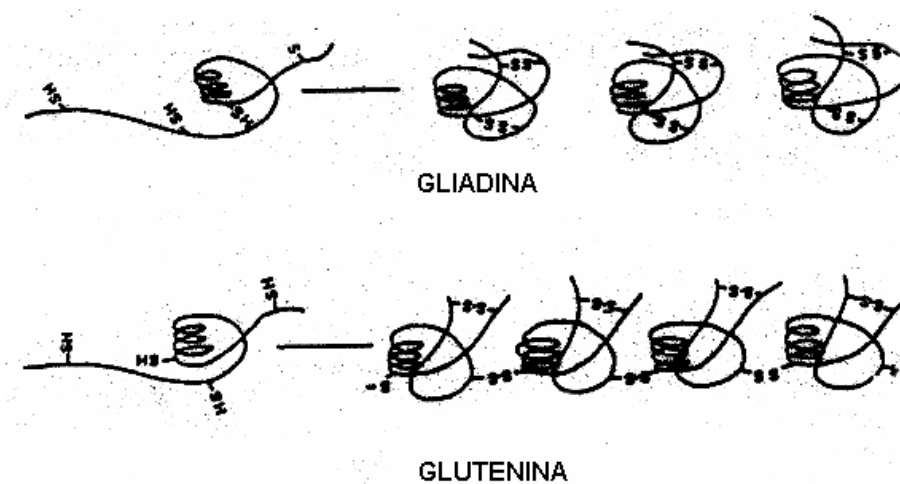
coloridos escuros e compostos carbonílicos aromáticos, os quais proporcionam a cor dourada da crosta e o “flavor” típico do pão (El-Dash, 1969).

### **2.3 Formação do Glúten**

Existem quatro hipóteses sobre as propriedades de formação do glúten pelas proteínas presentes no trigo, as quais conferem às massas as características viscoelásticas essenciais para a produção de pão e pastas alimentícias.

a) Os estudos de Beckwit, e Beckwith & Wall (citados por Machado, 1996) foram direcionados para a redução e oxidação das ligações dissulfídicas (S-S) e dos grupos sulfidrílicos. Os resultados obtidos mostraram que a glutenina consiste de componentes de baixo peso molecular ligados intermolecularmente por ligações dissulfídicas, enquanto que a gliadina, consiste de uma única unidade sem ligações dissulfídicas intermoleculares.

Segundo esta teoria, a glutenina é formada por cadeias de aminoácidos unidas por ligações dissulfídicas intermolecularmente, sendo que as unidades das cadeias também apresentam pontes dissulfídicas internas, o que resulta em uma estrutura emaranhada. O componente gliadina é formado por cadeias individuais de aminoácidos com ligações dissulfídicas intramoleculares que mantêm a molécula fechada ou melhor, com forma globular, como pode ser visto na Figura 2. A principal diferença destes dois componentes, segundo a teoria, está na seqüência dos aminoácidos das cadeias.



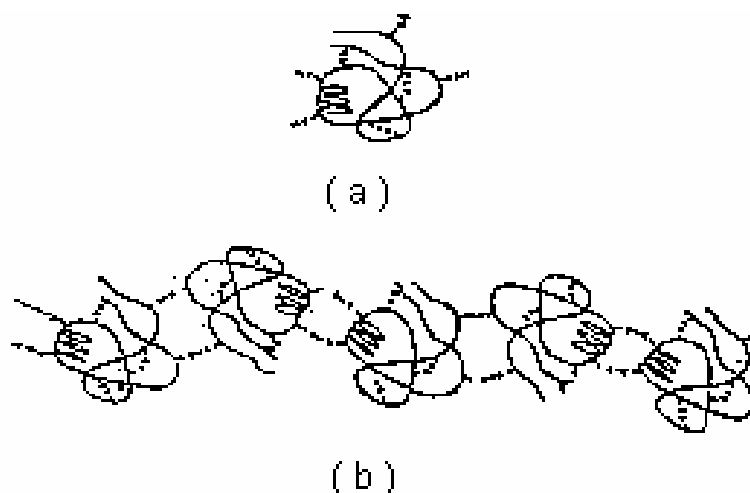
**Fonte:** Blokma, citado por El-Dash (1991)

**Figura 2:** Papel das ligações dissulfídicas inter e intramoleculares na estrutura da gliadina e glutenina.

A explicação do papel das ligações sulfidril-dissulfito na formação da massa e o desenvolvimento das propriedades viscoelásticas foi apresentada por vários pesquisadores. Segundo Blokma, citado por El-Dash (1991) as trocas tiol-dissulfito que ocorrem durante a mistura pode ser uma explicação lógica para a formação da rede de proteínas na massa. As moléculas de proteínas de diferentes partículas da farinha podem se ligar umas as outras formando uma rede contínua e coesa, com o auxílio de um catalizador que se encontra presente naturalmente na farinha de trigo. Segundo o pesquisador esta propriedade é única na farinha de trigo devido à velocidade com que ocorre, muito maior do que em outros cereais.

### b) Hipótese das concatenações biossintetizadas

Esta hipótese foi apresentada pelos pesquisadores Ewart (1972) e Greenwood & Ewart (1975). Segundo os mesmos a glutenina é o único constituinte das proteínas da farinha de trigo que apresenta alguma propriedade viscoelástica significativa; a qual é característica inerente da molécula e que é ativada pela hidratação e mistura durante a formação da massa. Portanto, de acordo com a hipótese, as moléculas de glutenina com propriedades viscoelásticas estão presentes no grão de trigo.



**Fonte:** Ewart (1972); Greewood & Ewart (1975)

**Figura 3:** Tipos de ligações encontradas:

- a) Cadeia de polipeptídeos unida por 3 ligações dissulfídicas intra-moleculares e 4 grupos sulfidrílicos livres.
- b) Parte linear da molécula de glutenina com 5 cadeias de polipeptídeos unidas por 2 ligações dissulfídicas cada.

A molécula de glutenina, formada por cadeias peptídicas, contém dez grupos sulfidrílicos, sendo que seis destes formam ligações dissulfídicas intramoleculares e os quatro grupos restantes estão localizados na cadeia de maneira que dois deles se ligam a outros dois grupos de outra cadeia. Esta seqüência de ligações origina uma longa molécula linear, ou concatenação, que apresenta cadeias polipeptídicas ligadas umas às outras através de duas ligações dissulfídicas intermoleculares, como pode ser observado na Figura 3.

A teoria aborda as propriedades viscoelásticas do glúten. A rede tridimensional, necessária para promover a viscoelasticidade e a estrutura molecular coesa da massa, podem ser formadas através do emaranhado das cadeias que darão origem à rede. Esta rede também pode apresentar ligações secundárias, principalmente as hidrofóbicas. As concatenações (cadeias) de gluteninas podem se estender, segundo esta teoria, devido as ligações dissulfídicas intermoleculares se encontrarem de forma contraída, o que as leva a um aumento da extensão sob ação da força. Porém as forças mantêm a cadeia de polipeptídio fechada são fortes, levando a cadeia a voltar à sua forma original após a aplicação da força segundo Ewart (1972), Greenwood & Ewart (1975).

### **c) Hipótese da força de agregação de ligações secundárias**

Os pesquisadores Bernadin & Kasarda (1973) e Kasarda *et al.* (1976) orientaram seus estudos na formação de agregados microfibrilares de algumas gliadinas e outras proteínas do endosperma. Eles separaram as gliadinas do trigo em quatro grupos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e a gliadina) de acordo com a mobilidade. Verificaram que a  $\alpha$ -gliadina como possui uma

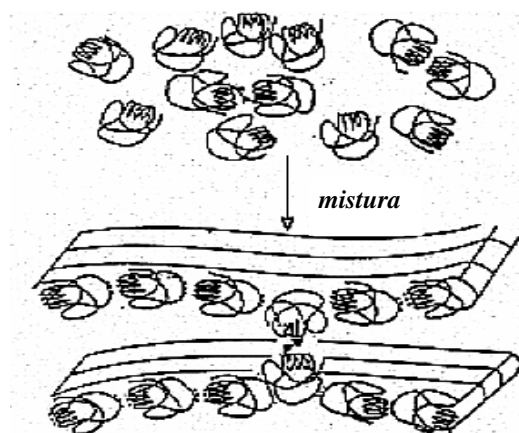
estrutura microfibrilar, pode se dissociar em subunidades quando em pH e se reagregar com o aumento do pH de 3 para 5. Esta agregação é reversível e envolve apenas ligações secundárias sem nenhuma participação de ligações dissulfídicas. Um estudo análogo foi realizado sobre a glutenina, que levou-os à conclusão de que a tendência de formação das microfibrilas é uma propriedade intrínseca das proteínas do trigo, devida principalmente ao grande número de radicais glutamínicos presentes na gliadina e frações da glutenina, podendo ocorrer na superfície das subunidades de proteínas, propiciando o surgimento das cargas.

De acordo com esta teoria, a formação da massa através da mistura da farinha de trigo com água ocorre devido a presença de forças de ligações secundárias, que promovem a agregação das subunidades de proteínas. Com a continuidade da mistura, as microfibrilas interagem formando as macrofibrilas, que se orientam através da mistura e formam uma rede tridimensional. Esta teoria justifica as propriedades elásticas da massa porque a rede de macrofibrilas pode se estender sob força e recuperar a elasticidade cessada a força.



#### d) Hipótese da força de agregação secundária e pontes dissulfídicas

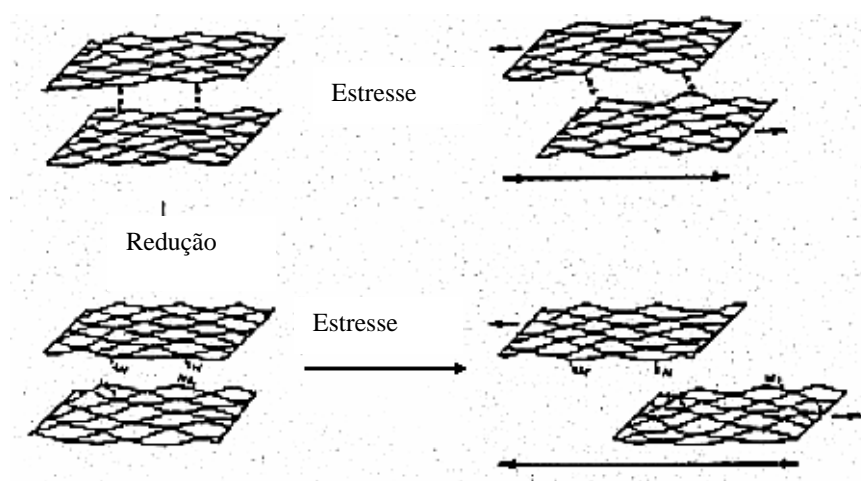
A hipótese proposta por El-Dash (1991) se baseia em dois elementos: (a) presença de forças de agregação secundárias responsáveis pela formação de cadeias e camadas na massa, e (b) existência de pontes dissulfídicas intermoleculares que agem unindo cadeias e camadas. O estudo assume que durante o amadurecimento do grão de trigo ocorre uma exposição dos grupos não-polares nas moléculas de proteínas, enquanto que os grupos polares se voltam para o interior da molécula. Durante a mistura, com o rompimento das moléculas de proteínas, os grupos polares não expostos, ocorrendo ligações entre moléculas através destes pontos secundários. As ligações dissulfídicas intermoleculares unem ou cadeias, proporcionando a ligação entre camadas, criando assim uma rede tridimensional de proteínas capaz de reter grande quantidade de água (Figura 4).



**Fonte:** Amend & Belitz (1991)

**Figura 4:** Formação de camadas de glúten através de forças secundárias e incorporação de unidades de proteínas com ligações dissulfídicas intermoleculares entre as camadas.

Com a continuidade da mistura as interações entre as várias cadeias de polímeros aumentam. Segundo a teoria se a massa for supermisturada, dará origem a regiões de alto grau de associação, as quais perderão a capacidade de reter água. Como consequência esta será expulsa resultando uma massa com aspecto fluido. As características viscoelásticas da massa são explicadas da seguinte maneira: a massa, formada por cadeias de agregados de unidades de proteínas com pontes dissulfídicas entre cadeias, pode esticar sob força, voltando à forma original com o interropimento da aplicação. Isto porque quando se aplica força, a quebra ocorre nas ligações secundárias, que são pontos mais fracos. As ligações dissulfídicas são mais fortes e mantêm as unidades de proteínas unidas. Os agentes redutores são capazes de quebrar ligações - SS – aumentar a extensibilidade e reduzir a resistência à extensão da massa. Segundo esta teoria, o fenômeno pode ser explicado da seguinte maneira: os agentes redutores quebram as ligações – SS - , que unem as camadas, permitindo que deslizem facilmente umas sobre as outras, aumentando a extensibilidade.



**Fonte:** Amend & Belitz (1991)

**Figura 5:** Efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten.

Um agente oxidante pode provocar um efeito contrário, aumento das ligações entre cadeias através dos grupos –SH livres disponíveis em cadeias adjacentes, com conseqüente aumento da resistência à extensão e redução da extensibilidade. O efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten pode ser verificado na Figura 5.

Os pesquisadores Bechtel *et al.*, e Bechrel & Barnett, citados por Amend & Belitz (1991) mostraram através de estudos microscópicos que durante o desenvolvimento do grão de trigo, grânulos de proteínas se formam dentro das células do endosperma e se fundem para formar a matriz protéica. Seguindo o mesmo raciocínio Amend & Belitz (1991) concluíram que a massa é formada a partir de pequenas redes tridimensionais de proteínas do glúten, existentes dentro de cada célula do endosperma. As propriedades elásticas do glúten, existentes no grão, são restabelecidas na farinha através da hidratação. Segundo os pesquisadores, a formação da massa é basicamente um processo de agregação destas redes de glúten, pré-existentes, através da hidratação e proximidade das partículas da farinha, durante a mistura.

## **2.4 Tecnologia de Farinhas Mistas**

No Brasil, segundo Machado (1996) com o crescente consumo de trigo e os altos índices de importação do referido cereal, iniciaram-se pesquisas voltadas para sua substituição parcial por farinhas sucedâneas, de produção nacional. Estas pesquisas apontavam os vários benefícios da substituição, entre eles a redução nas importações do trigo; redução dos gastos governamentais com o subsídio; aumento do consumo de farinhas nacionais tais

como de mandioca, milho, sorgo entre outras, fato que levaria ao maior emprego na área rural contribuindo para a fixação do homem no campo.

Segundo Machado (1996), alguns fatores foram considerados para a implantação de um programa viável para a substituição:

- As farinhas panificáveis sucedâneas para a mistura com farinha de trigo;
- Os fatores que afetariam os índices de substituição de farinhas a serem misturadas com a farinha de trigo.

Várias farinhas amiláceas e proteínáceas foram estudadas para substituir parcialmente a farinha de trigo. As farinhas proteínáceas seriam de grande importância em áreas onde o suprimento de proteínas animais é deficiente, porque aumentariam a qualidade nutricional do pão. As farinhas amiláceas foram estudadas principalmente para tentar aproveitar raízes, tubérculos e alguns cereais produzidos e pouco utilizados no País (Machado, 1996).

#### **2.4.1 Farinhas proteínáceas**

##### **a) Farinha de soja (*Glycine max*)**

O pão francês feito de uma mistura de 7% de farinha de soja desengordurada mostrou-se de excelente qualidade, similar ao pão feito com 100% de farinha de trigo, além de apresentar um aumento do conteúdo protéico de 11,5 para 14,23%. Entretanto quando elaborado com níveis superiores a 7%, a qualidade foi afetada. Nos E.U.A

foram produzidos pães com 16 - 18% de farinha de soja desengordurada, porém usando uma farinha de trigo forte de excelente qualidade, que não é disponível no Brasil. Para farinhas obtidas de trigo forte, de mediana força, o nível máximo de adição é de 10%, segundo El-Dash (1983).

#### **b) Farinha de tremçoço doce (*Lupinus sp*)**

A farinha de tremçoço doce possui alto teor protéico de 39% em base seca, podendo ser adicionada em concentrações de 19% em farinhas de trigo nacional (78% de extração) sem nenhum efeito na qualidade do pão, resultando produtos com maior valor nutritivo, segundo El-Dash (1983).

#### **c) Farinha de amaranto (*Celosia argentea*)**

Sales & Vitti (1987) realizaram um estudo sobre as propriedades tecnológicas de farinha mista de trigo e amaranto. A farinha integral de amaranto com 17,6% de proteína bruta e 6,3% de matéria graxa foi utilizada na proporção de 20% de adição à farinha de trigo para obtenção de pães. A mistura, segundo os pesquisadores, é tecnologicamente viável pois, as características reológicas da massa pouco diferiram daquelas da massa de trigo puro, além de resultarem pães de sabor agradável e aceitável.

## **2.4.2 Farinhas amiláceas**

### **a) Produtos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**

#### **Farinha de mandioca**

Segundo Machado (1996) a farinha foi estudada por ser a mandioca uma cultura típica do Brasil e estar presente na alimentação do povo brasileiro, principalmente nas camadas de menor renda. Esta farinha possui boas características panificáveis, sendo possível preparar pães de qualidade aceitável.

#### **Farinha de raspas de mandioca**

Os experimentos realizados no Brasil com programa da FAO mostraram que a farinha de trigo nacional adicionada com até 8% de farinha de raspas de mandioca, em combinação com um aditivo o CSL (estearoil lactato de cálcio) em proporções de 0,5% pode produzir pães de boa qualidade, de acordo com El-Dash (1983).

Segundo Vitti & Pizzinato (1975 a,b) na fabricação de pães, adições de até 15% de farinha de raspas de mandioca pré-gelatinizada resultaram em bons produtos quando combinações de ácido ascórbico e estearoil -2- lactato de cálcio foram empregadas. A adição de soja à mistura também foi analisada na tentativa de melhorar o valor nutricional. Bons resultados foram obtidos quando os aditivos foram utilizados.

**b) Farinha de inhame (*Dioscorea sp*)**

A farinha de inhame pode ser adicionada à farinha de trigo nacional em concentração de até 16% para produção de pão. A avaliação organoléptica do pão mostrou a necessidade de habituar o consumidor a esse novo produto, pois seu sabor é mais adocicado e a casca mais macia, segundo El-Dash (1983).

**c) Farinha de milho integral e desengordurada (*Zea mays*)**

As farinhas de milho (fubá) e de milho desengordurada podem ser misturadas à farinha de trigo na razão de 10-20%, produzindo um pão de qualidade razoável, segundo El-Dash (1983).

**d) Farinha de sorgo (*Sorghum vulgare*)**

A utilização desta farinha representa uma boa alternativa para a substituição parcial do trigo, pois seu rendimento é alto e o preço é consideravelmente baixo, se comparado ao do trigo ou milho. A farinha de sorgo foi adicionada em nível de 15% à farinha de trigo, sem provocar decréscimo no volume do pão.

Além do estudo sobre farinhas alternativas disponíveis, outros fatores foram considerados por El-Dash (1983) para analisar a viabilidade da substituição da farinha de trigo.

A qualidade da farinha de trigo e seu grau de extração influenciam diretamente a tolerância de diluição da farinha, sendo que as farinhas de trigo com maior conteúdo protéico, glúten mais forte ou menor grau de extração tendem a tolerar maior quantidade de farinha sucedânea, enquanto que as farinhas com alto grau de extração (farinha comum) toleram menos. A tolerância da farinha de trigo à adição de farinhas sucedâneas pode ser aumentada e a qualidade do pão melhorada com o emprego de aditivos. Estes aditivos podem ser oxidantes, como bromato e iodato de potássio que proporcionam melhora na qualidade e força do glúten, emulsificantes como estearoil-lactilato de cálcio, que melhoram o desempenho do amido e a reologia da massa; vários monoglicerídeos ou derivados de ácidos graxos (Machado, 1996).

O método de panificação utilizado deve ser avaliado na determinação do nível ótimo de farinha sucedânea empregado e os tipos de produtos que serão produzidos. Dependendo do método empregado pode-se aumentar o nível da farinha sucedânea ou utilizar trigo de menor força, obtendo-se resultados favoráveis. Entre os produtos, o pão é o menos tolerante a substituição por farinhas sucedâneas, porque exige glúten de alta qualidade, disponível em farinha de trigo de boa qualidade. A formulação e a composição das matérias-primas também exercem grande influência na tolerância das farinhas sucedâneas, sendo que altos teores de gordura e açúcar tendem a aumentar esta tolerância. A qualidade das farinhas sucedâneas a serem adicionadas à farinha de trigo depende de certos fatores como o método de processamento, a qualidade da matéria-prima, o sistema de controle de qualidade na



fabricação entre outros, os quais devem ser rigorosamente controlados, ou seja, a especificação do padrão de qualidade deve ser previamente estabelecido para que não haja interferência na qualidade tecnológica do produto final, segundo El-Dash (1983).

Horvath-Almassy (1989) em estudo sobre farinhas mistas concluíram que a qualidade da proteína é tão importante quanto a quantidade e sugeriu que um estudo sobre as propriedades das farinhas mistas ajudaria na otimização da qualidade de panificação, reduzindo custos nos moinhos.

A substituição parcial da farinha de trigo por outras farinhas de produção nacional, é recomendável por acarretar benefícios econômicos para o país no sentido de reduzir a importação do trigo, porém mesmo com todo estudo a substituição é limitada e acarreta redução na qualidade do pão (Machado, 1996).

Freitas *et al.*,(1997) realizaram teste de panificação para estudar a possibilidade de substituição da farinha de trigo por farinha de mandioca, em proporções que variaram de 10 a 40%. Após a cocção, os pães foram submetidos à avaliação sensorial e os resultados analisados estatisticamente. Concluíram que os pães elaborados com 10 e 20% de farinha de mandioca em substituição à farinha de trigo resultaram em produtos com textura macia e boa aceitabilidade.

Apesar de toda essa potencialidade não existem farinhas misturadas sem trigo, portanto sem glúten, em nível de mercado.

## 2.5 Desenvolvimento de novos produtos sem glúten

Existem pesquisas que apontam a crescente preocupação, em nível mundial, com o substituto do trigo visando atender a população hipersensível, entre os quais encontram-se os celíacos. Uma tendência é o desenvolvimento de novos produtos sem glúten e introdução de outros alimentos (ovos e leite) (Wintz & Kuntze, 1996; Kaczmariski & Kurzatowska, 1988; Metcalfe, 1984; Holub, 1990; Kokke *et al.*, 1994). De acordo com El-Dash (1991) uma possibilidade seria a formação de uma rede de polissacarídeos e outra a modificação da estrutura protéica do glúten com enzimas (proteínases) (Tanabe *et al.*, 1996).

O desejo de se produzir pão sem a utilização de trigo direcionou as primeiras pesquisas para uma melhor compreensão sobre a qualidade do pão e o papel do amido em panificação. Algumas pesquisas foram realizadas com o objetivo de se conhecer as propriedades e funções que cada componente do trigo exercia na produção de pães (Machado, 1996).

As funções do amido em panificação foram definidas por Sandsted (1961) como:

- diluente do glúten na obtenção da consistência desejada da massa;
- fornecedor de açúcares para a ação de enzimas amilases (amido danificado);
- fornecedor de uma superfície adequada à adesão ao glúten:
- propriedade de tornar-se flexível durante a gelatinização parcial, formando um filme macio;
- absorver água do glúten para a sua gelatinização, formando um filme rígido o suficiente para limitar a expansão e fornecer uma estrutura ao pão que o impede de colapsar após o forneamento.

Em um estudo sobre a substituição das proteínas do trigo por formadores de gel, Rotsch, citado por Jongh, 1961 concluiu que o miolo do pão deve sua coesividade ao amido parcialmente geleificado, sendo que as diferenças de estruturas do miolo estão relacionadas ao grau de geleificação do amido. O glúten teria como função a retenção do dióxido de carbono durante a fermentação e a retenção temporária da água necessária para geleificar o amido. Segundo o pesquisador não há substitutos para o amido devido a função deste durante e após o processo de panificação, sendo que as massas sem glúten poderiam reter gases se outro gel o substitui, recomendando o uso de goma Locusta e Alginato de Sódio.

Uma melhora na retenção de gases e na estrutura do pão de amido foi obtida por Jongh (1961), com adições de glicerol monoestearato (GMS). Partiu-se da suposição que uma massa elaborada com amido e água representa uma suspensão concentrada estável, onde as forças repulsivas entre os grânulos tornam a suspensão dilatante, não oferecendo condições adequadas à retenção dos gases incorporados durante a mistura ou formados durante a fermentação. A adição de gliceril monoestearato (GMS) à massa levaria à atração entre os grânulos de amido, diminuindo assim a expansão e tornando a massa mais plástica, capaz de reter os gases durante a fermentação. O pão produzido com adição de 1% de gliceril monoestearato apresentou-se com maior volume e melhor estrutura interna após o cozimento, se comparado ao controle.

Hoseney *et al.*, citado por Silva (1990) isolou amido de vários cereais e realizou estudos de reconstituição destes com glúten e aquossolúveis de uma farinha de trigo duro. Estas farinhas reconstituídas foram utilizadas em testes de panificação com o objetivo de compreender o desempenho de diferentes tipos de amido em panificação. Os amidos

analisados, como milho, sorgo, arroz, aveia e batata, apresentaram fracas características de panificação.

A compreensão sobre o papel do amido na qualidade de pão proporcionou um melhor direcionamento nas pesquisas sobre a possibilidade de produção de pão sem glúten, como destinado aos celíacos que apresentam intolerância ao glúten. A intolerância ao glúten pode estar relacionada com a absorção de peptídios tóxicos resultantes da fração de gliadina do glúten que é normalmente hidrolisada, resultando em má absorção, diarreia e outros distúrbios gastrointestinais, segundo os pesquisadores Van Dekamer & Weijers; Kasarda; Dissanayake *et al.* (citados por Ranhotra *et al.*, 1975). Cereais pobres em glúten como arroz, milho entre outros, têm sido considerados como não tóxicos aos celíacos, segundo Kasarda (citado por Ranhotra *et al.*, 1975).

Em estudo altamente abrangente Kim & De Ruiter (1968, 1969) testaram combinações de farinhas amiláceas e protéicas com adição de substitutos de glúten. Esta pesquisa foi realizada buscando desenvolver produtos de panificação a partir de farinhas de tubérculos e sementes oleaginosas. Alguns trabalhos anteriormente realizados conseguiram êxito com adições de 5 a 10% destas farinhas à farinha de trigo. Acima destas proporções os resultados não foram satisfatórios. Utilizando apenas as farinhas de tubérculos e oleaginosas, os pesquisadores enfrentaram dificuldades como, a de obtenção de uma massa coesa o suficiente para permitir expansão durante o processo do cozimento e a obtenção de um pão com miolo semelhante ao pão de trigo. Com o objetivo de atingir a coesividade desejada, substâncias formadoras de gel, ou surfactantes como gliceril monoestearato (GMS) ou polioxietilenoestearato (POES) foram utilizados. Uma combinação de farinha de mandioca, como fonte de amido e farinha de soja desengordurada como fonte de proteína, foi utilizada na

expectativa de obtenção de um miolo semelhante ao pão de trigo. A soja foi escolhida por possuir proteínas de alto valor nutricional e também por fornecer bons resultados tecnológicos em experimentos preliminares, e a mandioca por ser uma raiz comum em áreas tropicais. Neste processo a água empregada para obtenção de pão com bom volume, foi o dobro requerido para massas de farinha de trigo, como consequência, o miolo apresentou-se pegajoso e úmido. A substituição da farinha de mandioca por amido de mandioca, que possui um gel de propriedades mais coesivas, reduziu a quantidade de água, melhorando a consistência da massa. Este efeito foi acompanhado por um considerável aumento de volume. Os melhores resultados foram obtidos com uma mistura de 80 partes de amido de mandioca e 20 partes de farinha de soja desengordurada. A formulação e as condições usadas na fabricação do pão de amido de mandioca e farinha de soja desengordurada, encontram-se no Quadro 2. Segundo os pesquisadores a obtenção de pães de boa qualidade, com o emprego da formulação apresentada, é conseguida devido:

- A – adição de um grande volume de água na preparação da mistura para a obtenção de uma pasta semi-líquida;
- B – adição de gliceril monoestearato (GMS) na forma de emulsão;
- C – misturar novamente, após um curto tempo de fermentação;
- D – utilização de uma farinha de soja com um índice de solubilidade de nitrogênio (NSI), de aproximadamente 60%.

Esses quatro fatores combinados contribuem para a incorporação de ar pela massa durante a mistura, facilitando seu crescimento com uma menor pressão dos gases formados na fermentação. O produto obtido (pão) apresentava-se ligeiramente encharcado e borrachento após o cozimento, sendo que após duas horas tornava-se farelento. Na tentativa de

alcançar melhores resultados, os pesquisadores realizaram várias alterações substituindo um terço do amido de mandioca por amido de milho, o resultado foi um pão com melhores características de palatabilidade e miolo menos borrachento durante o primeiro dia de fabricação, tornando-se após este período rapidamente seco e farelento. A substituição completa do amido de mandioca por amido de milho, trigo ou batata resultou pães com piores características, sendo que os mesmos se apresentavam farelentos logo após o cozimento.

**Quadro 2:** Formulação do pão de amido de mandioca e farinha de soja.

FORMULAÇÃO	PARTES(em peso)	%
Amido de mandioca	80,0	100,0
Farinha de soja	20,0	25,0
Levedura prensada	2,0	2,5
Sal	2,0	2,5
Açúcar (sacarose)	4,0	5,0
Gliceril monoestearato (emulsão 10%)	13,5	16,87
Estearoil-lactil-lactato de cálcio	0,15	0,18
Água	60,0 – 80,0 (a)	75,0 – 100,0

a) depende da absorção de água da farinha

**Fonte:** Kim & De Ruiters (1969)

**Quadro 3:** Procedimento utilizado na fabricação do pão de amido de mandioca e farinha de soja.

PROCEDIMENTO	QUANTIDADES
Tempo de mistura	10 min
Tempo de fermentação	40 min
Tempo de re-mistura	5 – 10 min (a)
Divisão da massa	0 min
Fermentação final	Variável (b)
Tempo de cozimento	30 min
Temperatura do forno	230°C

Depende: a) do tamanho do misturador; b) da velocidade de produção de gás da massa.

**Fonte:** Kim & De Ruiter (1969)

Segundo Kim & De Ruiter (1969) a qualidade do pão de amido de mandioca e farinha de soja depende da absorção de água da farinha, do tamanho do misturador e da velocidade de produção de gás da massa.

Uma melhora na coesividade do miolo foi obtida com a substituição do GMS por hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) a 1% e um aumento da quantidade de água usada na formulação (Kim & De Ruiter, 1968, 1969).

A diferença no comportamento relativo desses aditivos pode ser atribuída às diferentes características de geleificação desses amido testados. No caso do amido de mandioca, a geleificação precisa ser retardada para evitar um produto final excessivamente borrachento. A adição de gliceril monoestearato (GMS) e estearoil-lactilato de cálcio (CSL) controla a geleificação. No caso das massas formuladas com os amidos de milho, trigo ou batata, a geleificação necessita ser promovida, o que pode ser conseguido adicionando-se mais

água e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). Entretanto, segundo os pesquisadores Kim & Ruitter (1968, 1969), o domínio do processo ainda não foi atingido. Os experimentos demonstraram que a coesividade da massa depende do amido e do aditivo empregado, sendo que o aditivo precisa ter compatibilidade com a farinha e seu amido. A velocidade de envelhecimento (retrogradação) do pão foi outro fator considerado de extrema importância. Foi observado que os pães elaborados com farinha de soja/amido de mandioca ou trigo apresentam uma velocidade de retrogradação menor que os pães de farinha de soja/amido de batata ou milho.

Hart *et al.*, (1970) estudaram as possíveis melhoras que alguns aditivos poderiam fornecer aos pães de sorgo e cevada. Entre várias gomas analisadas foi verificado que a metilcelulose 4.000 cps aumentou a retenção de gases no pão de sorgo e melhorou a textura de ambos. Os amidos de mandioca, batata, araruta e milho encontrados facilmente nas regiões produtoras de sorgo, podem ser utilizados nas formulações por proporcionarem melhor textura e volume à massa, além de agilizar o processo de fermentação.

Outras pesquisas foram realizadas utilizando-se diferentes aditivos, sempre na tentativa de se obter um produto o mais semelhante possível ao pão de farinha de trigo (Machado, 1996). Um desses, utilizado por pesquisadores, foi a goma Xantana, um heteropolissacarídeo resultante da fermentação de glicose pela *Xanthomonas campestris* com peso molecular na ordem de milhões de daltons, que foi desenvolvida pelo Northern Regional Research Laboratory (NRRL) segundo Rocks (citado por Machado, 1996). Segundo Kulp *et al.*, (1974) e Christianson *et al.*, (1974) foi o aditivo que produziu melhor efeito para a qualidade do pão.



Kulp *et al.*, (1974), em seus estudos, compararam amido de trigo pré-gelatinizado, carboximetilcelulose (CMC) e goma xantana separadamente e em combinação com agentes surfactantes (GMS, Mono e Di-glicerídios, Estearoil-lactatos) como agentes ligantes com o amido de trigo para a produção de pão sem glúten. O procedimento adotado foi o mesmo utilizado por Kim & De Ruitter (1968). Os três sistemas amido/substitutos do glúten produziram pães estruturalmente aceitáveis quando os emulsificantes não foram utilizados. O pão com goma xantana, em termos de propriedades gerais, volume e “flavor” se apresentou superior aos elaborados com carboximetilcelulose (CMC) ou amido pré-gelatinizado. Neste estudo, a adição de surfactantes não contribuiu para melhorar a formação da estrutura do pão sem glúten, quando empregado em combinação com as gomas. Estes resultados contrariam a pesquisa de Jongh (1961) que concluiu serem os surfactantes funcionais importantes para a produção de pães de amido. Apesar de não ter usado substâncias formadoras de gel, conseguiram obter uma massa coesa o suficiente para reter gases.

Ranhotra *et al.*, (1975) em estudos visando o enriquecimento protéico de pães de amido de vários cereais, utilizaram isolado protéico de soja (88% proteínas - N x 6,25), sendo que bons resultados foram obtidos com adições de até 22%. Segundo os pesquisadores, o isolado protéico foi utilizado porque em estudos preliminares pode ser observado que farinha de soja e concentrado protéico quando empregados em grandes quantidades reduzem drasticamente a qualidade do pão. Os pães obtidos possuíam boas características de textura, volume, crosta e velocidade de retrogradação, além de apresentarem-se com um PER (eficiência protéica relativa) superior ao pão de trigo, sendo o gosto o único fator limitante à adição.

Cristhianson (1976) trabalhando com pães de amido de vários cereais combinados com diferentes proporções de goma xantana, sugeriu a necessidade do amido livre na forma granular estar presente nas formulações para reter gases durante o crescimento da massa, pois este amido gelatinizado se combina com a goma xantana, formando um complexo tridimensional capaz de reter gases. Segundo o pesquisador esta é a explicação para o fato de nenhum grânulo de amido poder ser visto, microscopicamente, no miolo do pão de amido/goma xantana, como ocorre com os numerosos grânulos distorcidos observados no miolo do pão de farinha de trigo. De acordo com o pesquisador, a retenção de gases por massas, como as pesquisadas por Hart *et al.*, (1970), depende grandemente da presença de grânulos de amido livres.

Nishita *et al.*, (1976) desenvolveram um pão de farinha de arroz, adequado para pessoas alérgicas às proteínas da farinha de trigo (como os celíacos), testando várias gomas na expectativa de obter a melhor formulação. As gomas Locuste, Guar, Carragena, Xantana e Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) foram empregadas no estudo e a goma HPMC apresentou o melhor resultado. Análises do tipo de arroz utilizado levou os pesquisadores a concluir que a farinha proveniente de grãos curtos e médios, geralmente apresentam melhores características panificáveis porém, segundo os mesmos autores, as proteínas da farinha de arroz não formam um filme durante a etapa de mistura e sua massa, isenta de gomas, não retém gases.

Casier *et al.*, (1977) em um estudo com farinhas puras de millet e sorgo obtiveram pães de boa qualidade quando adicionaram 2 – 4% de pentosanas de centeio. Estes pães, segundo os pesquisadores, diferem dos pães de farinhas compostas onde não houve adição de pentosanas.

Brummer (1977) estudou o efeito de vários hidrocolóides no preparo de pães. Dentre os estudados, os hidrocolóides de sementes como guar e caroba, apresentaram efeito positivo nas características dos pães caracterizado pelo aumento da retenção de gás na massa e conseqüente aumento do volume e maciez do pão. O emprego destes colóides foi possível em farinhas de trigo, centeio e farinhas mistas porém, o aroma do pão foi levemente alterado.

Segundo De Ruyter (1978) entre todas as formulações estudadas na elaboração de pão sem glúten, o produto final que mais se assemelha ao convencional é o obtido a partir de amido/goma xantana e que a substituição dos amidos puros de mandioca, milho, sorgo ou millet por suas respectivas farinhas proporcionaram, quando se faz isso, uma melhora no volume da massa, na coesividade do miolo e na estrutura do pão. Estas propriedades porém, ainda podem ser melhoradas através do pré-processamento destas farinhas, como maceração, cozimento e possivelmente fermentação.

Hoseney (1984), estudando a capacidade de retenção de gás em massas de pão argumenta contra os pesquisadores que afirmam poder produzir pães sem glúten. Segundo este autor os produtos obtidos não são pães por apresentarem uma textura e granulidade diferentes do pão de trigo, sendo que, como apenas o glúten pode reter gases, todos os pesquisadores utilizaram recursos para suprir a deficiência. Estes recursos foram, a goma xantana por Kulp *et al.* (1974), surfactantes por Jongh (1961) e Jongh *et al.* (1968), pentosanas por Casier (1967) e Casier *et al.* (1973) com uma melhora no volume. Segundo Hoseney a farinha de centeio é a que possui melhor capacidade de reter gases, depois da farinha de trigo e de acordo com estudos de Weipert & Zwingelberg (citado por Hoseney, 1984) as pentosanas presentes na farinha de centeio compõem a fração importante para a sua

qualidade panificável. Hoseneý considera estes componentes como colaboradores na retenção de gás mas acredita ainda ser o glúten o maior responsável e que se conseguir reduzir a taxa de difusão do dióxido de carbono na massa, se conseguirá reter mais gases. Portanto, segundo o autor, algum fator presente na estrutura do glúten é responsável por esta redução. Identificado o fator, o problema estará solucionado.

Bartinick *et al.*, (1986) testaram várias matérias-primas na elaboração de pães sem glúten entre elas, amido (trigo e milho), batata, milho, farinha de arroz e millet, em combinação com pectina de maçã (7%) como agente ligante. O produto obtido apresentou boas propriedades sensoriais, bom volume, elasticidade e porosidade, além de gosto e aroma. Quando parte da pectina de maçã foi substituída por albumina (2 - 4%) houve, segundo os pesquisadores, uma melhora nas propriedades físicas, sensoriais e nutritivas.

Os pesquisadores Akobundu *et al.*, (1988) estudando o potencial de panificação de farinhas compostas como milho/amido de mandioca/feijão fradinho, chegaram à conclusão que fatores como o teor de umidade, tempo de fermentação, além da composição destas farinhas contribuem para com a variação do volume do pão, que possui, segundo os pesquisadores, características distintas do pão convencional.

Gronever *et al.*, (1988) avaliaram as propriedades sensoriais de pães brancos e escuros sem glúten. O pão escuro obteve notas melhores e quando frescos se assemelhavam ao padrão com glúten, principalmente em relação à estrutura do miolo. Segundo os pesquisadores, a conservação da qualidade é baixa, devendo ser melhorada; além do que, o pão branco sem glúten é significativamente inferior ao padrão quanto ao sabor, propriedades das crosta e miolo.

Em 1990 o estudioso Gronlund alerta sobre a pequena disponibilidade de produtos, principalmente pães sem glúten que, de acordo com o pesquisador, deveria ser aumentada para satisfazer as necessidades dos celíacos.

Ylimaki *et al.*, (1989) realizaram um estudo das dificuldades percebidas junto a pacientes acometidos de doença celíaca e pessoal do serviço de alimentação de vários hospitais de Edmonton (Canada) para melhor compreender as necessidades das pessoas submetidas a um regime sem glúten. Os pesquisadores examinaram o uso de pão fermentado sem glúten. Ao total 122 (61%) membros da Associação dos Celíacos de Edmonton e 15 (75%) funcionários do serviço de alimentação em meio hospitalar receberam questionários. O regime sem glúten apresentou vários problemas: escolha inapropriada dos alimentos quando se come fora de casa, variedade limitada de produtos sem glúten ofertados no mercado e tempo destinado ao planejamento e preparo de refeições sem glúten. O pão sem glúten vendido no comércio é o mais utilizado pelos doentes e serviços de alimentação dos hospitais, e ele é mais popular que o pão feito a partir de misturas ou de uma receita. Entretanto, duas marcas apenas de pães são ofertadas no mercado para a maioria dos consumidores. Os respondentes dos questionários declararam que os pães sem glúten que eles encontraram são esfarelados, secos e sem sabor, deixando a desejar. Para fazer o pão em casa, responderam que utilizam mais freqüentemente farinha de arroz, farinha de batata e fécula de milho. O estudo ressalta que o pão sem glúten fermentado, feito em casa, se aproxima mais do pão fermentado de farinha de trigo que os produtos atualmente vendidos no mercado.

Em 1973 Kim estabeleceu a composição e métodos de preparação para biscoitos e três tipos de pães sem glúten, praticamente sem proteína ou com baixa ou alta quantidade de proteína.

Carrington & Styles (1989) pesquisaram sobre procedimentos adequados para dieta sem glúten e 91% das respostas foram obtidas através de um estudo pelos membros da Sociedade Celíaca da Nova Zelândia para determinar a reação dos pacientes celíacos com dieta sem glúten. Um quarto dos que responderam ao questionário da pesquisa não estavam satisfeitos com os conselhos recebidos durante os últimos 5 meses. A prescrição da dietista tinha sido apreciada por 150 pessoas. A dieta sem glúten foi mantida por 84% que alimentaram-se com glúten uma vez no mês ou menos. As maiores dificuldades da dieta foram a preparação de alimentos sem glúten, especificamente pão sem glúten e comer fora.

Acs *et al.*, (1996a) verificaram que pão com amido de milho pode ser usado para propósitos dietéticos quando o conteúdo é baixo de proteínas e fenilalanina. O produto foi requerido por pacientes que sofrem de doença celíaca, fenilcetonúria e insuficiência renal. Até então o amido de milho era a única possibilidade, satisfazendo um décimo da proteína e fenilalanina do tradicional pão de trigo comum. No uso do amido de milho, entre os aspectos de produção tecnológica, encontra-se dificuldade de manuseio devido a falta de proteína e, mais especificamente, a falta de proteína de boa qualidade. Estudos foram conduzidos para investigar os efeitos de aditivos, isto é, agentes de ligação que podem substituir o glúten. Volume e miolo do pão foram avaliados. Os efeitos tecnológicos das gomas xantana, guar, locusta e tragante, foram estimados. Os resultados mostraram que os agentes de ligação podem ser efetivamente utilizados como substitutos para efeitos tecnológicos em sistemas com e sem, resultando um aumento altamente significativo no volume do pão e um miolo mais elástico. O efeito individual dos agentes ligantes é variado. O pão de melhor qualidade foi produzido usando-se goma xantana. Os mesmos autores (Acs *et al.*, 1996b) realizaram pesquisa subsequente com amido de milho e aplicação de agentes

ligantes, desenvolvendo um pão com volume atrativo e miolo macio para ser usado nas dietas de pessoas que necessitam de alimentos com baixo conteúdo de proteínas e fenilalanina, sem glúten (pacientes que sofrem com doença celíaca, fenilcetonúria e insuficiência renal). Visando conseguir a melhor tecnologia e características visuais, estudos foram conduzidos para determinar a quantidade mínima, aditivos e agentes tecnológicos – açúcar em pó, delta-glucono-lactona,  $\text{NaHCO}_3$  e margarina. Volume do pão, penetração no miolo e mudanças nas características visuais foram estimados, assim como foi demonstrado o efeito de cada aditivo. Os resultados mostraram que o açúcar em pó conduz a um leve aumento no volume e melhoria do miolo. Influência consideravelmente na crosta e sabor. A delta-glucono-lactona e  $\text{NaHCO}_3$  não tiveram efeito significativo no volume e miolo. Com razão, o pão foi caracterizado por miolo fino, crosta estruturada, bom aroma e sabor. A aplicação de margarina não é recomendada dentro de sistemas com baixa proteína e sem glúten, porque ocasiona efeito desfavorável nos intestinos.

Ylimaki *et al.*, (1991) em estudo sobre pães fermentados de farinha de arroz empregaram metodologia de superfície de resposta e avaliação sensorial, com o objetivo de obter um pão com características semelhantes ao pão de trigo. O desenvolvimento de formulações para pães de arroz com qualidade sensorial comparável ao pão de trigo, mostrou ser dependente do tipo de farinha de arroz e dos níveis de CMC (carboximetilcelulose), HPMC (hidroxipropilmetilcelulose) entre a avaliação sensorial e objetiva dos pães de farinha de arroz. Através da análise sensorial, os pesquisadores observaram que os pães de farinha de arroz apresentaram um forte odor de fermento e aroma de arroz, além de gosto remanescente mais acentuado. Apresentaram textura mais áspera e entre as células do miolo, predominância das menores.

Eggleston *et al.*, (1992) em estudo sobre a elaboração de pães alternativos, usando farinha de mandioca fortificada com farinha de soja, empregaram clara de ovo, margarina e goma xantana como aditivos. Todos os aditivos empregados aumentaram a quantidade de ar retida pela massa no estágio de mistura e a quantidade de gás retido com 60 minutos de fermentação. Entretanto, segundo os pesquisadores, o volume final do pão depende também da estabilidade da massa, o que foi obtido com a utilização da clara de ovo e margarina, que agem como estabilizantes, reduzindo a taxa de gelatinização e solubilidade do amido no pão. Estes pães além de terem sido bem aceitos pelos consumidores da Nigéria, apresentaram boas características de armazenamento.

Every *et al.*, (1998) em estudo sobre a estabilidade do pão e as hipóteses do papel do glúten no pão de amido, observaram o efeito de estabilidade nas interações amido-glúten. Realizaram testes com farinha sintética sem proteína comparados com pães de amido-glúten contendo de 1 a 15% de glúten. Foram considerados pães de similar volume específico e umidade no miolo. Os pães de amido aumentaram claramente na firmeza acima do sexto dia, indicando que o glúten não foi essencial para o processo de estabilidade, o amido sozinho produziu um pão firme com o tempo. Os pães de amido com 10 e 15% de glúten tiveram volume específico e umidade similares. Os autores propõem que o aumento na firmeza do pão resulta da cadeia de glicano parcialmente permeada de amilose e amilopectina, ligados por grânulos de amido inchados formando pontes de hidrogênio com outros grânulos de amido, e uma pequena extensão com fibrilas de glúten.

Martin *et al.*, (1991) em estudo sobre o mecanismo de estabilidade do pão avaliaram o papel dos grânulos de amido inchados. Verificaram que a estabilidade do pão e a retrogradação do amido não são sinônimos, embora ambos ocorram durante o



armazenamento do pão. Observaram que o pão feito a 95°C em um forno elétrico não firmou e que fatores como tempo de assamento e diminuição da capacidade de hidratação influenciaram na textura do miolo. Afetaram também a firmeza do pão em 5 dias de armazenamento. Os resultados mostraram que o aumento do tempo de assamento após a temperatura alcançar 95°C em um forno elétrico aumentou a firmeza do pão em um dia. A proposta é que a estabilidade do pão resulta de ligações cruzadas entre a matriz proteica contínua e os grânulos restantes de amido descontínuos.

## **2.6 Qualidade de Pães**

Uma importante condição para a produção de pães com qualidade constante é o controle adequado da composição e propriedades funcionais dos ingredientes empregados no processo.

A maior preocupação deve ser em relação à farinha por ser o ingrediente principal. Farinhas provenientes de diferentes fontes diferenciam-se em relação aos teores de proteína, cinzas, umidade, atividade enzimática, etc. Os testes aplicados em panificação, salvo algumas exceções são os aprovados pelas organizações, American Association of Cereal Chemists e Association of Official Analytical Chemists, AACC e AOAC, respectivamente, segundo Pylar (1988d).

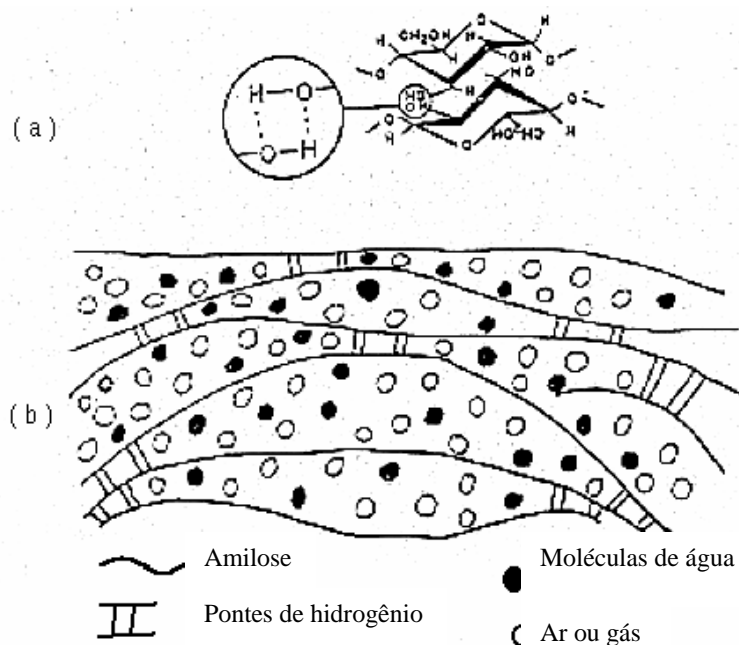
Através de testes físicos da massa pode-se obter resultados sobre o comportamento e o desempenho de determinada farinha em panificação. Os resultados obtidos

servem para orientar o panificador sobre o tempo ótimo de mistura, fermentação e os tratamentos enzimáticos que poderão ser aplicados à farinha.

A qualidade de pães pode também ser avaliada por testes com consumidores sendo baseada em uma escala numérica que atribui valores máximos para os atributos de grande importância como volume, textura do miolo, características das células, aroma, etc. Como esta avaliação da qualidade é baseada no julgamento pessoal e portanto subjetiva, o resultado não necessariamente é perfeito, porém reflete as preferências de diferentes consumidores, de acordo com El-Dash *et al.*, (1977, 1986).

## **2.7 Amido**

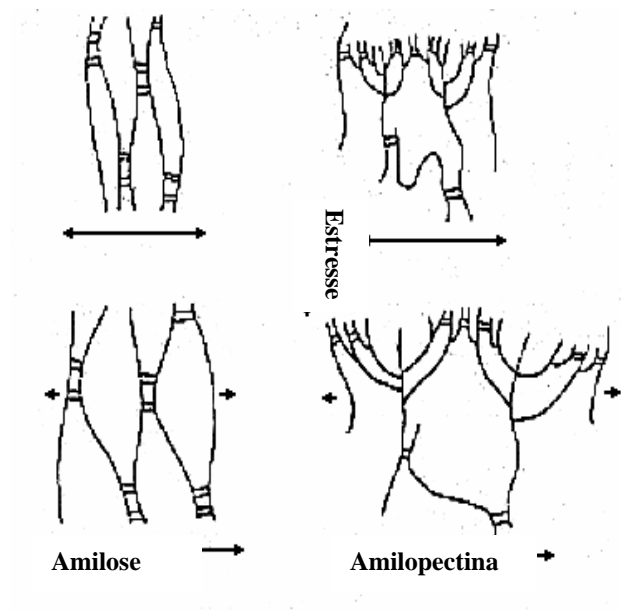
Com base em uma rede tridimensional formada apenas por pontes de hidrogênio El-Dash (1991) propõe que uma estrutura de amido (amilose e amilopectina) estabelecida sob condições adequadas pode apresentar propriedades viscoelásticas suficientes para sustentar os gases produzidos durante a fermentação da massa, ou seja substituir a rede de glúten. As moléculas de amido, formadas por amilose e amilopectina, que possuem um grande número de unidades de glicose, são capazes de se unir através de pontes de hidrogênio intermoleculares. A união de várias moléculas de amilose e amilopectina permitirão a formação de uma rede tridimensional, capaz de reter gases e água de maneira similar ao glúten, como pode ser visto na Figura 6. Esta estrutura, por ser mantida apenas por pontes de hidrogênio, é mais fraca que o glúten, que possui ainda interações iônicas e pontes dissulfídicas entre as camadas, proporcionando uma estrutura fortemente ligada.



**Fonte:** El-Dash (1991)

**Figura 6:** Ligações de hidrogênio intermoleculares das moléculas de amido formando filme capaz de reter gases e água.

Segundo El-Dash (1991), a estrutura tridimensional de polissacarídeos exibe propriedades viscoelásticas, ou seja, expande-se sob força e retorna à forma original quando a força cessa. Evidentemente, como a estrutura é fraca, as pontes de hidrogênio podem se romper e causar a quebra da estrutura. A Figura 7 mostra as ligações possíveis entre amilose e amilopectina.



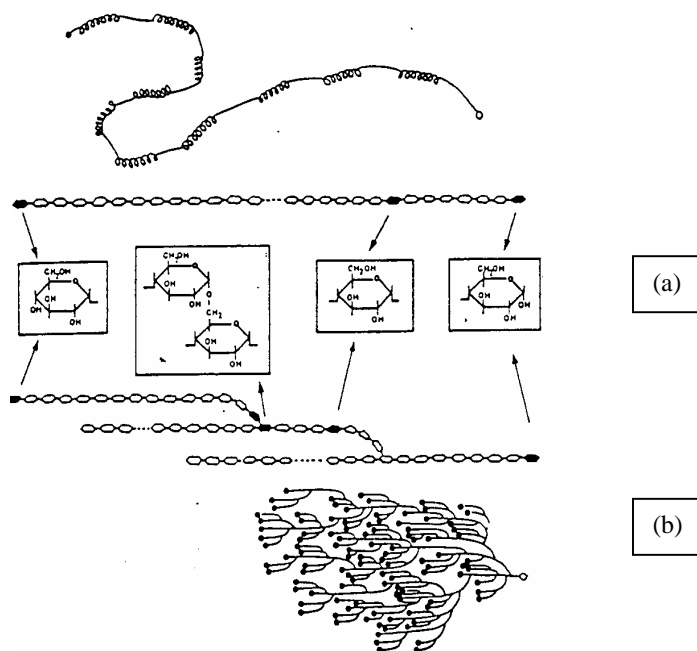
**Fonte:** El-Dash (1991)

**Figura 7:** Amilose e amilopectina, e as ligações que explicam a capacidade de se estender e relaxar à forma original.

De acordo com El-Dash (1991) os agentes oxidantes e redutores normalmente empregados em panificação para fortalecer a estrutura do glúten não desempenham a mesma função nas redes de polissacarídeos, porém a rede provavelmente poderá ser fortalecida através do aumento das pontes de hidrogênio. Este fortalecimento pode reduzir a capacidade de absorção de água e gases. Entretanto, um balanço entre a força da estrutura e sua capacidade de absorção de água deverá ser feito para cada produto panificável. Serão possíveis várias aplicações técnicas da rede tridimensional de amido. Entretanto, as condições ótimas para a formação da rede devem ser estabelecidas para permitir o desenvolvimento de uma estrutura viscoelástica forte, com propriedades funcionais adequadas.

O fortalecimento da viscoelasticidade da rede, que permite a extensão com o acúmulo de gases produzidos durante a fermentação da massa, seria conseguido através da prévia gelatinização dos grânulos de amido, que permite a liberação e o desdobramento das moléculas de amilose e amilopectina.

Segundo Linden & Lorient (1996) todos os amidos são constituídos por  $\alpha$ -D-glicopirranose em cadeias lineares com enlaces  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) na amilose, ou em cadeias ramificadas pelo enlace  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  6) sobre cadeias  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) na amilopectina e material intermediário. Neste sentido todos os amidos constituem-se por uma destas moléculas ou as duas, e a relação entre uma e outra varia com a origem do amido (Figura 8).



**Fonte:** Boursier (1994)

**Figura 8 :** Representação dos polímeros de amilose (a) e amilopectina (b)

A caracterização da amilose (um polímero linear de D-glicose unidas em ligações  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) não ramificadas, com peso molecular variando de 1000 à 500.000

segundo Lehninger, 1993) extraída do amido por fracionamento e precipitação, é baseada na: (a.) capacidade de absorção do iodo formando um complexo amilose-iodo ; (b.) hidrólise em maltose pela  $\beta$ -amilase; (c.) viscosidade em 1000 KCl ou outro (KOH) que permitem determinar seu peso molecular segundo Duprat ( citado por Asté, 1994). Nas micelas, a cadeia se enrola em hélice (Lehninger, 1979).

A amilopectina é uma macromolécula fortemente ramificada. As ligações glicosídicas  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) unem sucessivos resíduos de glicose em cadeias de amilopectina, mas as ramificações ocorrem a cada 24 - 30 resíduos e são ligações  $\alpha$ (1  $\rightarrow$  6) (Lehninger, 1993). Soluções coloidais e micelares de amilopectina se colorem em roxo violáceo com o iodo. Seu peso molecular pode chegar a 100 milhões (Lehninger, 1979).

O material intermediário é constituído por uma gama de estruturas cuja taxa de ramificação é intermediária entre amilose e amilopectina, segundo a pesquisa de Duprat *et al.*, (citados por Asté, 1994).

A organização do grão do amido depende da maneira como a amilose e amilopectina são associadas por ligações de hidrogênio inter-moleculares. O rompimento da ligação depende das diferenças de estrutura. Dentro do grânulo existem zonas que por hidrólise ácida formam 3 níveis: (a.) uma fase amorfa rapidamente hidrolisada ; (b.) zonas amorfas mais resistentes hidrolisadas lentamente, e (c.) zonas cristalinas ácido-resistentes. Percentualmente representam 40, 30 e 30% da massa do grão. O comportamento do amido é essencialmente determinado por fatores genéticos que presidem à biossíntese segundo Duprat *et al.*, (citados por Asté, 1994).

**Quadro 4:** Diversas etapas do grânulo de amido em função da temperatura em presença de excesso de água.

Estado	Temperatura
1. Absorção	20°C →
2. Gelatinização – Gomificação	50-60 →
2. Gelatinização - dispersão	80 →
3. Gelificação	100 →
Retrogradação	60 → 20°C

**Fonte:** Duprat e Mestres (citados por Asté, 1994)

A absorção de água é devida a fixação das moléculas às hidroxilas do amido pelas ligações de hidrogênio, que origina a dilatação da rede macromolecular, segundo Duprat *et al.*, (citado por Asté, 1994). Logo que a temperatura se eleva e alcança valores próximos de 60°C, os grãos incham irreversivelmente, as moléculas de amilose de baixo peso molecular difundem fora do grânulo, e a viscosidade aumenta: o sistema se geleifica.

O amido gomificado obtido é uma estrutura heterogênea formada de grãos de amido inchados e ricos em amilopectina imersos em uma solução macromolecular rica em amilose, segundo Thibaut (1988). As propriedades do gel dependem da viscosidade do gel, que por sua vez é função principalmente da concentração em amilose e da rigidez da fase sólida; quanto menos inchados estão os grânulos do amido, mas rígidos e maior será seu efeito de reforçar o gel de amido.

Foram observados, também, por Duprat *et al.*, (citado por Asté, 1994) que em temperaturas inferiores a 60°C, o gel retrograda e as ligações de hidrogênio intermoleculares tornam-se mais numerosas. A retrogradação conduz a uma cristalização parcial das cadeias.

Mestres (citado por Asté, 1994) verificou que numerosos parâmetros influenciam a cinética de retrogradação do amido: (a.) origem botânica e o teor em amilose ; (b.) temperatura do gel; (c.) presença de lipídios complexos (ácidos graxos, monoglicerídios) que induzem a formação de complexos amilose-lipídios; (d.) a tecnologia de preparação dos géis: cada tratamento de dispersão do amido induz uma divisão de amilose e amilopectina (e.) as estruturas diferentes para os géis.

## **2.8 O polvilho azedo e a panificação**

Segundo Silva (1995) várias são as preparações culinárias que podem atender as necessidades alimentares dos celíacos a base de mandioca e polvilho azedo, combinados ou não com maizena, farinha de milho, batata cozida, fécula de batata entre outros: empada, croquete de milho verde, pastel de farinha de milho, pastel de guaraná, bananinhas de polvilho, biscoito de forminha, biscoito de polvilho, bolinhos de polvilho azedo, bolo de mandioca, pão de mandioca e pudim de mandioca.

O polvilho azedo é obtido a partir da fermentação natural da fécula de mandioca, seguida de secagem ao sol. Sabe-se através de pesquisas realizadas por Cereda &



Nunes (2000) que a radiação solar é imprescindível para se obter a expansão do produto, sua principal característica.

O polvilho azedo apresenta características sensoriais próprias e uma granulação típica, prestando-se para a produção de biscoitos, sequilhos e pão de queijo (El-Dash *et al.*, 1994).

Nakamura & Park (1975) estudaram algumas propriedades físico-químicas da fécula fermentada. Encontraram que a fermentação, além de conferir sabor e odor característicos, causa alterações em suas propriedades físico-químicas. A fécula fermentada é mais solúvel, apresenta maior absorção de água e a pasta é menos viscosa que a fécula doce. Cardenas & Buckle (1980) afirmaram que certas características como sabor, textura e expansão dos produtos panificados, não são obtidos quando se usa fécula natural.

Shen *et al.*, (1998) pesquisando o desempenho do polvilho azedo em panificação verificaram que conseguiam produzir pães com boa viscoelasticidade, contendo um alto conteúdo de ácido láctico, higiênico, de qualidade semelhante ao pão de trigo. Os pães feitos com 80% de polvilho azedo e 20% de soja eram mais nutritivos e econômicos do que com farinha de trigo comum.

Mestres *et al.*, (1996) compararam a capacidade de fermentação do amido de milho e do polvilho azedo para fabricação de produtos do tipo pão. O polvilho azedo, um produto tradicionalmente fermentado e seco ao sol na América Latina, é usado para preparar produtos de expansão típica semelhante ao pão. Foi desenvolvido um teste em laboratório para avaliar a capacidade de expansão de produtos de padaria. A expansão ocorrida durante a cocção foi mais alta para o polvilho azedo seco ao sol com observação de estrutura

alveolar no miolo. A secagem ao sol é essencial para a capacidade de expansão do polvilho azedo ao cozimento e conseqüentemente, de impacto nas propriedades reológicas.

Segundo Camargo *et al.*, (1988) o amido de mandioca fermentado confere expansão aos biscoitos avaliada em volume específico  $10,75 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$ . Os biscoitos apresentam uma crosta fina e crocante. Durante a cocção, a umidade passa de 38% à 6,3%. O amido torna-se completamente amorfo, mas os grãos não são destruídos. O grânulo se desidrata na superfície, gelatiniza-se no interior, dilata e se expande.

Mestres *et al.*, (1996a,1997b) estudando as propriedades físico-químicas e funcionais do polvilho azedo em comparação com a fécula seca à sombra por 24 h e fécula fermentada por 15 dias, seca em estufa a  $40^\circ\text{C}$  confirmaram os resultados anteriores obtidos por Mestres & Rouau (1997 a) de que a fermentação e a secagem solar são necessários para conferir capacidade de expansão na fécula de mandioca. Os autores verificaram que a conformação da amilose e amilopectina mudaram drasticamente em função da fermentação e secagem solar. Estas mudanças nas propriedades funcionais e estrutura macromolecular da fécula de mandioca podem ser devidas a uma hidrólise parcial (por um fenômeno foto-oxidativo) das macromoléculas durante a secagem solar. Amilopectina purificada de mandioca apresenta capacidade de expansão, permitindo formular a hipótese para explicar a capacidade de retenção de gás pelo polvilho azedo. A ação conjunta da fermentação e secagem solar poderia aumentar a capacidade de solubilização da amilopectina que então agiria como um estabilizador para as bolhas de gás formadas durante o forneamento.

O polvilho azedo está sendo exaustivamente estudado. No que se refere ao processo, descobriu-se a importância da fermentação láctica e da secagem sob radiação ultravioleta, porém ainda existem hipóteses sobre o mecanismo da expansão. A

tecnologia existente pode ser transferida e adaptada para outros países consumidores de mandioca. Esse produto mostra um potencial industrial atraente, principalmente para países em desenvolvimento e importadores de trigo. A peculiaridade do polvilho azedo, pelo seu poder de expansão e por ser livre de glúten, torna-o interessante como produto para panificação na confecção de biscoitos, pães-de-queijo, bolachas, e apresenta-se como alternativa para os celíacos, pessoas intolerantes ao glúten (Nunes, 1999).

Escouto *et al.*, (1999 a, b) pesquisando o uso do polvilho azedo para produção de pão sem glúten realizaram quatro ensaios para avaliar os efeitos nas alterações da quantidade de água que dissolve o fermento, o tipo de fibra, a quantidade de fermento e a utilização de misturador e cilindro. Os resultados mostraram nos dois primeiros ensaios um miolo sem alveolação devido à presença de gomosidade sendo a aparência interna de pão-de-queijo e externa de pão francês. O miolo evoluiu para alveolação sem uniformidade e pouca gomosidade com aparência interna de pão integral e externa de pão francês. No último ensaio o miolo mostrou abundante alveolação porém sem uniformidade com gomosidade resultando em aparência interna de pão-de-queijo mais alveolado e externa de rabanada.

Escouto *et al.*, (2000a) pesquisando pão sem glúten baseado em polvilho azedo, usou vários produtos e processos e modificou uma formulação básica composta de: polvilho azedo 63%, sal 1%, açúcar 1%, óleo 13%, farinha de mandioca 16%, leite em pó 4%, lecitina de soja 1% e fermento biológico 1%, a água foi utilizada até atingir a consistência ideal. Outros ingredientes foram testados: amido pré-gelatinizado, fibra de trigo sem glúten, teor de fermento biológico fresco e gordura vegetal hidrogenada. Todos os ensaios foram feitos pelo método direto avaliando o uso de misturador ou cilindro. O cilindro apresentou melhor resposta na massa e facilitou o processo. O melhor pão foi feito com a

formulação: polvilho azedo 48%, açúcar 6%, leite em pó 3%, sal 1%, fermento biológico fresco 5%, lecitina de soja 1%, gordura vegetal hidrogenada 10% e farinha de mandioca 26%. E esta formulação segundo Escouto *et al.*, (2000b) pela introdução de clara de ovo desidratada trouxe alterações na percentagem dos ingredientes da formulação ficando o melhor pão com os seguintes componentes: polvilho azedo 42%, açúcar 5%, leite em pó 3%, sal 1%, fermento biológico fresco 4%, clara de ovo desidratada 12%, gordura vegetal hidrogenada 9% e farinha de mandioca 24%.

A hipótese de El-Dash (1991) explica a possível rede polissacarídica formada por amilose e amilopectina que deveria reter gases como qualquer amido, entretanto, não explica porque só o polvilho azedo consegue expansão no forno.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no CERAT/UNESP na Fazenda Experimental Lageado da UNESP, em Botucatu, SP.

#### **3.1 Material**

Os materiais utilizados foram, leite em pó integral Nestlé, gordura vegetal hidrogenada Sadia, sal iodado, clara de ovo desidratada da Mizumoto, fermento biológico fresco Fleischmann, açúcar refinado União, polvilho azedo e farinha de mandioca moída crua da Yoki e água. Com esses materiais estabeleceu-se uma fórmula básica através de ensaios prévios citados na revisão.

### **3.2 Equipamentos**

Os equipamentos utilizados foram, batedeira semi-industrial Arno Planetária 5 velocidades BPA 110v., cilindro elétrico Pasiani modelo Micro 200 110v , mesa inox, formas tamanho 16x6,5x4,5 , estufa/incubadora D.O.B modelo Marconi 415 110v e forno marca Layr modelo SA 110v e vidros e vidrarias comuns a laboratório.

### **3.3 Preparo básico dos pães**

O fermento foi preparado dissolvendo-se o tablete com leite em pó, o açúcar e 30 ml de água morna como parte do volume total. Deixar crescer. Escaldar o polvilho azedo com água fervente (97°C em Botucatu/SP). Na batedeira em 3ª velocidade juntar os demais ingredientes: clara desidratada, gordura vegetal hidrogenada e farinha de mandioca incluindo o fermento já crescido e moldar a massa. Abrir a massa no cilindro, enrolar, colocar nas formas umedificadas com água para que a massa apresente consistência e textura adequados para o moldeamento na forma de pão francês. Deixar crescer por 1 hora à 28°C, e assar em forno quente a 220°C por 30 minutos.

**Quadro 5:** Formulação básica para pão sem glúten.

Ingredientes	Peso (g)	%
Polvilho azedo	100	42
Leite em pó	7	3
Gordura vegetal hidrogenada	20	9
Sal	2	1
Clara desidratada	27,85	12
Fermento biológico fresco	10	4
Açúcar refinado	12	5
Farinha de mandioca crua	55	24
Água	130	-

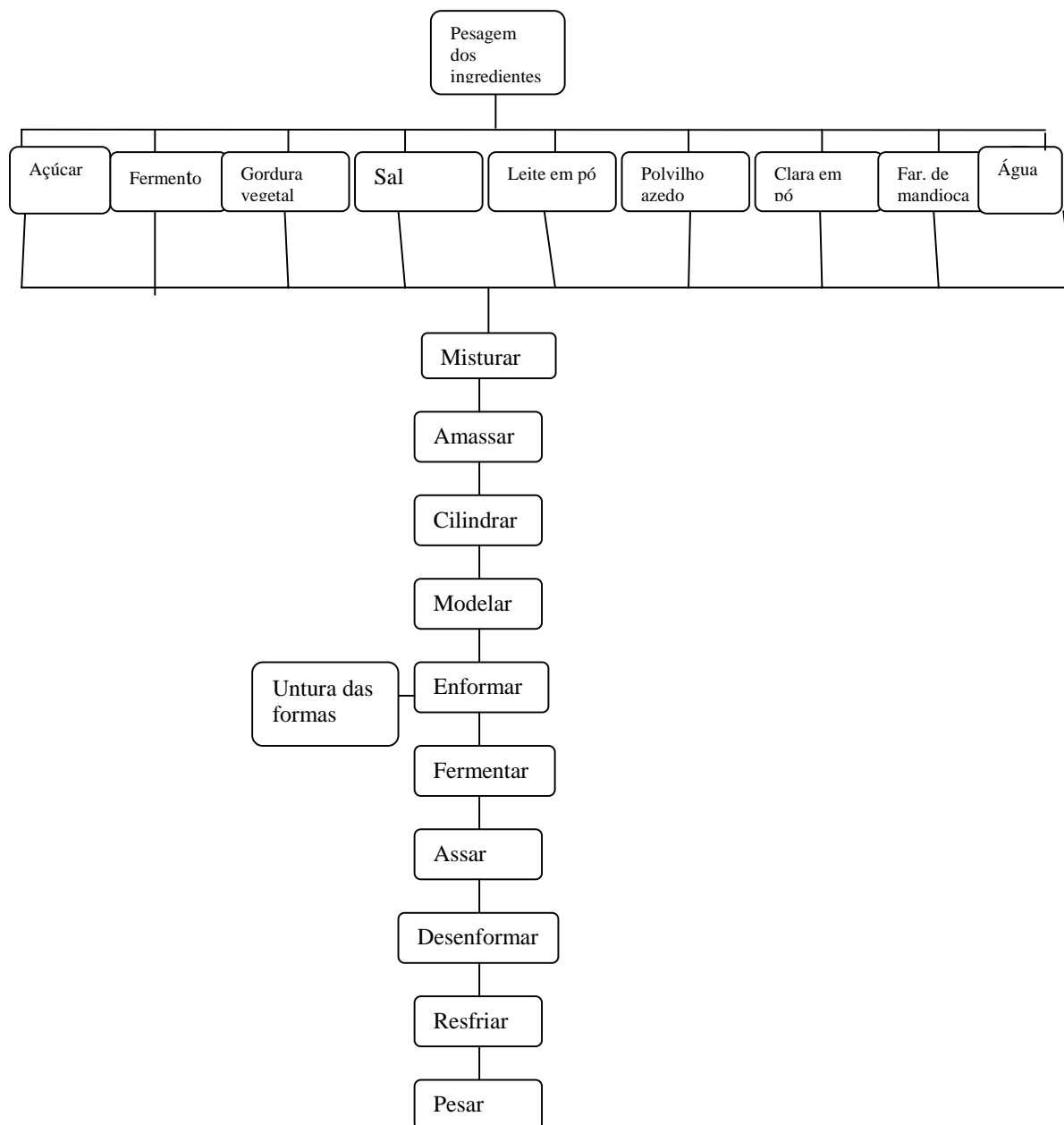
**Fonte:** Escouto *et al.*, (2000b)

Dos ingredientes, três foram considerados mais influentes sobre a qualidade do pão: farinha de mandioca moída crua, clara de ovo desidratada e fermento biológico fresco. Seu ajuste foi feito para otimizar a formulação básica.

### 3.4 Elaboração dos produtos

O processo de fabricação foi desenvolvido por método convencional direto (El-dash, 1986), ajustado conforme proposto em CERAT (1997) (Figura 9).

### 3.4.1 Fluxo de processo



**Figura 9:** Fluxograma do método empregado para a elaboração dos pães.



Deixou-se na batedeira em terceira velocidade por 7 minutos, para depois moldar a massa, pesar, dividir em duas porções, cilindrar, modelar, enformar, fermentar por 1 hora a 28°C e assar por 30 minutos a 220°C.

### **3.5 Avaliação do Produto**

A qualidade do pão foi avaliada a partir de suas características externas (volume, cor da crosta, quebra e simetria) e internas (características da crosta, cor do miolo, estrutura das células do miolo e textura), aroma e sabor, segundo citado por El-Dash (1977, 1986). A avaliação foi realizada por um grupo restrito de 8 pessoas sem treinamento específico, do laboratório do CERAT/UNESP.

A massa de cada formulação (tratamento) rendeu 2 pães e as respostas das avaliações foram as médias destes.

A partir dos resultados do experimento, a melhor formulação foi confeccionada e avaliada com relação à composição energética, econômica, calorimetria, cor e ao índice de aceitabilidade.

#### **3.5.1 Propriedades organolépticas dos pães**

As propriedades organolépticas foram avaliadas 2 horas após o forneamento dos pães. As instrumentais em dois momentos: 3 horas e 24 horas após o forneamento (El-Dash *et al.*, 1982).

Para a avaliação das propriedades organolépticas adotou-se as características de qualidades, de acordo com El-Dash *et al.*,(1986) apresentada no Quadro 6. Esses critérios de avaliação foram estabelecidos para pão de trigo e foram utilizados para o pão sem glúten analisado.

**Quadro 6:** Planilha de avaliação das propriedades organolépticas do pão.

<b>CARACTERÍSTICAS EXTERNAS</b>	<b>Valor máximo</b>
1. Volume (volume específico x 3,33)	20
2. Cor da Crosta (Fatores indesejáveis: não uniforme, opaco, muito clara, muito escura)	10
3. Quebra (Fatores indesejáveis: muito pequena, áspera, desigual)	5
4. Simetria (Fatores indesejáveis: laterais, pontas e parte superior desiguais)	5
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>
<b>CARACTERÍSTICAS INTERNAS</b>	
	<b>Valor máximo</b>
1. Características da crosta (Fatores indesejáveis: borrachenta, quebradiça, dura, muito grossa, muito fina)	5
2. Cor do miolo (Fatores indesejáveis: cinza, opaca desigual, escura)	10
3. Estrutura da Célula do Miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, buracos muito abertos ou fechados)	10
4. Textura do miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, áspera, compacta, seca)	10
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>
<b>AROMA E GOSTO</b>	
	<b>Valor máximo</b>
1. Aroma (Fatores indesejáveis: falta de aroma, aroma desagradável, estranho, muito fraco ou forte)	10
2. Gosto (Fatores indesejáveis: ácido, estranho, goma, massa, gosto remanescente)	15
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>
<b>CONTAGEM TOTAL</b>	<b>100</b>

**Fonte:** El-Dash *et al.*,(1986).

### 3.5.1.1 Cor da crosta

A cor da crosta deve ser dourada, homogênea e brilhante. A cor muito escura resulta de temperatura do forno muito alta ou excesso de cozimento, enquanto que a coloração muito clara é o resultado de massas super fermentadas ou forno com temperatura baixa, ou ainda tempo de cozimento muito curto (El-Dash, *et al.*, 1982). A cor da crosta , segundo Pylar (1988 a) é marcadamente afetada pelo nível de açúcar residual presente na massa, que deriva da fermentação e da atividade amilolítica.

Para a avaliação da cor da crosta foi atribuído uma nota de 0 a 10, levando em consideração os fatores uniformidade, brilho, atribuindo melhores notas aos pães que não possuíam cor muito escura ou muito clara.

### 3.5.1.2– Quebra

A quebra é a abertura das laterais superiores da massa que ocorre durante o "oven spring". Quando se apresenta de maneira uniforme significa que a massa passou por um processo adequado de fermentação e por um forneamento com condições corretas (Pylar, 1988 a).

A quebra é desejável porque contribui para dar a boa aparência do pão, e portanto foi analisada organolepticamente sendo-lhe atribuída notas de 0 a 5, levando-se em consideração os fatores indesejáveis como sua ausência, desigualdade e aspereza.

### 3.5.1.3 Simetria

A simetria do pão é avaliada porque sua ausência é um índice de manuseio e processamento inadequado.

Massas com baixo conteúdo de água, com mistura e fermentação inadequadas, atividade diastática insuficiente ou manuseio grosseiro provavelmente terá as laterais encolhidas e as extremidades pequenas (El-Dash, *et al.*, 1982).

O pão deve possuir a parte superior da crosta arredondada, livre de asperezas e com as extremidades bem definidas (Pylar, 1988 a).

A simetria foi avaliada organolepticamente, atribuindo-lhe valores de 0 a 5, sendo que os fatores indesejáveis considerados foram as laterais, pontas e parte superior desiguais.

### 3.5.1.4 Características da crosta

A crosta ideal deve ser fina e não dura ou borrachenta, mas que possua uma espessura e cor interna uniforme, com células bem definidas e homogêneas.

As características da crosta foram avaliadas organolepticamente, sendo atribuídas notas de 0 a 5. Os fatores indesejáveis à crosta analisados foram, borrachenta, quebradiça, dura, muito grossa e muito fina.

### **3.5.1.5 Cor do miolo**

A cor do miolo é grandemente influenciada pelos ingredientes empregados na formulação. A uniformidade e granulidade das células do miolo influenciam a percepção da cor, a qual deve ser branca-levemente creme, livre de estrias e pontos mais escuros. A avaliação da cor do miolo deve ser realizada em superfícies recentemente cortadas pois o miolo tende a escurecer após uma exposição prolongada, segundo Pylar, (1988d).

A cor do miolo foi avaliada organolepticamente, em superfícies recém cortadas, sendo os fatores indesejáveis estabelecidos com a cor cinza, opaca desigual e tonalidade escura. A estes miolos foi atribuída uma nota oscilando de 0 a 10.

### **3.5.1.6 Estrutura das células do miolo**

A estrutura das células do miolo é afetada tanto pelos ingredientes como pela etapa da fermentação. Para que a estrutura de células seja a ideal, deve ser bem homogênea com células levemente alongadas com paredes finas e sem buracos, pois caso contrário, as células muito abertas indicam um glúten fraco ou não desenvolvido e os buracos podem ser devido à fermentação e moldagem inadequada ou ao fermento de baixa qualidade ou contaminado, segundo El-Dash *et al.*, (1982).

A estrutura das células do miolo foi avaliada organolepticamente com base nos fatores considerados indesejados como a falta de uniformidade, presença de buracos muito aberto ou fechados, atribuindo um valor de 0 a 10.

### **3.5.1.7 Textura do miolo**

A textura do miolo é considerada segundo Pylar (1988d) como um dos atributos mais importantes para a qualidade por estar relacionada com a frescura do pão, sendo influenciada pela granulidade ou estrutura das paredes do miolo. As células de parede fina e uniformes quanto ao formato proporcionam uma textura do miolo macia, suave e elástica.

### **3.5.1.8 Aroma**

O aroma é o atributo de qualidade percebido através do olfato. Por ser o maior componente do sabor, torna-se de vital importância na determinação da preferência do consumidor.

O aroma foi avaliado organolepticamente através do sentido do olfato, mantendo-se o pão próximo à narina para que a sua identificação fosse correta. A este aroma percebido foi atribuído uma nota oscilando entre 0 e 10, sendo que a falta de aroma, aroma desagradável, estranho, muito forte ou muito fraco levavam a uma redução na nota.

### **3.5.1.9 Gosto**

O gosto é o segundo maior componente do sabor, sendo impossível de ser avaliado pelos consumidores no momento da aquisição.

Segundo vários autores, o gosto é entendido como as sensações percebidas principalmente na língua e cavidade bucal, ativadas por meios químicos. São definidas quatro sensações básicas como ácido, salgado, doce e amargo, sendo as outras sensações degustativas provenientes da mistura destas quatro em diferentes proporções (Garruti, 1964; Mc Namara & Danker, 1968; Bartley, 1969).

O pão deve desintegrar-se rapidamente durante a mastigação, sem formar uma massa pegajosa de difícil mastigação. No geral, segundo Pyler, (1968), toda a avaliação da qualidade de mastigação do pão que envolve vários fatores como a textura, sabor, mastigabilidade, densidade do miolo, entre outros, é altamente subjetivo além de ser um processo individual influenciado pela preferência.

Para este trabalho o gosto foi avaliado organolepticamente, considerando-se como fatores indesejáveis o gosto ácido, estranho, a goma e o remanescente. Ao gosto foi atribuído uma nota oscilando entre 0 e 15.

## **3.5.2 Medidas instrumentais dos pães**

### **3.5.2.1 – Volume específico**

O volume é o espaço ocupado pelo pão, trata-se de determinação instrumental por ser realizada através do deslocamento de sementes de painço, duas horas após a saída do pão do forno. Esta determinação foi realizada uma vez em cada um dos dois pães

obtidos em cada ensaio, considerando-se a média aritmética dessas medidas como o valor final. Com a média dos volumes e pesos obtidos, calculou-se a relação peso/volume. O valor expresso em  $\text{cm}^3/\text{g}$  obtido na relação, foi multiplicado pelo fator 3,33, estabelecido por representar  $6 \text{ cm}^3/\text{g}$ , que é o peso específico considerado ideal (El-Dash, *et al.*, 1982). O valor obtido pela multiplicação do peso específico pelo fator pode chegar no máximo a 20, e foi apresentado na tabela de avaliação como o volume do pão.

### **3.5.2.2 Cor da crosta e do miolo**

A cor do pão (miolo e crosta) foi avaliada a partir de uma escala de cores chamada Pantone Color segundo Vanderbilt (2000).

### **3.5.2.3 Textura**

A textura do pão foi medida em texturômetro Stevens - LFKA "Texture analyser" com ponta de prova TAA 2/1000, a velocidade de penetração será de 2,0 mm/seg a uma profundidade de 10mm. Os resultados serão expressos em grama-força (gf) conforme indicações do fabricante.

O método instrumental para determinação de pães, adotado pela AACCC (American Association of Cereal Chemists) tem sido muito empregado porque, quando a análise é realizada sensorialmente o provador é influenciado pelas características de textura



como, a coesividade, elasticidade e mastigabilidade, em adição à textura (Szczesniak, 1963). Antes de ajustar o modelo de 2ª ordem para os dados de textura (3 hs e 24 hs após o forneamento), estes foram transformados em escala log (logarítmica na base e) para satisfazer as condições de normalidade requeridas pela análise.

As análises de textura foram realizadas com 2 repetições. Para esta análise duas fatias de pão de 12,5 mm de espessura foram empilhadas de forma a fornecer uma amostra de 25 mm de espessura (Machado, 1996).

### **3.6 Avaliação da Melhor Formulação**

O melhor resultado obtido foi avaliado através do índice de aceitabilidade, calorimetria, cor e avaliação energética e econômica.

#### **3.6.1 Avaliação Energética e Econômica**

A avaliação energética (Kcal, energia elétrica e calor requerido para a cocção) e econômica (custo do produto, despesas específicas: matéria-prima, mão-de-obra, equipamentos) foram feitas a partir da análise do desenvolvimento de produtos e projetos de investimento aplicado a processos padrão de pão comercial e do processo desenvolvido (Venturini, 1993).

### **3.6.2 Índice de Aceitabilidade**

Para avaliar este índice foi realizado o teste de amostra no Supermercado Jaú Serve da Vila dos Lavradores, Botucatu, numa sexta-feira das 14:00 às 19:30 horas. Solicitou-se no momento o preenchimento de ficha de avaliação com escala hedônica (1 - 9) contendo 2 questões sobre "gostou" ou "desgostou" e com que frequência compraria. Obteve-se um total de 140 respostas. Posteriormente calculou-se o índice de aceitabilidade do produto e análise estatística univariada dos dados coletados segundo Teixeira *et al.*, (1987).

### **3.6.3 Cor**

A cor do pão (miolo e crosta) foi avaliada a partir de escala de cores Pantone Color, segundo Vanderbilt (2000).

### **3.6.4 Calorimetria**

A energia bruta foi determinada em calorímetro do tipo Parr 1281 modelo 1131 com cilindro nº 843 - Bomba Calorimétrica de oxigênio - em 4 repetições e pH 6,4. O calor de combustão das amostras foi comparado com o padrão de ácido benzóico e o resultado expresso em Kcal/100g segundo Silva (1994). A energia metabolizável foi calculada a partir dos dados de composição química das amostras de pão sem glúten. No cálculo foi usado o fator de Atwater, ou seja, 4, 9 e 4 Kcal/g para proteína, lipídeos e carboidratos e os

resultados expressos em Kcal/ 100g da amostra seguindo a metodologia da AOAC (1975) segundo Anderson *et al.*,(1988) e Farias *et al.*,(2000).

### 3.7 Análise Estatística dos Experimentos

#### 3.7.1 Delineamento do experimento

A partir dos resultados obtidos em ensaios preliminares, estabeleceu-se as variáveis a serem estudadas em combinação, na expectativa de se analisar o efeito proporcionado às características de qualidade dos pães. As variáveis fixadas foram: quantidade de clara, quantidade de fermento e quantidade de farinha de mandioca (Escouto *et al.*, 2000) .

Para estudar o efeito combinado dessas variáveis nas características de qualidade dos pães foi planejado um experimento estatisticamente delineado em superfície de resposta do tipo central composto com cada fator aparecendo em três níveis (Cochran & Cox, 1964). Os níveis foram codificados como -1, 0, +1. Os valores reais correspondentes a esses níveis aparecem no Quadro 7 e foram calculados de acordo com a equação:

$$x_i = \frac{X_i - XM}{\Delta X_i}$$

onde:

$x_i$  = valor codificado do fator  $x_i$

$X_i$  = valor real do fator

$X_M$  = valor real do fator no ponto central

$\Delta X_i$  = intervalo de variação de  $X_i$

Os valores máximo e mínimo de cada variável foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de panificação e com base nos diversos ensaios preliminares Escouto *et al.*, (1999 a, b ; 2000 a e b).

O delineamento central composto foi constituído da seguinte forma: a.) 8 combinações entre os níveis -1 e +1 das 3 três variáveis independentes (fatorial  $2^3$ ); b.) 6 combinações fixando 2 das variáveis no nível 0 e uma delas variando de -1 e +1 (pontos axiais) e c.) um ponto central, ou seja, todas as variáveis no nível 0. Portanto o delineamento usou 15 tratamentos diferentes (combinações) sendo que cada combinação da parte fatorial (item (a) ) foi repetida 2 vezes e o ponto central (item (c) ) foi repetido 4 vezes, totalizando 26 ensaios básicos. O delineamento em níveis reais está apresentado no Quadro 7 e em níveis codificados no Quadro 8. A ordem de execução dos ensaios foi aleatória.

**Quadro 7.** Variáveis e níveis de variação.

Variáveis	Níveis de Variação		
	-1	0	+1
$X_1$ = quantidade de clara desidratada(g)	10g	20g	30g
$X_2$ = quantidade de fermento (g)	5g	10g	15g
$X_3$ = quantidade de farinha de mandioca crua (g)	45g	55g	65g

$\nabla = 1$  para  $K= 3$  (três variáveis independentes)

### 3.7.2 Análise estatística dos resultados

Para a análise dos resultados experimentais foi empregada a metodologia de superfície de resposta, a qual descreve o comportamento da variável dependente (Y) frente às mudanças nas variáveis independentes ( $X_k$ ), no intervalo estudado (Draper & Smith, 1966).

Em um sistema envolvendo uma resposta Y, que depende das variáveis  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$  a resposta pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

A função f, em geral, é desconhecida porém pode ser aproximada por um polinômio de 2ª ordem em função das variáveis explicativas ( $X_k$ ), ou seja,

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_{11} x_1^2 + B_{22} x_2^2 + B_{33} x_3^2 + B_{12} x_1 x_2 + B_{13} x_1 x_3 + B_{23} x_2 x_3 + E$$

onde:

$Y_i$  = variável resposta

$x_1, x_2, x_3$  = níveis codificados das variáveis independentes

$B_{(s)}$  = coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados

E = resíduo que mede o erro experimental

O polinômio preditivo para cada resposta somente pode ser empregado dentro do intervalo estudado, fixado pelos níveis extremos das variáveis independentes ( $X_k$ ).

**Quadro 8**– Delineamento experimental central composto para três variáveis em três níveis valores codificados utilizados em ensaios de pão sem glúten.

Tratamentos	Níveis das Variáveis		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1
2	-1	1	-1
2	-1	1	1
3	1	-1	-1
3	1	-1	1
4	1	1	-1
4	1	1	1
5	-1	0	0
5	1	0	0
6	0	-1	0
6	0	1	0
7	0	0	-1
7	0	0	1
8	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	-1	-1	-1
12	-1	-1	1
13	-1	1	-1
14	-1	1	1
15	1	-1	-1
15	1	-1	1
15	1	1	-1
15	1	1	1

$x_1$  - Quantidade de clara desidratada

$x_2$  - Quantidade de fermento

$x_3$  - Quantidade de farinha de mandioca crua

**Quadro 9** – Delineamento experimental central composto para as variáveis estudadas, em três níveis com valores reais utilizados em ensaios para pão sem glúten, expressos em peso na formulação ajustada.

Tratamentos	Níveis das Variáveis		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	10g	5g	45g
2	10g	5g	65g
3	10g	15g	45g
4	10g	15g	65g
5	30g	5g	45g
6	30g	5g	65g
7	30g	15g	45g
8	30g	15g	65g
9	10g	10g	55g
10	30g	10g	55g
11	20g	5g	65g
12	20g	15g	55g
13	20g	10g	45g
14	20g	10g	65g
15	20g	10g	55g
16	20g	10g	55g
17	20g	10g	55g
18	20g	10g	55g
19	10g	5g	45g
20	10g	5g	65g
21	10g	15g	45g
22	10g	15g	65g
23	30g	5g	45g
24	30g	5g	65g
25	30g	15g	45g
26	30g	15g	65g
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>

x<sub>1</sub> - Quantidade de clara (g).

x<sub>2</sub> – Quantidade de fermento (g).

x<sub>3</sub> – Quantidade de Farinha de mandioca crua (g).

As respostas consideradas foram:

A . Organolépticas (Subjetivas):

$Y_1$  = Cor da crosta

$Y_2$  = Quebra

$Y_3$  = Simetria

$Y_4$  = Características da crosta

$Y_5$  = Cor do miolo

$Y_6$  = Estrutura das células do miolo

$Y_7$  = Textura do miolo

$Y_8$  = Aroma

$Y_9$  = Gosto

B . Instrumentais (Objetivas):

$Y_{10}$  = Volume

$Y_{11}$  = Textura do miolo

$Y_{12}$  = Cor do miolo

$Y_{13}$  = Cor da crosta

Para cada uma das variáveis resposta estudadas, o polinômio de 2ª ordem foi ajustado. A significância de cada termo foi avaliada através da estatística F. Em geral, os termos não significativos a 10% foram eliminados do modelo, porém efeitos lineares não significativos foram mantidos caso a significância de termos quadrático ou interação



envolvendo a variável (fator) em questão tenha sido significativa. O ajuste do modelo final permitiu a construção do gráfico da superfície de resposta em função de 2 variáveis (fatores). Nos casos em que o ajuste final envolveu as 3 variáveis, uma das variáveis foi mantida constante para a construção do gráfico.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliação do produto**

O aspecto geral do pão sem glúten é apresentado na Figura 10.

#### **4.1.1 Propriedades Organolépticas**

A avaliação da qualidade de pães pode ser realizada organolepticamente, analisando-se as características externas, internas, aroma e gosto, segundo um critério de notas pré-estabelecido e aceito (El-Dash *et al.*, 1982).

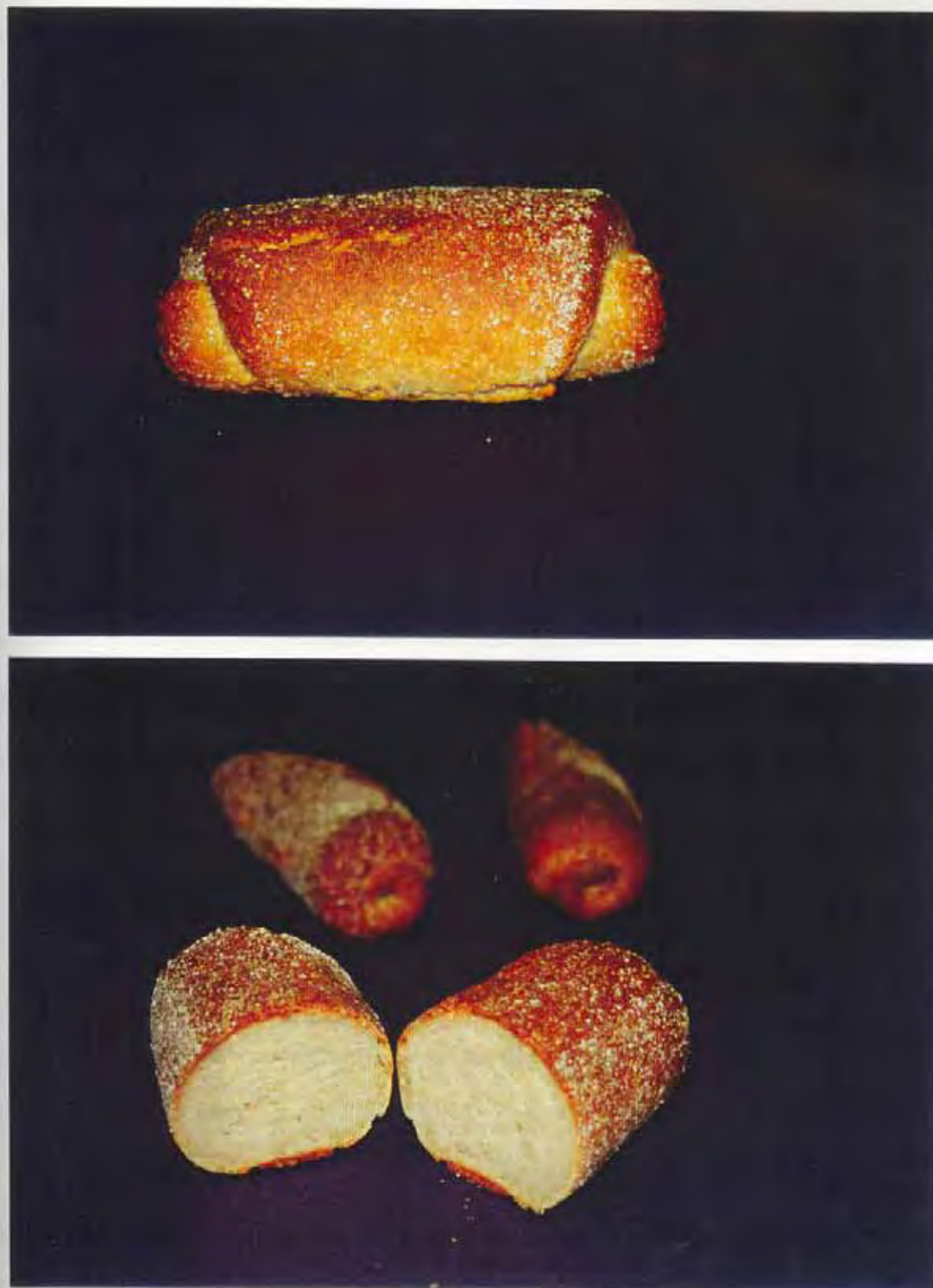


Figura 10: Aspecto geral do pão sem glúten

#### 4.1.2 Características Externas

A avaliação das características externas de qualidade dos pães compreendem algumas variáveis que definem a sua aceitabilidade.

##### a) Cor da Crosta

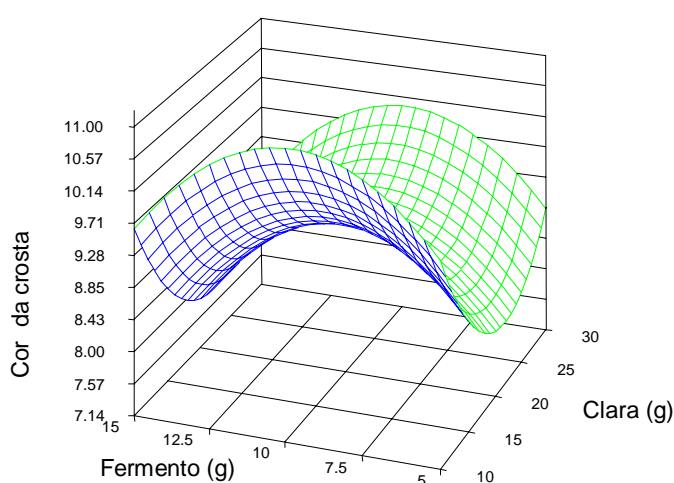
A cor da crosta é uma característica de qualidade que interfere na aceitabilidade dos pães. Está diretamente relacionada com a quantidade de açúcar, enzimas e também pelas condições de processamento, como o tempo de fermentação e a temperatura de cozimento. A cor da crosta é função da reação não-enzimática entre os açúcares redutores e os grupo amino primários durante o cozimento, a qual é induzida pela presença de íons de hidrogênio produzidos durante o processo de fermentação, segundo *El-Dash et al.* (1982).

Normalmente a cor da crosta oscila entre um marrom de intenso dourado no topo e marrom levemente dourado nas laterais (Pylar, 1988 a).

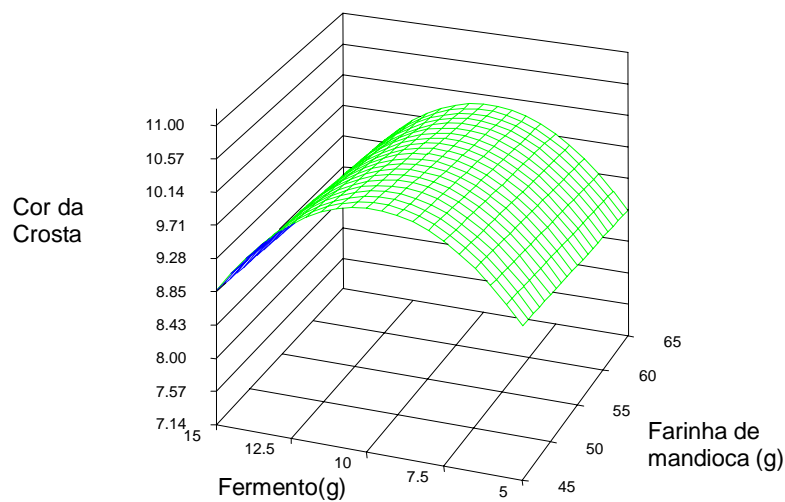
O ajuste do polinômio de 2<sup>a</sup> ordem completo aos dados de cor da crosta indicou que o efeito quadrático de farinha e as interações clara desidratada e fermento e fermento e farinha de mandioca não foram significativas. Portanto, o modelo reduzido final ficou da seguinte forma:

$$Y = 2,7983 - 0,2940 CL + 0,9912 FE + 0,1201 FI + 0,0132 CL^2 - 0,0506 FE^2 - 0,0044 CL \times FI \quad (2)$$

Os resultados do ajuste do modelo estão apresentados no Quadro 11. Pode-se verificar que o ajuste do modelo é significativo ( $p= 0,0490$ ) e  $R^2 = 46\%$ . Para visualizar a superfície de resposta fixou-se uma das variáveis e construiu-se a figura em função das outras duas. A Figura 11 e a Figura 12 ilustram a superfície para quantidade de farinha de mandioca igual a 55g ou 24% e quantidade de clara igual a 20g ou 9%, respectivamente. Ambas figuras mostram que a quantidade ótima de fermento, para as demais variáveis, é por volta de 10g ou 4%. A Figura 13 ilustra a superfície em função da clara e farinha de mandioca, fixando-se a quantidade de fermento em 10g ou 4%.

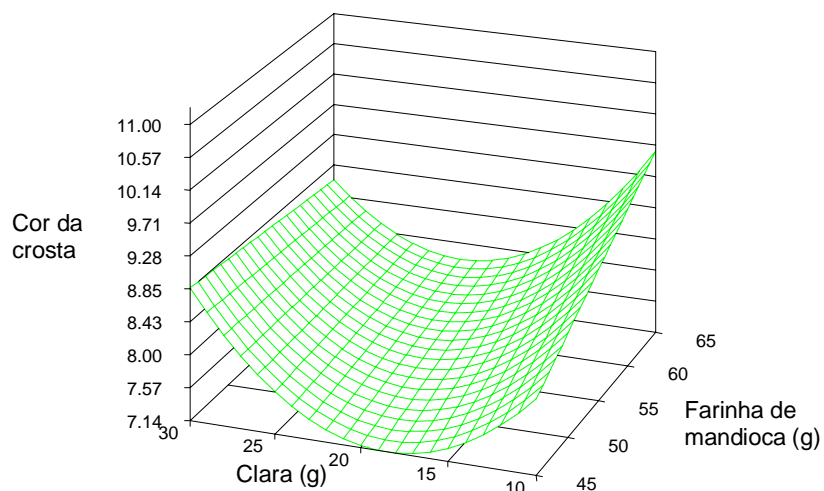


**Figura 11:** Superfície de resposta para o atributo COR DA CROSTA em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de fermento, para 55g ou 24% de farinha de mandioca.



**Figura 12:** Superfície de resposta para o atributo COR DA CROSTA em pães sem glúten em função da percentagem de farinha de mandioca e da percentagem de fermento, para 20g ou 9% de clara.

De acordo com a Figura 13, para uma percentagem de farinha de mandioca alta (65g ou 27%), reduções na percentagem de clara fizeram com que houvesse uma diminuição no "escore" cor da crosta até certo ponto (18%). A partir deste ponto os "escores" para cor da crosta passaram a apresentar valores crescentes, sendo que o máximo ocorre na combinação 65g ou 26% de farinha de mandioca e 10g ou 5% de clara. Para uma percentagem de farinha baixa (45g ou 20%), o comportamento é semelhante ao anterior, porém, apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada o máximo ocorre na combinação 45g ou 20% de farinha de mandioca e 30g ou 12% de clara, resultando portanto, num efeito de interação significativo entre estes dois fatores.



**Figura 13:** Superfície de resposta para o atributo COR DA CROSTA em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de farinha de mandioca, para 10g ou 4% de fermento.

**Quadro 11:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a cor da crosta dos pães sem glúten

Média das respostas	8,8846
Desvio-padrão	0,8986
Coefficiente de variação	10,1143
$R^2$	0,4550

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	9	12,8108	2,1351	2,64	0,0490
Resíduo	16	13,6777	0,8075		
Total	25	28,1538			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de clara	-0,2939	0,2358	0,2278
Quantidade de fermento	0,9912	0,4013	0,0232

### b) Simetria e Quebra

A simetria e a quebra do pão são atributos de aparência e dependem das técnicas empregadas no manuseio e moldagem da massa, além das condições de formulação e processamento (El-Dash *et al.*, 1982).

O polinômio de 2<sup>a</sup> ordem completo foi ajustado aos dados e os resultados indicaram que nenhum dos três fatores influenciaram a simetria ou a quebra, pois nenhum dos termos do modelo foi significativo.



### c) Características da crosta

O aspecto da camada interna da crosta é importante para a qualidade do pão. Uma boa crosta deve ser fina e não dura ou borrachenta. A presença de bolhas ou uma crosta grossa ou dura evidenciam problemas que podem estar relacionados com a farinha empregada; quantidade de açúcar; tempo e umidade da fermentação; umidade, tempo e temperatura do forno entre outros (El-Dash *et al.*, 1982). Segundo Matz (1960) a formulação empregada determina consideravelmente as características da crosta.

O ajuste do polinômio de 2ª ordem completo aos dados indicou que a quantidade de clara não influenciou a característica da crosta. Eliminando-se os termos não significativos, o modelo reduzido final ficou da seguinte forma:

$$Y = 26,5745 - 0,9320 FI + 0,6800 FE - 0,0363 FI^2 + 0,0085 FE^2 \quad (4)$$

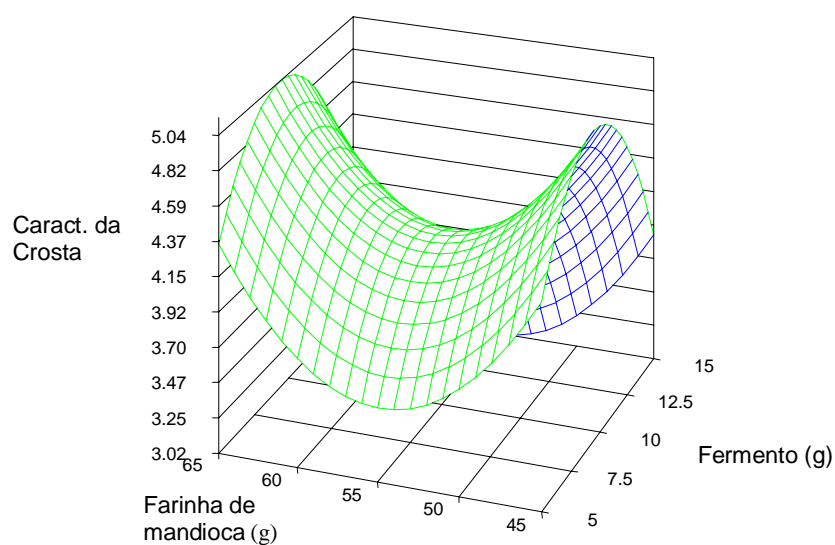
Os resultados do ajuste estão apresentados no Quadro 12. Apesar do teste F geral não apresentar significância ( $p= 0,1328$ ) os 4 termos no modelo são significativos e o modelo ajustado foi utilizado para a exploração da superfície de resposta, que está apresentada na Figura 14.

**Quadro 12:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para as características da crosta dos pães sem glúten

Média das respostas			4,1538		
Desvio-padrão			0,6797		
Coeficiente de variação			16,3644		
R <sup>2</sup>			0,2750		
<hr/>					
Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	4	3,6811	0,9202	1,99	0,1328
Resíduo	21	9,7034	0,4620		
Total	25	13,3846			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de fermento	0,6800	0,3414	0,0596
Quantidade de farinha de mandioca	-0,9319	0,4840	0,0678
Quantidade de fermento (quadrático)	-0,0363	0,0168	0,0425
Quantidade de farinha de mandioca (quadrático)	0,0084	0,0043	0,0672

A Figura 14 mostra que para percentagem de fermento, acréscimos na percentagem de farinha de mandioca produziram "escores" decrescentes para característica da crosta até o valor máximo de 57%. A partir deste ponto, acréscimos na percentagem de farinha de mandioca produziram "escores" crescentes. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada, a combinação de fermento e farinha de mandioca que produz o melhor resultado está por volta de 10g ou 4% e 65g ou 26%, respectivamente.



**Figura 14:** Superfície de resposta para o atributo CARACTERÍSTICA DA CROSTA em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e da percentagem de farinha de mandioca 10g ou 4% e 65g ou 26%.

#### 4.1.3 Características internas

##### a) Cor do miolo

Segundo El-Dash *et al.*(1982) o ideal para pães é um miolo macio, branco e sem estrias ou manchas.

A incorporação de farelo de trigo à farinha especial branca interferem negativamente na cor do miolo. O tempo e a temperatura de fermentação quando excessivamente elevados também afetarão a cor (Machado, 1996).

Na prática, segundo Pylar (1988 a ) a cor do miolo é influenciada pela fineza e uniformidade das células. Células mais finas resultarão em miolo mais claro, como é detectado pelo olho humano.

O ajuste do polinômio de 2ª ordem completo aos dados indicou que a quantidade de farinha de mandioca não influenciou a cor do miolo, e os efeitos quadráticos da clara e do fermento não foram significativos. Portanto, o modelo reduzido final ficou da seguinte forma:

$$Y = 12,4412 - 0,2021 \text{ CL} - 0,2486 \text{ FE} + 0,0143 \text{ CL} \times \text{FE} \quad (5)$$

Os resultados do ajuste do modelo reduzido estão apresentados no Quadro 13. Os resultados indicam bom ajuste do modelo ( $p= 0,0244$ ) e a superfície de resposta gerada está apresentada na Figura 15.

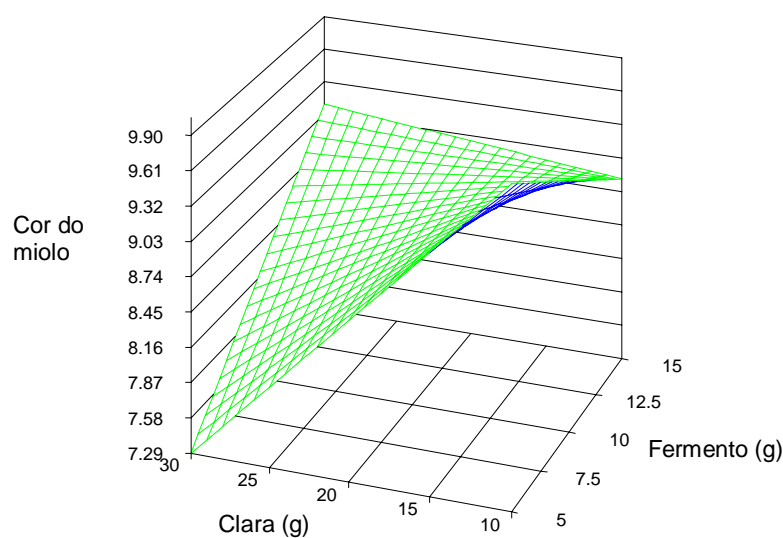
**Quadro 13:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães sem glúten.

Média das respostas	8,7884
Desvio-padrão	1,1484
Coefficiente de variação	13,0674
R <sup>2</sup>	0,3418

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	15,0711	5,0237	3,81	0,0244
Resíduo	22	29,0153	1,3188		
Total	25	44,0865			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de clara	-0,2020	0,0634	0,0043
Quantidade de fermento	-0,2486	0,1269	0,0630
Interação (clara x fermento)	0,0143	0,0057	0,0202

A Figura 15 mostra que uma percentagem baixa de clara (10g ou 5%), decréscimo na percentagem de fermento (5g ou 2%) produziu um aumento no "escore" para a cor do miolo, enquanto que, para uma percentagem alta de clara (30g ou 12%), um incremento na percentagem de fermento reduziu o escore para cor do miolo. Portanto, existe interação entre estes dois fatores. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada o melhor resultado foi obtido para a combinação 10g ou 5% de clara e 5g ou 2% de fermento.



**Figura 15:** Superfície de resposta para o atributo COR DO MIOLO em pães sem glúten em função de percentagem de clara e fermento.

### b) Estrutura das células do miolo

De acordo com El-Dash *et al.* (1982) a qualidade da farinha e a fermentação estão entre os fatores mais importantes que afetam a estrutura de células do miolo, isto inclui tamanho, forma e natureza das paredes das células do miolo. O miolo do pão pode ter granulidade aberta (células grandes) ou fechada (células pequenas) ou ainda uma combinação delas. As células podem ser redondas ou alongadas, sendo a última preferível.

Através do ajuste do modelo de 2ª ordem completo verificou-se que a quantidade de farinha de mandioca não influenciou a estrutura do miolo. O modelo reduzido ficou da seguinte forma:

$$Y = 10,5074 - 0,1171 \text{ CL} - 0,1764 \text{ FE} + 0,0144 \text{ CL} \times \text{FE} \quad (6)$$

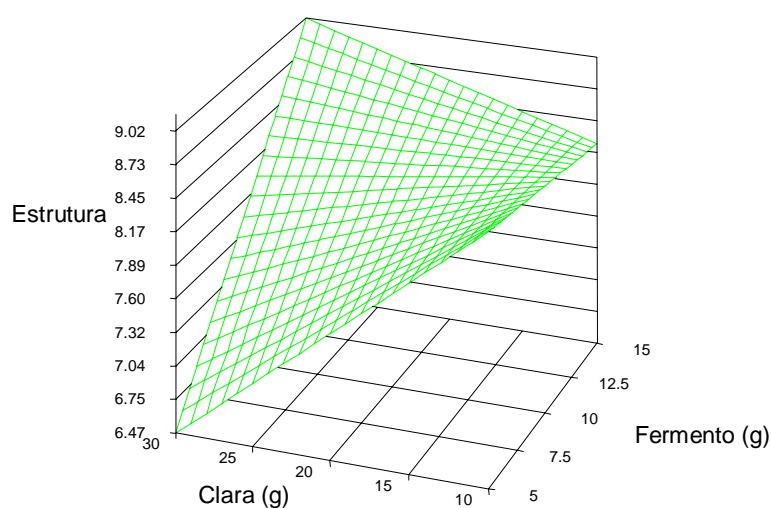
Os resultados do ajuste estão apresentados no Quadro 14, onde verifica-se que o modelo apresentou bom ajuste ( $p= 0,0246$ ). A estrutura do miolo depende dos efeitos lineares de clara e fermento e da interação entre estes dois fatores. A superfície de resposta está apresentada na Figura 16.

**Quadro 14:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a estrutura de células do miolo dos pães sem glúten

Média das respostas					8,0769
Desvio-padrão					1,1779
Coefficiente de variação					14,5837
R <sup>2</sup>					0,3413
<hr/>					
Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	15,8211	5,2737	3,80	0,0246
Resíduo	22	30,5249	1,3874		
Total	25	46,3461			



Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de clara	-0,1770	0,0651	0,0125
Quantidade de fermento	-0,1763	0,1302	0,1893
Interação (clara x fermento)	0,0143	0,0058	0,0232



**Figura 16:** Superfície de resposta para o atributo ESTRUTURA em pães sem glúten em função da percentagem de clara e fermento.

De acordo com a Figura 16, para baixa percentagem de fermento (5g ou 2%), redução na percentagem de clara teve efeito negativo na estrutura do pão, por outro lado, para alta percentagem de fermento (15g ou 6%), o aumento na percentagem de clara produziu a melhor estrutura. Há, portanto, interação entre estes dois fatores. Apesar da

superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada, a combinação de clara e fermento que produziu o melhor resultado está em torno de 30g ou 12% e 15g ou 6%, respectivamente.

### **c) Textura**

O miolo ideal do pão deve ser suave, macio e elástico, sendo considerado indesejável uma textura desigual, grossa, gomosa e maçuda.

Segundo Pylar (1988 a) para os consumidores a textura do miolo é um dos maiores fatores de qualidade, a maciez, suavidade e elasticidade estão associadas à frescura do pão. Pode ser avaliada através de leve pressão e deslizamento dos dedos sobre a superfície recentemente cortada do pão.

A textura é influenciada pela granulosidade ou estrutura de células do miolo sendo que, células uniformes, pequenas e de paredes finas proporcionam um miolo macio e mais elástico.

O polinômio de 2ª ordem completo foi ajustado aos dados e os resultados indicaram que nenhum dos três fatores estão influenciando a textura pois nenhum dos termos do modelo foi significativo.

#### **d) Aroma**

O aroma é a característica de qualidade percebida pelo olfato. O pão deve possuir uma aroma delicado e típico dos produtos, isento de odores estranhos tais como ranço, azedo, mofo e outros.

Como o aroma é o maior componente do “flavor” do pão, ele desempenha um importante papel na determinação da preferência dos consumidores (Pylar, 1988 a).

O ajuste do modelo completo indicou que a quantidade de clara não influenciou o aroma, todos os termos envolvendo este fator foram não significativos. Eliminando-se os termos não significativos, o modelo reduzido foi ajustado resultando na seguinte equação:

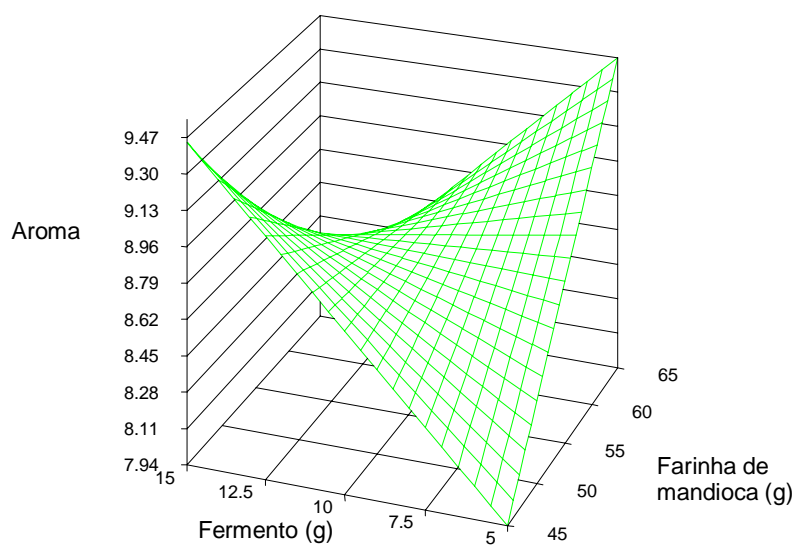
$$Y = 0,04340 + 0,8087 FE + 0,1499 FI - 0,0146 FE \times FI \quad (7)$$

Os resultados do ajuste estão apresentados no Quadro 15. O teste F indicou um ajuste razoável do modelo ( $p = 0,0676$ ). Apenas os efeitos lineares de fermento e de farinha de mandioca e a interação entre estes dois fatores são significativos. A superfície de resposta gerada por este modelo está apresentada na Figura 17.

**Quadro 15:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aroma de pães sem glúten.

Média das respostas				8,7019	
Desvio-padrão				1,0567	
Coeficiente de variação				12,1441	
R <sup>2</sup>				0,2720	
<hr/>					
Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	9,1835	3,0611	2,74	0,0676
Resíduo	22	24,5688	1,1167		
Total	25	33,7524			
<hr/>					
Variáveis		Estimativa do coeficiente		Erro padrão	Prob > F
Quantidade de fermento		0,8087		0,2847	0,0095
Quantidade de farinha de mandioca		0,1498		0,0558	0,0135
Interação (fermento x farinha de mandioca)		-0,0146		0,0051	0,0096
<hr/>					

De acordo com a Figura 17, baixa percentagem de fermento (5g ou 2%), alta percentagem de farinha de mandioca (65g ou 26%) produz um "escore" alto para o aroma. Por outro lado, alta percentagem de fermento (15g ou 6%), aumento na percentagem de farinha de mandioca produziu decréscimo no "escore" para aroma. Portanto, existe interação entre estes fatores. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada, as combinações de fermento e farinha de mandioca que produzem os melhores resultados estão por volta de 15g ou 6% e 45g ou 20% ou 5g ou 2% e 65g ou 26%, respectivamente.



**Figura 17:** Superfície de resposta para o atributo AROMA em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e farinha de mandioca.

### e) Gosto

O gosto é o segundo componente do “flavor” do pão, o qual quando fresco deve se apresentar levemente doce e ácido, devendo ser isento de sabores remanescentes ou estranhos.

A sensação do gosto é percebida através da mastigação, sendo que o mesmo deve se desintegrar rápido na boca sem formar massa gomosa (Pylar, 1988 a).

Similarmente ao ocorrido para o aroma, o ajuste do modelo de 2ª ordem completo para o gosto indicou que a quantidade de clara não alterou o gosto (termos não significativos). Eliminando-se os termos não significativos o modelo reduzido ficou da seguinte forma:

$$Y = 3,8440 + 0,8617 FE + 0,1481 FI - 0,0164 FE \times FI \quad (8)$$

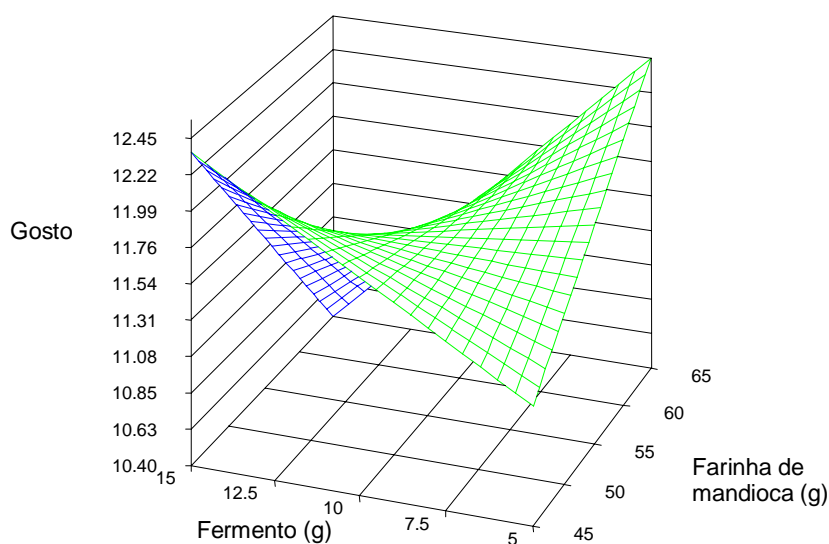
As informações sobre o ajuste do modelo acima estão apresentadas no Quadro 16. Apesar do teste F geral não indicar forte ajuste do modelo e do  $R^2$  ser baixo (20%), os efeitos lineares do fermento e clara e a interação são significativos. O modelo (8) foi usado como exploração da superfície de resposta que está ilustrada na Figura 18.

**Quadro 16:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o gosto dos pães sem glúten.

Média das respostas			11,5577		
Desvio-padrão			1,4854		
Coeficiente de variação			12,8520		
R <sup>2</sup>			0,1998		
<hr/>					
Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	12,1223	4,0407	1,83	0,1709
Resíduo	22	48,5411	2,2064		
Total	25	60,6634			
<hr/>					
Variáveis		Estimativa do coeficiente		Erro padrão	Prob > F
Quantidade de fermento		0,8617		0,4002	0,0426
Quantidade de farinha de mandioca		0,1481		0,0784	0,0723
Interação (fermento x farinha de mandioca)		-0,0164		0,0072	0,0335
<hr/>					

A Figura 18 mostra que para baixa percentagem de fermento (5g ou 2%), um aumento na percentagem de farinha de mandioca produziu um aumento na pontuação

para o gosto, enquanto que para alta percentagem de fermento, o incremento na percentagem de farinha de mandioca produziu uma redução na pontuação do gosto, mostrando, portanto, que existe interação entre estes dois fatores. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada, a combinação de fermento e farinha de mandioca que produz o melhor resultado está por volta de 5g ou 2% e 65g ou 26%, respectivamente.



**Figura 18:** Superfície de resposta para o atributo GOSTO em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e farinha de mandioca.



## 4.2 Medidas instrumentais

Segundo Brady & Mayer (1985) existe alta correlação entre a análise sensorial e os testes instrumentais. Os pesquisadores postulam que a presença de diferenças significativas entre amostras observadas com avaliação instrumental e não percebidas com a sensorial, sugere que os provadores e o equipamento não estejam medindo o mesmo parâmetro ou que o instrumento foi mais sensível às pequenas diferenças.

### a) Volume específico

O volume do pão é uma consideração importante para a aceitabilidade dos consumidores. É de grande importância na determinação da qualidade porque é afetado por vários fatores ligados à qualidade dos ingredientes usados na formulação da massa, especialmente a farinha e os tratamentos usados durante o processamento. Um volume excessivamente grande não seria um fator negativo porém, o pão apresentaria uma textura fraca e uma granulidade grosseira, características que não são aceitáveis em um pão de boa qualidade, segundo El-Dash (1982).

Alguns pães especiais possuem baixos valores de volume expressos em centímetros cúbicos por grama, ou seja, eles são mais densos e mais compactos, e este fato não os torna inaceitáveis pelos consumidores (Matz, 1960).

No presente estudo, o ajuste do polinômio de 2ª ordem completo aos dados experimentais do volume mostrou que a quantidade de fermento não influenciou no volume. Eliminando-se os termos não significativos, porém, mantendo o termo linear da

quantidade de farinha de mandioca, devido a significância da interação entre quantidade de farinha de mandioca e quantidade de clara, o modelo reduzido final foi:

$$Y = 1,2533 + 0,0794 CL + 0,0117 FI - 0,0015 CL \times FI \quad (1)$$

Este modelo inclui apenas os efeitos lineares de clara e farinha de mandioca e a interação entre estes dois fatores. Os resultados do ajuste, incluindo a análise de variância (ANOVA) estão apresentados no Quadro 17. Pode-se verificar que o ajuste do modelo final é significativo ( $p = 0,0235$ ) e apesar do  $R^2$  não ser alto (34%). Este modelo pode ser usado para explorar o comportamento do volume em função da quantidade de clara e de farinha de mandioca, comportamento esse apresentado na Figura 19.

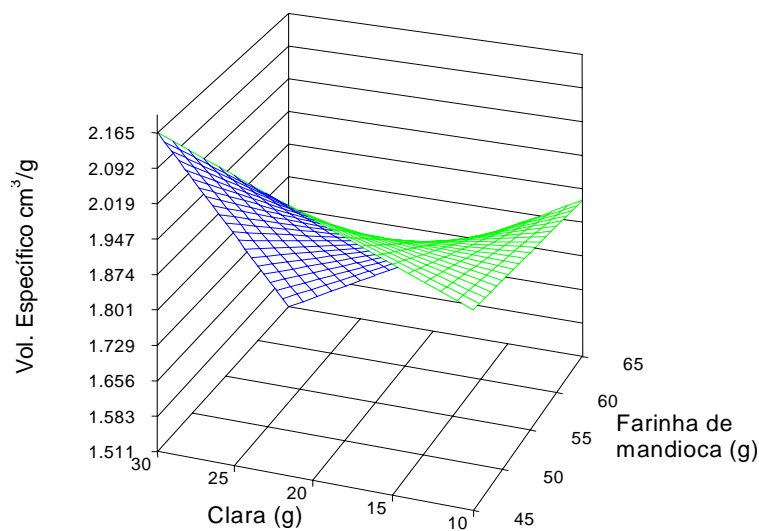
**Quadro 17:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o volume dos pães sem glúten

Média das respostas	1,8653
Desvio-padrão	0,2889
Coefficiente de variação	15,4918
$R^2$	0,3442

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	0,9644	0,3214	3,85	0,0235
Resíduo	22	1,8370	0,0835		
Total	25	2,8015			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de clara	0,0794	0,0403	0,0616
Farinha de mandioca	0,0117	0,0158	0,4675
Interação (clara x farinha de mandioca)	-0,0015	0,0007	0,0524

De acordo com a Figura 19, um aumento da percentagem de farinha de mandioca e uma diminuição da percentagem de clara, produzem efeito negativo no volume, enquanto que uma menor percentagem de farinha de mandioca (45g ou 20%), um incremento na percentagem de clara (30g ou 12%) produzem o melhor volume. Portanto, existe interação entre estes dois fatores. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada, a combinação de clara e farinha de mandioca que produz o melhor resultado está por volta de 30g ou 12% e 45g ou 20%, respectivamente.



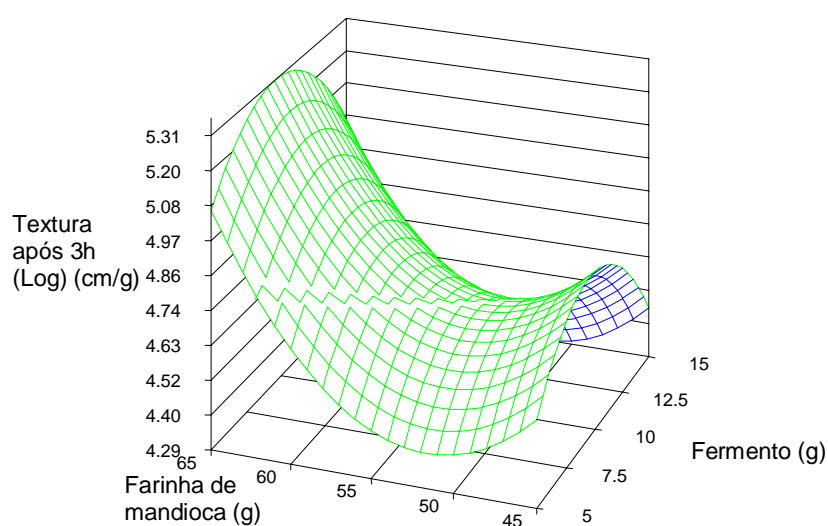
**Figura 19:** Superfície de resposta para o atributo VOLUME ESPECÍFICO em pães sem glúten em função da percentagem de clara e da percentagem de farinha de mandioca.

### b) Textura do miolo

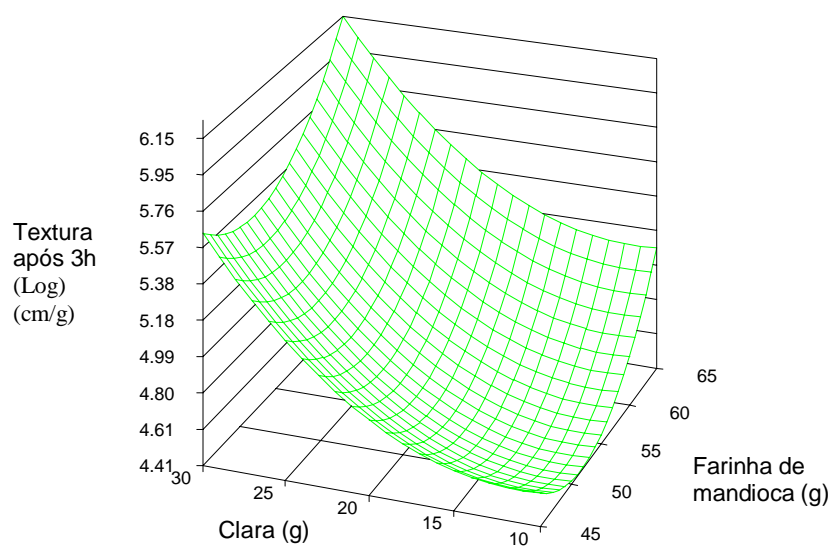
Para a textura após 3 horas, o ajuste do modelo completo indicou não significância das interações entre fermento e farinha de mandioca e entre clara desidratada e farinha de mandioca. O modelo reduzido final ficou da seguinte forma:

$$Y = 13,0281 - 0,0338 CL + 0,2983 FE - 0,3877 FI + 0,0031 CL^2 - 0,0119 FE^2 + 0,0038 FI^2 - 0,0036 CL \times FE \quad (9)$$

Os resultados do ajuste estão no Quadro 18. O modelo se ajustou muito bem aos dados ( $p= 0,0001$  e  $R^2= 87\%$ ). Apesar dos termos linear para clara e quadrático para fermento não serem significativos eles foram mantidos no modelo para permitir seu ajuste adequado. Para visualizar a superfície de resposta um dos fatores foi fixado e a figura construída usando os 2 outros fatores. As Figuras 20 e 21 foram geradas fixando-se clara no nível 20g ou 9% e fermento no nível 10g ou 4%, respectivamente. Estas duas figuras mostram que o melhor nível de farinha de mandioca é por volta de 52g (menor valor de textura).



**Figura 20:** Superfície de resposta para o atributo TEXTURA o nível de farinha de mandioca em pães sem glúten fixado em 52%.



**Figuras 21:** Superfície de resposta para o atributo TEXTURA clara 20g ou 9% e fermento 10g ou 4% em pães sem glúten

**Quadro 18:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo após 3 horas do forneamento dos pães sem glúten

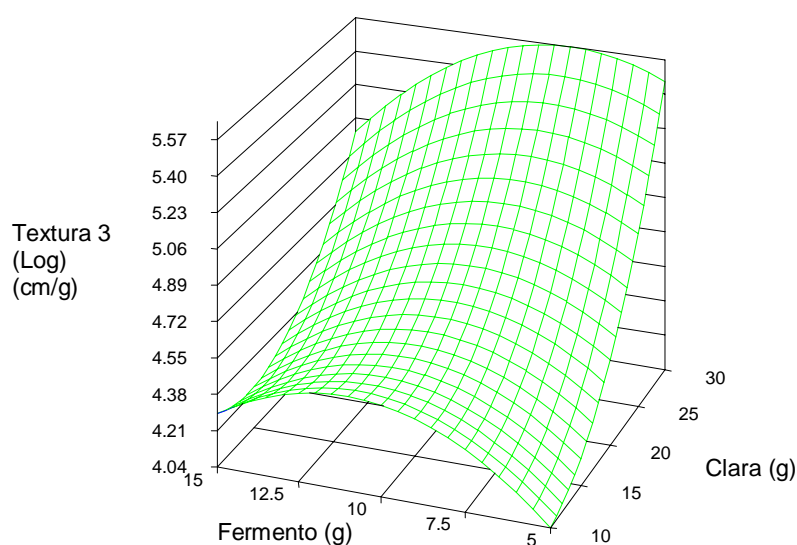
Média das respostas	4,9549
Desvio-padrão	0,2520
Coefficiente de variação	5,0861
$R^2$	0,8721

Causa de variação	de GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	7	7,8006	1,1143	17,55	0,0001
Resíduo	18	1,1432	0,0635		
Total	25	9,9438			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	do Erro padrão	Prob > F
Quantidade de clara	-0,0338	0,0582	
Quantidade de fermento	0,2982	0,1421	0,0503
Quantidade de farinha de mandioca	-0,3876	0,1811	0,0463
Quantidade de clara (quadrático)	0,0030	0,0014	0,0437
Quantidade de fermento (quadrático)	-0,0118	0,0069	0,1033

De acordo com a Figura 22, para qualquer percentagem de fermento, um aumento na percentagem de clara produziu efeito negativo na textura do pão após 3 horas do forneamento, porém este efeito foi mais marcado quando a percentagem de fermento foi baixa (5g ou 2%). Este comportamento faz com que a interação entre fermento e clara seja significativa. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a

região experimental estudada, a combinação de fermento e clara que produz o melhor resultado de textura do pão está por volta de 5g ou 2% e 10g ou 5%, respectivamente.



**Figura 22:** Superfície de resposta para o atributo TEXTURA 3 horas após o forneamento em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e da percentagem de clara.

Um dos dados de textura após 24 horas apresentou um valor extremamente discrepante dos demais e decidiu-se por eliminá-lo da análise. Também não foi possível obter essa medida para um dos ensaios. Portanto, a análise estatística usou 24 ensaios para esta variável. O ajuste do modelo completo indicou que a textura após 24 horas não depende da quantidade de clara. Eliminando-se os termos não significativos, o modelo reduziu-se a :



$$Y = 6,9164 - 0,2939 FE - 0,0265 FI + 0,0051 FE \times FI \quad (10)$$

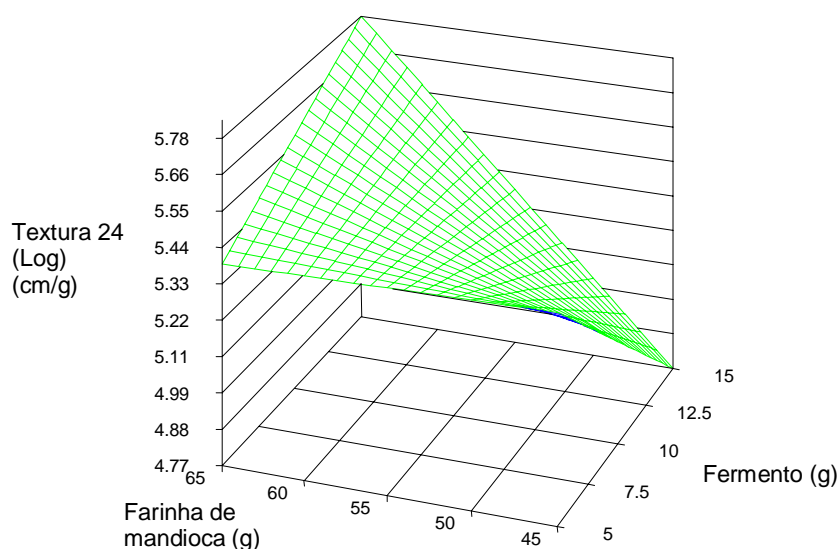
Os resultados do ajuste do modelo são apresentados no Quadro 19. O teste F geral indicou um bom ajuste do modelo ( $p = 0,0260$ ). Apesar do efeito linear para farinha de mandioca não ser significativo ele foi mantido no modelo por ser um termo de ordem mais baixa que a interação (significativa) entre farinha de mandioca e fermento. A superfície de resposta gerada por este modelo está apresentada na Figura 23.

**Quadro 19:** Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo 24 horas após o forneamento para pães sem glúten.

Médias das respostas					5,3309
Desvio-padrão					0,4391
Coefficiente de variação					8,2383
R <sup>2</sup>					0,3640
<hr/>					
Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Regressão	3	2,2078	0,7359	3,82	0,0260
Resíduo	20	3,8575	0,1928		
Total	23	6,0654			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Erro padrão	Prob > F
Quantidade de fermento	-0,2938	0,1258	0,0300
Quantidade de farinha de mandioca	-0,0264	0,0258	0,3187
Interação (fermento e farinha de mandioca)	0,0051	0,0022	0,0365

A Figura 23 mostra que para baixa percentagem de farinha de mandioca (45g ou 20%), uma redução na percentagem de fermento produziu efeito negativo na textura após 24, enquanto que para alta percentagem de farinha de mandioca (65g ou 26%), uma redução na percentagem de fermento produziu melhora na textura, mostrando, portanto, que existe interação entre estes dois fatores. Apesar da superfície não apresentar ponto de ótimo, pode-se observar que para a região experimental estudada a combinação de fermento e farinha de mandioca que produz o melhor resultado está por volta de 15g ou 6% e 45g ou 20%, respectivamente.



**Figura 23:** Superfície de resposta para o atributo TEXTURA 24 horas após o forneamento em pães sem glúten em função da percentagem de fermento e clara.

Em relação ao mesmo atributo medido "organolepticamente", observa-se que, a avaliação organoléptica não foi sensível para medir textura neste tipo de produto.

#### 4.3 Avaliação da Melhor Formulação

A formulação utilizada para as avaliações energética, econômica, cor de crosta e miolo, índice de aceitabilidade e calorimétrica foi : polvilho azedo 39%, leite em pó 3%, açúcar refinado 5%, sal 1%, farinha de mandioca 26%, fermento biológico fresco 6%, clara desidratada 12% e gordura vegetal hidrogenada 8%.

### 4.3.1 Avaliação Energética e Econômica

A análise energética foi realizada medindo-se o gasto energético em KW pelo circuito de equipamentos utilizados na produção do pão, conforme o Quadro 20.

**Quadro 20:** Tempo gasto e energia requerida para a produção de 1 tonelada do produto em nível industrial

EQUIPAMENTO	TEMPO	KW
Batedeira	37,5 minutos	0,3437
Cilindro	37,5 minutos	0,1875
Forno	62,5 minutos	0,4790
Total	137,5 minutos	1,0102

Fonte: Informações fornecidas por Perfecta Equipamentos S&A

A análise econômica foi realizada a partir da análise de dados da planilha de custos com a descrição dos seguintes valores conforme os Quadros 21 e 22.

**Quadro 21:** Custo de processamento de 1 tonelada de massa para pão sem glúten

INGREDIENTES	PORCENTAGEM (%)	CUSTO EM TONELADA (R\$)
Polvilho azedo	39	304,20 <sup>1</sup>
Leite em pó integral	3	206,25 <sup>2</sup>
Açúcar refinado	5	27,50 <sup>2</sup>
Sal refinado	1	3,10 <sup>2</sup>
Farinha de mandioca moída	26	150,80 <sup>1</sup>
Fermento biológico fresco	6	859,20 <sup>2</sup>
Clara desidratada	12	1920,00 <sup>3</sup>
Gordura vegetal hidrogenada	8	345,56 <sup>2</sup>
Total	100	3816,61

Fonte:

- 1- Fax/Jornal – CERAT/UNESP (2000)/Botucatu-SP
- 2- Supermercados JaúServe/Botucatu-SP
- 3- Mizumoto Alimentos/SP

O custo de processamento de 1 tonelada de massa de pão sem glúten (Quadro 23) totaliza R\$ 3816,61 estimados. A unidade de pão sem glúten de 150g custará por volta de R\$ 0,57, já o custo de processamento de massa de pão francês custará por volta de R\$ 570,00 aproximadamente (Quadro 24), neste sentido há um custo menor para produzir pão francês comercial sendo que ocorre oscilação de preços em nível de mercado entre R\$ 0,09 e R\$ 0,13.

**Quadro 22:** Custo de processamento de 1 tonelada de massa para pão francês

INGREDIENTES	PORCENTAGEM (%)	CUSTO EM TONELADA
Farinha de trigo	95	532,00
Sal refinado	2	10,00
Fermento biológico fresco	1	8,00
Melhorador	2	20,00
<b>Total</b>	100	570,00

Fonte: Informações cedidas por MAXPÃO - Padaria / Botucatu - SP (estes valores refletem estritamente o custo dos ingredientes comprados separadamente e em seguida misturados)

Segundo os resultados provavelmente a elevação do preço estimado do pão sem glúten se deva ao preço dos ingredientes, especialmente a clara de ovo desidratada, embora os demais ingredientes possuam preços competitivos em nível de mercado.

### 4.3.2 Índice de Aceitabilidade

**Quadro 23:** Resultados da análise univariada para índice de aceitabilidade de pão sem glúten para duas questões

VALORES	QUESTÃO 1	QUESTÃO 2
Mínimo	5	1
Máximo	9	4
Média	7,76	3,69
Mediana	8	4
Moda	8	4
Coefficiente de aceitação	86,22%	92,25%

Segundo Teixeira *et al.*, (1987) a determinação do índice de aceitabilidade através do teste de amostra única proporciona discriminações e precisão tão perfeitas quanto os métodos de estímulos constantes, dizem que a avaliação pode obedecer uma escala numérica pré-estabelecida ou indicar a presença ou ausência, assim como, a intensidade de determinado atributo. Dentre os métodos utilizados para predizer a preferência e aceitabilidade estão: ordenação, comparação pareada e escalas de avaliação conforme Teixeira *et al.*,(1987). A escala hedônica é flexível e apresenta uma faixa de aplicação muito ampla, desde que se avalie a situação com algum critério de preferência humana. Nos testes com a escala hedônica, as amostras podem ser apresentadas, simultaneamente em ordem ao acaso, ou método da amostra única, onde as amostras são servidas individualmente, em sucessão. Os resultados mostraram que o teste de amostra única com escala hedônica

respondeu ao objetivo de identificar o percentual de aceitabilidade do produto pelos consumidores (Quadro 23).

Os índices objetivos de aceitação mais comumente usados são: a quantidade de alimento consumido, frequência de escolha de um alimento entre alimentos competitivos e frequência de aquisição na área de mercado conforme Teixeira *et al.*,(1987). O índice de aceitabilidade é calculado tomando qualquer escala de avaliação e considerando-se como 100% o máximo de pontuação alcançada pelo produto que está sendo testado, e para que um produto seja considerado como aceito, em termos de suas propriedades sensoriais, é necessário que obtenha um índice de aceitabilidade de no mínimo 70%. O Quadro 23 apresenta os coeficientes de aceitação das questões 1 (86,22%) e 2 (92,25%) com valores superiores ao mínimo considerado pelos pesquisadores citados. Os valores mínimo (2. Desgostei muito) e máximo (9. Gostei extremamente) das questões 1 e 2 (1. Nunca compraria e 4. Compraria sempre que tivesse oportunidade) mostraram os limites das respostas dos consumidores. Na maioria das respostas a média, a mediana e moda apresentaram valores ascendentes tanto para a questão 1 (7,76 ; 8,00 ; 8,00) quanto para a questão 2 (3,69 ; 4,00 ; 4,00) respectivamente.

#### **4.3.3 Avaliação de Cor de Crosta e Miolo**

A cor muito escura resulta de temperatura do forno muito alta ou excesso de cozimento conforme observado por El-Dash, *et al.*, (1982). Pylar (1988 a) considera que a cor é marcadamente afetada pelo nível de açúcar residual presente na massa, que deriva da fermentação e da atividade amilolítica.



Os resultados apresentaram pães com crosta dourada escura provavelmente devido a temperatura utilizada (220°C por 30 minutos) para o assamento e a presença de açúcar concordando com os autores. A equivalência em escala Pantone dos dados observados ficaram assim apresentados: miolo - pantone 4685 C e crosta - pantone 463 C.

#### 4.3.4 Avaliação Calorimétrica

**Quadro 24:** Energia bruta das calorias fornecidas nas amostras de pães sem glúten.

AMOSTRAS	PESO	CAL/G
A	0,5482g	3232,88
B	0,5633g	2825,25
C	0,5636g	3305,23
D	0,5672g	3346,01
Média	0,5605g	3117,34

Para cada 100g do produto tem-se, em média, 311,73 Kcal.

Segundo os resultados obtidos a energia bruta tem um comportamento semelhante ao da energia metabolizável, porém, com teores mais elevados devido a forma pela qual a mesma é calculada (Quadro 24).

**Quadro 25:** Tabela nutricional de pão sem glúten

Componentes	Média (g/100g)
Carboidratos	51,65
Proteínas	7,94
Lipídios	0,75
Minerais	1,58
Fibras	2,12
Valor calórico total (Kcal/100g)	245,12

A energia metabolizável foi calculada a partir dos dados de composição química das amostras de pão sem glúten em 3 repetições. No cálculo foi usado o fator de Atwater, ou seja, 4, 9 e 4 Kcal/g para proteína, lipídeos e carboidratos e os resultados expressos em Kcal/ 100g da amostra conforme pode ser observado no Quadro 25.

Anderson *et al.*,(1986) e Farias *et al.*,(2000) consideram como energia metabolizável somente os constituintes químicos digeríveis e absorvidos pelo organismo. Assim, os valores encontrados são relativamente menores do que os encontrados pela energia bruta confirmando os resultados expressos no Quadro 25. Em relação ao pão francês que contém 269,00 Kcal/100g dados apresentados por Franco (1996) o pão sem glúten apresentou em sua tabela nutricional teores menores (Quadro 25), isto amplia a discussão sobre o potencial dietético e funcional deste produto.

#### 4.4 Discussão

Segundo Escouto *et al.*, (1999 a) o farelo de mandioca foi avaliado como fonte de fibras na formulação para pão sem glúten (25%) resultando em um pão com algumas células de gás sem uniformidade, miolo mais seco e de cor escura. Já Escouto *et al.*, (2000a) ao pesquisarem a fibra de trigo sem glúten (55%) observaram um produto com alveolação mais definida, com pontos de gomosidade no miolo, uma textura grosseira e uma crosta muito endurecida não apresentando cor, aroma e gosto de pão. Por apresentarem estas características não responderam ao experimento e foram eliminados. Nos resultados obtidos do presente trabalho, também houve a preocupação com a fonte de fibra e optou-se por farinha de mandioca moída crua por possuir amido em sua composição química, além de fibra. Percebeu-se sua influência na maciez, cor, aroma e gosto do produto acabado.

Escouto *et al.*, (2000a) utilizaram amido pré-gelatinizado a 10%, pois quando se faz escaldamento o amido é geleificado. Tentou-se colocar o amido pré-gelatinizado para eliminar o processo de escaldamento que é complicado. O amido pré-gelatinizado caracterizou um produto com crosta excessivamente dura ao final do forneamento tornando desaconselhável seu uso no experimento.

O teor de fermento biológico fresco foi aumentado de 1%, (Escouto *et al.*, 1999b) para 4% (Escouto *et al.*, 2000b) para avaliar sua influência no volume. Os melhores resultados utilizaram fermento biológico fresco a 6% apresentando influência sobre as características da crosta, cor e estrutura das células do miolo, aroma e gosto e a textura após 3 e 24 horas do forneamento. Não houve influência sobre o volume.

O óleo de soja (10%) foi substituído por gordura vegetal hidrogenada a 10% segundo Escouto *et al.*, (2000a). Os autores observaram a influência do estado físico da gordura na estruturação da rede e concluíram que ela tem participação ativa na maciez, especialmente quando em presença de amido gelificado, farinha de mandioca e clara de ovo desidratada conforme relatado por Escouto *et al.*, (2000b). Embora a quantidade de gordura vegetal hidrogenada não tenha sido selecionada como variável a ser analisada para avaliar maciez os resultados obtidos confirmam as observações dos autores.

Segundo El-Dash (1986) os métodos de produção de massa indireto e direto são os mais utilizados em panificação sendo o de massa direta o mais adequado na produção de pão de trigo tipo francês e para diferentes tipos de produtos (baguete, cachorro- quente) obtendo-se resultados favoráveis. Na presente pesquisa não foram testados os diferentes métodos de panificação para verificar qual responderia melhor à massa sem glúten. Para utilizar o método indireto (esponja) a metodologia apresentada por CERAT/UNESP (1997) sofreria modificações, pois se por um lado as leveduras não suportariam a elevada temperatura no início do processo, por outro o amido se beneficiaria gelatinizando-se. Sendo assim, optou-se pelo método direto conforme El-Dash (1986) adaptado por CERAT/UNESP (1997) para produzir produtos do tipo pão à base de polvilho azedo e farinha de mandioca, diferenciando-se por apresentar escaldo (97°), e tempos de mistura e assamento da massa mais longos (15 minutos e 30 minutos) conforme apresentado por Escouto *et al.*, (2000 a, b).

Pylar (1988 a) e Dubois (1984) observaram que para o pão de trigo passada a etapa de mistura dos ingredientes houve incorporação de ar, obtendo-se uma massa homogênea de consistência adequada e estrutura uniforme, com oxigenação abundante, houve, também fornecimento de núcleos para formação de células de gás no miolo. Os resultados

obtidos confirmam que a massa de pão sem glúten aproxima-se do pão francês comercial por apresentar internamente núcleos de células de gás abundantes embora sem uniformidade comportando-se de modo semelhante com determinada elasticidade, rede estruturada e maciez conforme relatado por Escouto *et al.* (2000 b).

Com relação à proteína da clara desidratada (ovoalbumina) observou-se no presente trabalho que nos percentuais (4, 9 e 12%) utilizados houve grande influência na estrutura e estabilidade da massa fazendo uma ligação coesa com o polvilho azedo (39%) e a farinha de mandioca (26%). Estes dados estão em acordo com Horvath-Almassy (1989) que acreditam que a qualidade da proteína é tão importante quanto a quantidade numa formulação para pão.

Quanto a alveolação os resultados mostraram que o polvilho azedo tem a capacidade de produzir e reter gases bastando estar hidratado e receber tratamento térmico, proporcionando uma textura semelhante ao pão de trigo que requer leveduras para a produção de gás carbônico e glúten para formar células e reter gases, concordando com os resultados de Mestres *et al.*, (1996) onde o polvilho azedo foi usado para preparar produtos de expansão típica semelhante a do pão de trigo comum, e a maior expansão ocorrida durante a cocção garantiu uma estrutura alveolar no miolo. Discordando dos resultados obtidos por Hosoney (1984) onde somente produtos formadores de glúten é que são capazes de reter gases.

Nakamura & Park (1975) estudando algumas propriedades físico-químicas da fécula fermentada da mandioca observaram que a fermentação, além de conferir sabor e odor característicos, causa alterações em suas propriedades físico-químicas. Observaram que a fécula fermentada (polvilho azedo) é mais solúvel e apresenta maior absorção de água formando uma pasta menos viscosa que a fécula doce. Já Cardenas &

Buckle (1980) afirmaram que certas características como sabor, textura e expansão dos produtos panificados, não são obtidos quando se usa fécula natural (polvilho doce). O presente trabalho que utilizou o polvilho azedo, enquanto ingrediente fermentado, mostrou através dos resultados obtidos sua importância tecnológica na formulação do pão sem glúten devido a sua capacidade de expansão.

Os resultados mostraram que é possível fazer pão sem glúten utilizando-se polvilho azedo a 39% em relação ao total dos demais ingredientes. Escouto *et al.*,(1999b) conseguiram elaborar pão sem glúten com 48% de polvilho azedo apresentando miolo sem alveolação definida e muita gomosidade, crosta endurecida embora de cor, aroma e sabor próprios de pão. Shen *et al.*,(1998) produziram pães com 80% de polvilho azedo acrescidos de 20% de farinha de soja.

Eggleston *et al.*, (1992) em estudo sobre a elaboração de pães alternativos de farinha de mandioca fortificada com farinha de soja, empregaram clara de ovo como aditivo, obtendo resultados de aumento da quantidade de ar retida pela massa no estágio de mistura e a quantidade de gás retido com 60 minutos de fermentação. Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que a clara de ovo desidratada foi empregada na formulação como ingrediente e não como aditivo, neste produto se apresentou com efeito redutor do processo de gelatinização do amido o que melhorou a textura do miolo e mostrou ser eficiente ligante formando rede estruturada. Bartinick *et al.*, (1986), também observaram a formação de rede utilizando albumina (2 – 4%). Segundo Escouto *et al.*, (2000b) as quantidades de clara desidratada variaram de 4 a 12% no peso total da formulação, mas o melhor pão utilizou 12%.

Na presente pesquisa o material utilizado na formulação apresentou melhor estabilidade com a mistura de clara de ovo desidratada (12%) e gordura vegetal

hidrogenada (8%) o que garantiu um aumento do volume. Eggleston *et al.*, (1992) também observaram que a utilização da clara de ovo associada a margarina aumentou a estabilidade da massa produzindo o melhor volume.

Nos resultados obtidos observou-se que, a farinha de mandioca (26%) e polvilho azedo a 39% apresentaram a propriedade de formar gel mais coesivo quando hidratados com tratamento térmico e melhoraram a consistência da massa tornando-a mais macia conforme já observado por Escouto *et al.*, (1999 a,b) e. Eggleston *et al.*, (1992) pesquisando o uso de farinha de mandioca com farinha de soja observaram a formação de gel, porém estes usaram aditivos como: goma xantana, clara de ovo e margarina para dar estabilidade a massa.

Nos resultados obtidos o fermento utilizado no produto nas percentagens de 2%, 4% e 6% não foi o responsável pelo aumento do volume, mas conferiu aroma e gosto de pão. O fermento quando associado a maior quantidade de clara desidratada melhorou a estrutura das células de gás. Kim & De Ruiter (1969) consideraram que a qualidade do pão de amido de mandioca e farinha de soja depende da absorção de água da farinha, do tamanho do misturador e da velocidade de produção de gás da massa, porém estes não discutiram se o fermento exerce ou não uma influência na estrutura das células de gás.

Na formulação do melhor resultado houve um controle na quantidade de água que esteve em torno de 39% para o escaldo e o início do processamento da massa e 11,7% para ativar o fermento, neste sentido a água favoreceu a propriedade tecnológica da clara desidratada de uniformizar o produto. Segundo Escouto *et al.*, (1999 a,b e 2000 a,b) em trabalhos anteriores mostraram como o controle da água foi importante para manter a estabilidade da massa durante a mistura onde houveram perdas desde a fase de fermentação

até o forneamento com percentuais entre 14 e 22% na relação massa crua / massa assada devido a necessidade do polvilho azedo de reter água para expandir. De modo semelhante Kim & De Ruitter (1969) observaram ao desenvolverem um pão de amido de mandioca e farinha de soja que sua qualidade dependeu da absorção de água da farinha.

Considerando os ingredientes utilizados na formulação observou-se que, a combinação de farinha de mandioca (26%) e polvilho azedo (39%) associados a clara desidratada (12%) conferiu melhor homogeneização e coesividade no produto.

#### **4.5 Considerações Gerais**

##### **1. Volume**

O melhor volume pode ser obtido com a combinação de clara e farinha de mandioca por volta de 12% e 20%, respectivamente. A quantidade de fermento não influenciou no volume.

##### **2. Cor da crosta**

Pães com melhor cor da crosta ocorrem na combinação 20% de farinha de mandioca e 12% de clara. A quantidade de fermento não influenciou na cor da crosta.



### 3. Características da crosta

As melhores características da crosta ocorrem com a combinação de fermento e farinha de mandioca por volta de 4% e 26%, respectivamente. A quantidade de fermento não influenciou nas características da crosta.

### 4. Cor do miolo

A melhor cor do miolo pode ser obtida para a combinação 5% de clara e 2% de fermento, respectivamente. A quantidade de farinha de mandioca não influenciou na cor do miolo.

### 5. Estrutura de células do miolo

A estrutura de células do miolo melhoram com a combinação de clara e fermento em torno de 12% e 6%, respectivamente. A quantidade de farinha de mandioca não influenciou na estrutura de células do miolo.

### 6. Aroma

O melhor aroma pode ser obtido com as combinações de fermento e farinha de mandioca que produzem os melhores resultados por volta de 6% e 20% ou 2% e 26%, respectivamente. A quantidade de clara desidratada não influenciou no aroma.

## 7. Gosto

O gosto dos pães melhora com a combinação de fermento e farinha de mandioca por volta de 2% e 26%, respectivamente. A quantidade de clara não influenciou no gosto.

## 8. Textura após 3 horas de forneamento

A melhor textura do miolo dos pães sem glúten pode ser obtida na combinação de fermento e clara por volta de 2% e 5%, respectivamente. A quantidade de farinha de mandioca não influenciou na textura após 3 horas de forneamento.

## 9. Textura após 24 horas de forneamento

A melhor textura do miolo do pães sem glúten pode ser obtida na combinação de fermento e farinha de mandioca por volta de 6% e 20%, respectivamente. A quantidade de clara não influenciou na textura após 24 horas de forneamento.

## 5 CONCLUSÕES

Não foi possível detectar uma única formulação que resultasse na melhor performance com relação a todas as características avaliadas. Porém, os resultados indicaram uma direção para a obtenção da melhor formulação. A formulação com polvilho azedo 39%, leite em pó 3%, açúcar refinado 5%, sal 1%, farinha de mandioca 26%, fermento biológico fresco 6%, clara desidratada 12% e gordura vegetal hidrogenada 8% mostrou ser um meio termo considerando todas as características. Os pães com esta formulação apresentaram miolo compacto e elástico, leve gomosidade, alvéolos sem uniformidade e uma rede estruturada, aroma e sabor de pão.

O melhor resultado obtido foi avaliado através do índice de aceitabilidade, calorimetria, cor e avaliação energética e econômica.

A avaliação econômica e energética mostrou que o produto apresenta um valor elevado devido ao custo de seus ingredientes, especialmente clara de ovo desidratada, em relação ao pão francês comercial.

A avaliação calorimétrica mostrou que as calorias fornecidas pelo produto são menores em relação as fornecidas pelo pão francês comercial.

A avaliação de cor do melhor resultado apresentou semelhanças com o pão francês sendo mais escura no miolo e na crosta.

A clara desidratada influenciou o volume, a cor da crosta, a cor do miolo e estrutura de células do miolo.

A farinha de mandioca influenciou o volume, a cor e a característica da crosta, o aroma e gosto, e a textura após 24 horas após o forneamento.

O fermento influenciou as características da crosta, cor e estrutura das células do miolo, o aroma e gosto, e a textura após 3 e 24 horas de forneamento.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

ACS, E. , KOVACS, Z. , MATUZ, J. Bread from corn starch for dietetic purposes. I. Structure formation. Szeged, *Cer-Res-Communications*. v.24, n.4, p.441-49, 1996 a.

ACS, E. , KOVACS, Z. , MATUZ, J. Bread from corn starch for dietetic purposes. II. Formation of the visual and technological properties. Szeged, *Cer-Res-Communications*. v.24, n.4, p.451-59, 1996 b.

AKOBUNDU, E.N.T., UBBAONU, C.N., NDUPUH, C.E. Studies on baking potential of non wheat composite flours. *J. Sci. Technol.(Peshawar)*, v.25, n.4, p.211-4, 1988.

AMBROSE, H.W., AMBROSE, R.P. *A handbook of biological investigation*. Winston-Salen: Hunter, 1977. 108p.

---

<sup>1</sup> UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agronômicas. Normas para a elaboração de dissertações e teses. Botucatu, 1997. 35p.<sup>1</sup>

- AMEND, T., BELITZ, H.D. Microstrutural studies of gluten and hypotesis on dough formation. *Food Struct.*, v.10, n.4, p.277-88, 1991.
- ANDERSON, J.W., ANDERSON, L.A. , DIBBLE, M.V. , TURKKI, P.R. , MITCHELL, H.S. , RYNBERGEN, H.J. **Nutrição**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. c.10, p.179-87.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of the association official analytical chemists*. 12. ed. Washington, 1975. 1094p.
- ASTÉ, M. Evolution des propriétés physico-chimiques de l'amidon de manioc (Mcol 1522) au cours de la fermentation / Mise en évidence du rôle de l'acide lactique et de l'exposition au soleil sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre – Programme CEE/STD3 “Valorisation di manioc en Amérique Latine”, *CIRAD-SAR/CIAT*, 1994.
- AUGUSTO, A.L.P. *Terapia nutricional*. São Paulo: Atheneu, 1995. 260p.
- BALDO, B.A., WRIGLEY, C.N. Allergies to cereals. *Advances. Cereal Sci. Technol*; v.6, p.342-56, 1984.
- BARTINICK, M., JAKUBCZYK, T., DULINSKA, A., KACZYNSKA, E. Use of various raw materials in the manufacture of gluten-free bread. *Przegl. Piekarski e Cukierniczy*, v.34, n.3, p.6-9, 1986.
- BARTLEY, S.H. Taste and smell perceptions. In: *PRINCIPLES OF PERCEPTION*. New York. c.14, p.379-84, 1969.
- BERNARDIN, J.E. , KASARDA, D.D. The microstructure of wheat protein fibrils. *Cereal Chem*; v.50, p.736, 1973.

- BOURSIER, B. Applications alimentaires des amidons modifiés. In: INDUSTRIES ALIMENTAIRES ET AGRICOLES, "Les additifs alimentaires", n.9, p.583-92, 1994.
- BRADY, P.L. , MAYER, S.M. Correlations of sensory and instrumental measures of bread texture. *Cereal Chem.*, v.62, n.1, p.70-2, 1985.<sup>2</sup>
- BRUMMER, J-M. Hydrocolloids for bread manufacture. *Getreid. Mehl. Brot*; v.31, n.31, p.296-99, 1977.
- CAMARGO, C. , COLONNA, P. , BULEON, A. , RICHARD-MOLARD, D. Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) starch: polvilho azedo. *J. Sci. Food. Agric.*, v.45, p.273-89, 1988.
- CARDENAS, O.S. , DE BUCKLE, T.S. Sour cassava sour starch production: a preliminary study. *J. Food Sci.*, v.45, p.1509-28, 1980.
- CARRINGTON, J. , STYLES, M. Gluten-free diets: in the advice adequate? *N. Z. Dietetic Assoc*; v.43, n.2, p.70-4, 1989.
- CARVALHO, E. P. Polvilho azedo: aspectos físico, químicos e microbiológicos. *Pesqui. Agropec. Bras*; v.31, n.2, p 129-37, 1996.
- CASIER, J.P.J. , SOENEN, M. Die wasserunlöslichen pentosane aus roggen und weizen und ihr einfluss auf die backwerte. *Getreide Mehl. Brot*; v.41, p. 46, 1967.
- CASIER, J.P.J. , PAEPE, G. de , BRUMMER, J-M. Einfluss der wasserunlöslichen weizen- und rodden-pentosane auf die backergen-schaften von weizen-mehlen und anderen rohstoff. *Getreide Mehl. Brot*; v.27, p.36, 1973.
-

CASIER, J.P.J. , PAEPE, G. , WIELEMS, H. , GOFFINGS, G. , NOPPEN, H. Bread from starchy tropical crops. Bread production from pure millet and sorghum flours, using cereal endosperm cell-wall-pentosan as a universal baking factor. *Tropical Products Institute Conference Papers*. p.127-131, 1977.

CERAT/UNESP. Relatório do Projeto PPI: Ministério da Ciência e Tecnologia. Anexo 19, 1997.

CEREDA, M.P. *Alguns aspectos sobre a fermentação de mandioca*. Botucatu, 1973. 89p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas, Universidade Estadual Paulista.

CEREDA, M.P. *Estudos físico-químicos da esterilização e da fermentação de fécula de mandioca*. Botucatu, 1981. 155p Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas, Universidade Estadual Paulista.

CEREDA, M.P. Tecnologia e qualidade do polvilho azedo. *Inf. Agropec*; v.13, n.145, p.63-8, 1987.

CEREDA, M.P. , LIMA, V. A. Aspectos sobre a fermentação da fécula de mandioca. In: JORNADA CIENTÍFICA DA ASSOCIAÇÃO DOS DOCENTES DO “CAMPUS” DE BOTUCATU, UNESP, 10, Botucatu. *Anais*. 1981.

CEREDA, M.P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: \_\_. *Industrialização da mandioca no Brasil*. São Paulo: Paulicéia., p.12-7, 1994.

Produtos Agropecuários, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, s.d. 38p. (Apostila de aula).



- CEREDA, M.P., NUNES, O.L.G. S. Effect of ultraviolet radiation on the functional properties of the cassava starch treated with lactic acid. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL ROOT AND TUBER CROPS, 3, 2000 (Trivandrum), Thiruvananthapuram. *Anais*: Thiruvananthapuram. p.76.
- CERVETTO, J.L. Doença celíaca. In: PENNA, F.J.;WHEBA, J.; FAGUNDES NETO, V. *Gastroenterologia pediátrica*. São Paulo: Medsi, 1983 ,cap. 27, p.198-08.
- CHRISTHIANSON, D.D. Bread foods fortified with vegetable protein. *Bakers Dig.*, v.50, n.3, p.34-6, 1976.
- COCHRAN, W.G. , COX, G.M. Experimental designs. New York: Jonh Wiley, 1964. p.335-70.
- De RUITER, D. Composite flours. *Adv. Cereal Sci. Technol*; v.2, 349-85, 1978.
- DRAPER, N.R. , SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley. 1966, 407p.
- DUBOIS, D. What is fermentation? It's essential to bread quality. *Baker's Dig*. v.10, p.11-4, 1984.
- DUFOUR, D. , BRABET, C. , ZAKHIA, N. , CHUZEL, G. Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc. In: AGBOR EGBE, T., BRAUMAN, A. GRIFFON, D. , TRÈCHE, S. *Transformation Alimentaire du Manioc*. Paris: ORSTOM, 1995. p.399-17.
- DUPRAT, F. , GALLANT, D. , GUILBOT, A. , MERCIER, C. , ROBIN, J.P. L'amidon. In: DUPRAT, F. , GALLANT, D. , GUILBOT, A. , MERCIER, C. , ROBIN, J.P. Polymères végétaux: Polymères pariétaux et alimentaires non azotés. *Coste, C.* Ed. Gauthier Villar; p. 77-231, 1984.

- EL-DASH, A.A. The role of free amino acids and primary amino groups in production of bread aroma stimuli. Kansas University State. Thesis, 1969.
- EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. *Cereal Chem.*, v.55, p.437-47,1977.
- EL-DASH, A.A. Análises das perspectivas de um programa para a substituição parcial de farinha de trigo por sucedâneos de produção nacional. *DOC. CTAA / EMBRAPA*, n.4, 1983.
- EL-DASH, A.A. Fundamentos da tecnologia de panificação. Tecnologia agroindustrial. São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia., 1986, 347p.
- EL-DASH, A.A. Molecular structure of glúten and viscoelastic properties of dough: a new concept. *In: Brazilian Congress of protein*,1, Proceedings:p.511-30, 1991.
- EL-DASH, A. Tecnologia de farinhas mistas. Brasília. EMBRAPA-SPI: 1994. 88p.
- EGGLESTON, G. , OMOAKA, P.E. , IHEDIOHA, D. O. Development and evaluation of products from cassava flour as new alternatives to wheaten breads. *J. Sci. Food Agric.* v.59, n.3, p.377-85, 1992.
- ESCOUTO, L.F.S. , CEREDA, M.P. *Ajustes de formulação para pães sem glúten*. In: I SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA. UNESP, 1, 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: FCA, UNESP, 1999a , p.251-6.
- ESCOUTO, L.F.S. , CEREDA, M.P. *Ajustes de formulação para pães sem glúten de polvilho azedo*. III Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. UNICAMP. Campinas, n.463, p.133, 1999b.

- ESCOUTO, L.F.S. , CEREDA, M.P. *Use of fermented cassava starch in the development of a formulation for bread without gluten*. ISTRC 2000. Twelfth symposium of the international society for tropical root crops. Japan. 2000a.
- ESCOUTO, L.F.S. , CEREDA, M.P. Utilização de polvilho azedo no desenvolvimento de formulação para pão sem glúten. ANAIS DO XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. p. 11.98, 2000b.
- EVERY, D. , GERRARD, J.A. , GILPIN, M.J. , ROSS, M. , NEWBERRY, M.P. Staling in starch bread: the effect of gluten additions on specific loaf volume and firming rate. *Starch/Stärke*, v.50, p.443-6, 1998.
- EWART, J.A.D. A modified hypothesis for the structure and rheology of glutelins. *J. Sci. Food. Agric.* v.23, p.687-99, 1972.
- FARIAS, M. A. ; PEREIRA, S. M. N. ; MOURA, M. R. L. Avaliação do valor calórico total de bolachas tipo “cracker”. ANAIS DO XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. p.7.4, 2000.
- FRANCISCHI, M.L. *Avaliação química, nutricional, biológica e reológica das farinhas de trigo sarraceno (Fagopyrum esculentum) com e sem prolamina de seu emprego na alimentação de pessoas portadoras de doença celíaca*. Piracicaba, TESE (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo 101p. 1981.
- FRANCISCHI, M.L. Doença celíaca. *Chocotec*. Campinas, v.4, n.1, p.6, 1998.
- FRANCO, G. *Tabela de composição química de alimentos*. Atheneu, p.138, 1996.

- FREITAS, R.E. , STERTZ, S.C. , WASZCZYNSKYJ, N. Viabilidade da produção de pão, utilizando farinha mista de trigo e mandioca em diferentes proporções. *Bol.CEPPA( Centro de Pesquisas Agropecuárias do Paraná)*, Curitiba, v.15, n.2, p.197-8, 1997.
- GARRUTI, R.S. O órgão do sentido do gosto. *Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos*. v.2, p.89-6, 1964.
- GREENWOOD, G.T. , EWART, J.A.D. Hypothesis for the structure of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough. *Cereal Chem*, v.52, p.146, 1975.
- GRONEVER, K.J. , ORLOWSKI, G. , WISCHNEWSKI, C. , KAMP, K. Studies on quality of gluten-free breads made from flour premixes. III. Comparative sensory evaluations of gluten-free breads. *Ernahr.-Umsch.*, v.35, n.2, p.39-43, 48, 1988.
- GRONLUND, B.M. Our daily bread-not so simple for people suffering from coeliac disease. *Livsmedelsteknik*, v.32, n.12, p.10-1, 1990.
- HART, M.R. , GRAHAM, M.G. , MORGAN, A.I. Bread from sorghum and barley flours. *J. Food. Sci*, v.35, p.661-5, 1970.
- HOLUB, S. Development of gluten free extruded bakery products. *Ernaehrungsforschung*, v. 14, p.208-9, 1990.
- HORVATH-ALMASSY, K. Investigation of additivity of flour characteristics in two component wheat flour mixtures. *Acta Aliment.*, v.18, n.1, p.19-30, 1989.
- HOSENEY, R.C. Gas retention in bread doughs. *Cereal Foods World*, v.29, p.305-8, 1984.
- INQUÉRITO NACIONAL BRASILEIRO SOBRE DOENÇA CELÍACA – 1989. SPGPN Boletim Informativo, p. 6 –8, novembro, 1993.

- JOHNSON, J.A. , EL-DASH, A.A. Role of nonvolatile compounds in bread flavor. *J. Agric. Food. Chem.* v.17, p.4, 1969.
- JONGH, G. The formation of dough and bread structures. I- The ability of starch to form structures and the improving effect of gliceril monoestearate. *Cereal Chem*, v.30, p.140-52, 1961.
- JONGH, G. , SLIM, T. , GREVE, H. Bread without gluten. *Baker's Dig.*, v.42, p.24, 1968.
- KACZMARSKI, M. , KURZATKOWSKA, B. The contribution of some environmental factors to the development of cow's milk and glúten intolerance in children. *Rocz-akad-med-bialymst*, v.33, p. 151-65, 1988.
- KASARDA, D.D. , BERNARDIN, J.E. , NIMMO, C.C. Wheat proteins. *Adv Sci Technol.*, n.1, 1976.
- KIM, J.C. , De RUITER, D. Bread from non-wheat flours. *Food Technol.* n.22, p.867-8, 1968.
- KIM, J.C. , De RUITER, D. Bakery products with non-wheat flours – a review. *Baker's Dig.*, v.43, n.3, p.58-63, 1969.
- KIM, J.C. Bread, cakes and biscuits for gluten-free and low-protein diets. *Wageningen.* v.34, n.4, p.215-21, 1973.
- KOKKE, F.T. , VAN-ELBURG, R.M. , VAN-OVERBEEK, F.M. , HEYMANS, H.S. A new biscuit free of cow's milk , chicken egg protein, lactose and gluten for children with food hipersensitivity. *Ned. Tijdschr. Geneesk. D.*, v. 17, p.2549-52, 1994.

- KULP, K. , HEPBURN, F.N. , LEHMANN, T.A. Preparation of bread without gluten. *Baker's Dig.*, v.48, n.3, p.34-7, 1974.
- LEHNINGER, A.L. Biochimie “Bases moléculaires de la structure et des fonctions cellulaires”, *Flammarion Médecine*, p. 245-73, 1979.
- LEHNINGER, A.L. , NELSON, D.L. , COX, M.M. *Principles of biochemistry*. Worth Publishers, New York, n.11, p.308-09, 1993.
- LINDEN, G. , LORIENT, D. *Bioquímica agroindustrial*. Zaragoza: Acribia, 1996, p.285.
- MACHADO, L.M.P. *Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento*. Campinas, 186p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. 1996.
- MATZ, A.S. Testing of bakery products. In: BAKERY TECHNOLOGY AND ENGINEERING. West port. p.614-20, 1960.
- MCNAMARA, B.P. , DANKER, W.H. Odor and taste. In: BASIC PRINCIPLES OF SENSORY EVALUATION. ASTM, Philadelphia, p.13-6, 1968.
- MESTRES, C. , ROUAU, X. , ZAKHIA, N. BRABET, C. Physicochemical properties of cassava sour starch. In: DUFOUR, D. , O'BRIEN, BEST, R. (Ed.) Cassava flour and starch: progress in research and development. Cali: CIRAD/CIAT, 1996. c.17, p.143-49.
- MESTRES, C. , BOUNGOU, O. , ZAKHIA, N. , ROUAU, X. , FAURE, J. Comparison of the ability of fermented maize flour and cassava starch for making bread-like products. Baltimore, *AACC Annual Meeting*. 1996.

- MESTRES, C. , ZAKHIA, N. , DUFOUR, D. Functional and physicochemical properties of sour cassava starch. In: FRAZIER, P.J., RICHMOND, P., DONALD, A .M. Starch: Structure and ACS, E. ; KOVACS, Z. ; MATUZ, J. Bread from corn starch for dietetic purposes. I. Structure formation. Szeged, *Cer-Res-Communications*. v.24, n.4, p.441-49, 1996a.
- MESTRES, C., ROUAU, X. Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch. *J. Sci. Food Agric.*, v.74, p. 147-55, 1997 a .
- METCALFE, D.D. Food hipersentivity. *J. Allergy Clin. Imunol*, v. 73, p. 749-61, 1984.
- NAKAMURA, I.M. , PARK , Y.K. Some physico-chemical properties of fermented cassava starch (“polvilho azedo”). *Die Stärke*, v.27, n.9, 295-97, 1975.
- NISHITA, K.D. , ROBERTS, R.L. , BEAN, M.M. Development of yeast-leveaned rice-bread formula. *Cereal Chem*, v.53, p. 626-35, 1976.
- NUNES, O. L. G. S. *Efeito da radiação ultravioleta sobre as propriedades funcionais da fécula de mandioca tratada com ácido láctico*. 1994. Dissertação ( Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- NUNES, O.L.G.S. Otimização de parâmetros de tratamento de radiação ultravioleta em fécula de mandioca modificada com ácido láctico. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais, UNESP, 1996. 37p. (Relatório n. 1 apresentado à FAPESP).
- NUNES, O.L.G.S. Otimização de parâmetros de tratamento com radiação ultravioleta em fécula de mandioca modificada com ácido láctico. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais, UNESP, 1999. ( Relatório Final apresentado à FAPESP).

- PYLER, E.J. The mixing process in: Baking: science & technology, 3 ed. Kansas, *Sosland P. C.*, v.2, p.589-614, 1988a.
- PYLER, E.J. Dough fermentation in: Baking: science & technology, 3 ed. Kansas, *Sosland P. C.*, v.2, p.625-56, 1988b.
- PYLER, E.J. The baking process in: Baking: science & technology, 3 ed. Kansas, *Sosland P. C.*, v.2, p.740-69,1988c.
- PYLER, E.J. Physical and chemical test methods in: Baking: science & technology, 3. ed. Kansas, *Sosland P.C.*, v.2, p. 850-10,1988d.
- RANHOTRA, G.S. , LOEVE, R.J. , PUYAT, L.V. Preparation and evaluation of soy-fortified gluten-free bread. *J. Food Sci*, n.40, p.62-4, 1975.
- SALES, A.M. , VITTI, P. Estudo preliminar sobre as propriedades tecnológicas de panificação da farinha mista de trigo e amaranto. *Col. Ital*, v.17 n.1, p.49-53, 1987.
- SANDSTED, R.M. The function of starch in the baking of bread. *Bakers Dig.*, p.36-44, jun. 1961.
- SATIN, M. Bread without wheat. FAO. *Newslink*, 1989.
- SZCZESNIAK, A.S. Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.*, v.28, p.385, 1963.
- SHEN, H. , WANG, M. Fermentation technology for producing cassava sour starch. *Wuxi. Wuxi – Qin – Dax – Xue*. v.17, n.4, p.5-9, 1998.
- SHEN, H. , WANG, M. , NTAGENYERA, C. , MANIRAKIZA, C. Applying cassava sour food starch in bread making. *Wuxi. Zhon –Lian – Xue*. v.13, n.6, p.19-20, 1998.



- SILVA, D.J. Determinação de energia bruta. In: SILVA, D.J. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Viçosa: UFV, 1994. p.129-36.
- SILVA, C.E.M. Pão sem trigo. *Bol. CEPPA( Centro de Pesquisas Agropecuárias do Paraná)*, Curitiba, n. 8, p.2, 1990.
- SILVA, M.M.S. *Convivendo com a doença celíaca*. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1995, 183p.
- SILVA, E. B. T. *Tipagem de alelos HLA-classe II em pacientes brasileiros caucasoídes portadores de doença celíaca*. 1999. Tese (Mestrado em Medicina - Pediatria) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo. p. 1–10.
- SOLÁ, J.E. *Manual de dietoterapia do adulto*. Rio de Janeiro. Atheneu. 1988. p.231-6.
- TANABE, S. , ARAI, S. , WATANABE, M. Modification of wheat flour bromelain and baking hypoallergenic bread with added ingredients. *Biosci, Biotechnol, Biochem*. v. 60, p. 1269-72, 1996.
- TEIXEIRA, E , MEINERI, E.M. , BARBETA, P. A. *Análise sensorial de alimentos*. Florianópolis: UFSC, 1987. 180p.
- THIBAUT, J.F. , COLONNA, P. Propriétés fonctionnelles: pectines et amidon. *Cah l'ENSBANA*, n.6, p. 157-69, 1988.
- VANDERBILT, T. Pantone, The world's littest - know corporate giant, launches a consumer effort of a different color. *I.D. Magazine*, p.50-57, may, 2000.

- VENTURINI, W.G. *Fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja*. Botucatu, 1993. 233p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- VILPOUX, O ; CEREDA, M.P. ; CHUZEL, G. ; HENRY, G. Estudo financiado pelo projeto STD 3 da comunidade européia “Valorização dos produtos e sub-produtos derivados da mandioca”- Botucatu: *Centro de Raízes e Amidos Tropicais* , UNESP, 1994.
- VILPOUX, O. , CEREDA, M. P. , SILVA, A. P. P. O mercado de amido no Brasil. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais UNESP, 1996.
- VITTI, P. , PIZZINATTO, A. Pães de trigo, soja e mandioca. *Bol. Ital.*, n.6, p.189-203, 1975.
- VITTI, P. , PIZZINATTO, A. Emprego da farinha de raspas de mandioca pré-gelatinizada em pão e biscoito. *Bol. Ital.*, n.6, p.409-30, 1975.
- YLIMAKI, G. , HAWRYSH, Z.J. , HARDIN, R.T. , THOMSON, A.B.R. A survey of the management of the gluten-free diet and the use of gluten-free yeast breads. *J. Can. Dietetic Assoc.*, v.50, n.1, p.26-30, 1989.
- YLIMAKI, G. , HAWRYSH, Z.J. , HARDIN, R.T. , THOMSON, A.B.R. Response surface methodology in the development of rice flour yeast breads: sensory evaluation . *J. Food. Sci.*, v.56, p.751-5, 759, 1991.
- WINTZ, E. , KUNTZE, R. Specific features of the manufacture of dietetic bakery products for particular groups of consumers. Getreid Mehl Brot, v. 50, n. 4, p. 235-40, 1996.