

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA COMBINAÇÃO DO ASSAMENTO CONVENCIONAL E ENERGIA
DE MICROONDAS NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DE BISCOITO SEMI-
DOCE DURO**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ANA LÚCIA MEDEIROS BERNUSSI e aprovada pela Comissão Julgadora em 12.11.96.

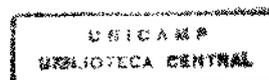
Campinas, 12 de novembro de 1996


PROF. DR. YOON KIL CHANG
Presidente da Banca

ANA LÚCIA MEDEIROS BERNUSSI
Engenheira de Alimentos

Prof. Dr. YOON KIL CHANG
Orientador

CAMPINAS - SP
1996



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

B458e

Bernussi, Ana Lúcia Medeiros

Efeito da combinação do assamento convencional e energia de microondas na qualidade tecnológica de biscoito semi-doce duro / Ana Lúcia Medeiros Bernussi, SP: [s.n.], 1996.

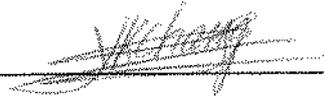
Orientador: Yoon Kil Chang

Dissertação (mestrado)-Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

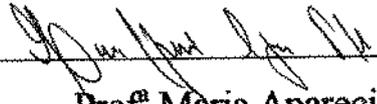
1. Microondas. 2. Biscoito. 3. Umidade. I. Chang, Yoon Kil. +
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	71/unicamp
	B458e
	29967
	284/97
C	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	01/05/97
N.º CPD	

BANCA EXAMINADORA



Prof. Yoon Kil Chang
(orientador)



Profª Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva
(membro)



Prof. Antonio Marsaioli Júnior
(membro)

Prof. Renato Cruz
(membro)

**Aos meus pais,
às minhas irmãs,
ao Adilson e
à Mariana**

AGRADECIMENTOS

- Ao professor Yoon Kil Chang pela orientação, conhecimentos, coerência e apoio, imprescindíveis ao desenvolvimento deste trabalho.
- Aos professores Antonio Marsaioli Júnior, Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva, Renato Cruz e Celina Raquel de Oliveira Camargo pelas sugestões, que contribuíram para a valorização deste trabalho.
- À Emerson Tegen, aluno de graduação de estatística, pela valiosa colaboração nas análises estatísticas.
- Ao professor Evandro Conforti pela colaboração.
- À CAPES pela bolsa de estudo concedida.
- À FAEP pelo auxílio financeiro na aquisição do aparelho de microondas.
- A todos os colegas do laboratório de Cereais, sempre companheiros e amigos.
- Às amigas Teresa e Cristina pelo apoio durante todo curso.
- Aos funcionários do laboratório Sr. José, Elena, Nilo e Keli, pela disposição e amizade.
- À minha mãe Beti, D. Lolita e Mariana, pelos esforços, que me ajudaram a executar o trabalho.
- À todos os que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
SUMMARY	ix
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
A. BISCOITOS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	3
1. DEFINIÇÃO	3
2. CLASSIFICAÇÃO	4
a. Pelo grau de enriquecimento e processamento	4
b. Pelo método de moldagem	4
3. BISCOITO SEMI-DOCE DURO	5
B. FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE TECNOLÓGICA DE BISCOITOS	7
1. INGREDIENTES	8
a. Farinha	8
b. Açúcar	10
c. Gordura	11
2. ETAPAS DO PROCESSAMENTO	12
a. Mistura	12
b. Descanso da massa	13
c. Laminação e Corte	14
d. Assamento	14
i. <i>Objetivos</i>	15
ii. <i>Etapas do processo de assamento</i>	16
iii. <i>Mecanismos de transferência de calor</i>	16
iv. <i>Implicações tecnológicas do processo de secagem</i>	18
e. Resfriamento	19
C. AQUECIMENTO POR ENERGIA DE MICROONDAS	20
1. DEFINIÇÃO E VANTAGENS	20
2. UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS EM ALIMENTOS	21
3. UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS EM PANIFICAÇÃO	22

4. COMBINAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS E ASSAMENTO CONVENCIONAL	22
III. MATERIAIS E MÉTODOS	24
A. MATERIAIS	24
1. MATÉRIA-PRIMA	24
2. EQUIPAMENTOS	24
B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS	25
1. ANÁLISES DA MATÉRIA-PRIMA	25
a. Análises químicas	25
<i>i. Composição centesimal da farinha</i>	25
b. Análises físicas	26
<i>i. Granulometria da farinha</i>	26
<i>ii. Granulometria do açúcar</i>	26
c. Análise físico-química	27
<i>i. Capacidade de retenção de água alcalina da farinha</i>	27
d. Análises reológicas da farinha	27
<i>i. Método do farinógrafo</i>	27
<i>ii. Método do extensógrafo</i>	27
<i>iii. Método do viscoamilógrafo</i>	28
2. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS	29
a. Formulação	29
b. Processo de mistura	30
c. Descanso da massa	30
d. Laminação	30
e. Corte	30
f. Assamento	31
<i>i. Amostra padrão</i>	31
<i>ii. Amostras teste</i>	31
g. Resfriamento	32
h. Embalagem	32
3. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE MICROONDAS	32
4. ANÁLISES DO PRODUTO	33
a. pH da massa crua	33
b. Umidade da massa crua	33
c. Umidade do biscoito	34
d. Gradiente de umidade do biscoito	34
e. Quantificação de fissura	34
f. Medidas instrumentais	34

i. <i>Textura</i>	34
ii. <i>Cor</i>	35
g. Perda de peso	35
h. Dimensões	35
i. <i>Diâmetro</i>	35
ii. <i>Espessura</i>	35
iii. <i>Fator de expansão</i>	39
iv. <i>Volume</i>	39
v. <i>Densidade</i>	39
i. Análise sensorial	39
i. <i>Teste de diferença</i>	39
ii. <i>Teste de aceitação</i>	40
j. Análise estatística	43
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
1. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA	44
a. Análises químicas	44
i. <i>Composição centesimal da farinha</i>	44
b. Análises físicas	46
i. <i>Granulometria da farinha</i>	46
ii. <i>Granulometria do açúcar</i>	46
c. Análise físico-química	47
i. <i>Capacidade de retenção de água alcalina da farinha</i>	47
d. Análises reológicas da farinha	47
i. <i>Características farinográficas</i>	47
ii. <i>Características extensográficas</i>	48
iii. <i>Características viscoamilográficas</i>	48
2. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS-1ª ETAPA	52
a. Condições de processamento	52
b. Avaliação da umidade global, gradiente de umidade quantificação de fissura	52
3. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE MICROONDAS	58
4. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS-2ª ETAPA	61
a. Condições de processamento	61
b. Avaliação da umidade global, gradiente de umidade e quantificação de fissura	61
c. Avaliação sensorial	65
i. <i>Teste de diferença</i>	65

d. Avaliação de cor	67
e. Avaliação de textura	67
5. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS-3ª ETAPA	72
a. Medidas físicas dos biscoitos	72
b. Avaliação sensorial	75
i. <i>Teste de aceitação e atitude</i>	75
V. CONCLUSÕES	78
VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	79
VII. BIBLIOGRAFIA	80
APÊNDICE 1	85

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: Composição centesimal da farinha.	45
TABELA 2: Características farinográficas da farinha.	49
TABELA 3: Características extensográficas da farinha.	50
TABELA 4: Características viscoamilográficas da farinha.	51
TABELA 5: Variáveis do processamento dos biscoitos fabricados por processo convencional e por associação de processo convencional com energia de microondas - 1ª etapa.	53
TABELA 6: Efeito da associação da energia de microondas ao processo convencional, na umidade, gradiente de umidade e porcentagem de quebra dos biscoitos - 1ª etapa.	54
TABELA 7: Análise de variância e estimativa do efeitos da potência e tempo sobre o gradiente de umidade de biscoitos fabricados por processo convencional associado à energia de microondas.	55
TABELA 8: Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre gradiente de umidade, umidade global e porcentagem de quebra e respectivos níveis de significância (p).	57
TABELA 9: Medidas para o cálculo da potência útil do microondas.	60
TABELA 10: Variáveis do processamento dos biscoitos fabricados por processo convencional e por associação de processo convencional com energia de microondas - 2ª etapa.	62
TABELA 11 Análise de variância para o gradiente de umidade de biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.	63
TABELA 12: Efeito da associação da energia de microondas ao processo convencional, na umidade, gradiente de umidade e porcentagem de quebra dos biscoitos-2ª etapa.	64
TABELA 13: Número de acertos para o teste triangular realizado entre biscoitos elaborados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas em potência média e alta.	66
TABELA 14: Análise de variância para luminosidade de biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.	68
TABELA 15: Medida de luminosidade nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.- 2ª etapa.	69

TABELA 16: Análise de variância para dureza medida nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.	70
TABELA 17: Medida de dureza nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas - 2ª etapa.	71
TABELA 18: Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre dureza e umidade e respectivos níveis de significância (p).	73
TABELA 19: Dimensões e perda de peso dos biscoitos padrão (assamento convencional) e amostra selecionada (assamento convencional em associação com microondas em potência média por 29 segundos) - 3ª etapa.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Proporção de gordura e açúcar associados a 100 partes de farinha para diversos biscoitos	6
FIGURA 2: Corte de biscoito para medida de gradiente de umidade.	36
FIGURA 3: Fissura típica em biscoitos.	37
FIGURA 4: Texture Analyser TA-XT2 sob as condições do teste.	38
FIGURA 5: Modelo da ficha do teste triangular.	41
FIGURA 6: Modelo da ficha dos testes de aceitação e atitude.	42
FIGURA 7: Relação entre gradiente de umidade e porcentagem de quebra.	59
FIGURA 8: Porcentagem de respostas do teste de aceitação.	76
FIGURA 9: Porcentagem de respostas do teste de atitude.	77

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o efeito da introdução de energia de microondas no assamento de biscoito semi-doce duro, no gradiente de umidade, incidência de quebra, qualidade sensorial, medidas instrumentais de cor e textura e medidas físicas de diâmetro, espessura, fator de expansão, perda de peso, volume e densidade.

Inicialmente foi utilizado um planejamento fatorial completo para os tempos de exposição em microondas de 15, 20, 30 e 40 segundos nas potências alta e média, após o assamento convencional dos biscoitos (240°C por 4 minutos), visando avaliar o comportamento do gradiente de umidade e umidade global dos mesmos.

A partir da análise do modelo ajustado ao primeiro fatorial selecionou-se um segundo plano fatorial com tempos de exposição de 23 e 29 segundos nas potências alta e média de microondas, para proceder às análises tecnológicas do produto. Os biscoitos resultantes destes tratamentos apresentaram redução significativa ($p < 0,05$) de gradiente de umidade e porcentagem de quebra, e não apresentaram diferença sensorial significativa em relação ao produto padrão. As análises de textura mostraram que todos os tratamentos são iguais entre si e significativamente menos duros que o padrão. Com relação a cor, os produtos submetidos em potência média (23 e 29 segundos) não diferiram significativamente do padrão enquanto que em potência alta (23 e 29 segundos) foram iguais entre si mas diferiram do padrão.

Os biscoitos assados em forno elétrico convencional a 240°C por 4 minutos e submetidos à energia de microondas por 29 segundos em potência média, apresentaram redução significativa no gradiente de umidade (de 2.16% para 0.88%) e na incidência de quebra (de 41.7% para zero). A medida instrumental de cor dos biscoitos não diferiu ($p < 0,05$) do produto padrão, e a textura (dureza) daqueles foi significativamente menor (1207.59g) comparada ao padrão (1601.35g). O valor de fator de expansão (D/E) para biscoitos padrão (11.3) foi significativamente maior do que o tratamento com microondas (10.7), mostrando que a energia de microondas exerce um efeito de encolhimento no produto. Com relação à perda de peso, os resultados evidenciaram que a retirada da umidade residual pela ação das microondas aumenta a perda de peso do produto (de 0.910 para 0.956). No entanto, a diferença de peso não foi suficiente para distinguir as amostras (padrão e microondas) com relação à densidade.

Portanto, concluímos que a introdução da energia de microondas no pós-assamento de biscoitos foi capaz de eliminar o problema de fissura do produto através da diminuição do gradiente de umidade dos mesmos, preservando sua qualidade sensorial e alterando muito pouco as propriedades físicas do produto.

SUMMARY

In this work, the effect of the introduction of microwave energy in the post-baking of hard semi-sweet biscuits, on humidity gradient, incidence of checking, sensory profile, instrumental measurements of colour and texture, and physical diameter, thickness, expansion ratio, loss of weight, volume and density was studied.

A complete factorial plan was used initially at 15, 20, 30 and 40 seconds with high and medium power of microwaves in the post-baking (240°C/4min) of biscuits, in order to evaluate the humidity gradient and global humidity.

Based on this first factorial adjusted model a second plan was selected at 23 and 29 seconds of high and medium microwave power exposure, in order to carry out a complete analysis of the products.

The resulting biscuits showed a significant reduction ($p < 0.05$) in the humidity gradient and percent of checking, and showed no significant sensory difference with respect to the standard product. The texture analyses showed no difference between the treatments, but all were less hard than the standard. With respect to colour, the products submitted to medium microwave power exposure (23 and 29 sec.) did not differ significantly from the standard, but those exposed to high microwave energy (23 and 29 sec.) did not differ from each other but were different from the standard.

The biscuits baked in a conventional oven (electrical heating) at 240°C/4min and subsequently dried with medium microwave power for 29sec, showed a significant reduction in the humidity gradient (from 2.16% to 0.88%) and in the incidence of checking (from 41.7% to 0%). The instrumental measurement of colour (L parameter) of the biscuits (combined process) was significantly ($p < 0.05$) equal to the standard sample and that of texture (hardness) was lower (1207.59g) than the standard (1601.35g).

The expansion ratio of the standard sample (11.3) was significantly higher than the combined process sample (10.7), showing a shrinkage effect due to the microwave energy. With respect to weight losses, the results showed us that the residual humidity removal by the action of microwaves increased the product weight loss (from 0.912 to 0.956g). However, the weight difference was not sufficient to differentiate the samples.

It was concluded that the introduction of microwave energy in the pot-baking of the biscuits could solve the checking problem through a decrease in the humidity gradient, without causing any sensory changes or notable alterations in the physical properties of the product.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente o homem vem manifestando preferência por produtos de fácil consumo, não perecíveis, e que sejam nutricionalmente ricos. Dentre estes, biscoitos se destacam por serem produtos assados leves, fáceis de serem deglutidos, apresentam uma vida de prateleira prolongada, além de constituírem fonte de carboidratos, sendo alguns tipos enriquecidos com vitaminas.

Uma variedade muito grande de biscoitos tem sido produzida, representando uma parcela considerável do mercado nacional de alimentos.

Existem dois tipos básicos de massas de biscoitos conhecidas como massas duras e massas moles.

As massas usadas para produção de biscoitos semi-doces (por exemplo Maria e maizena) pertencem a família das massas duras, as quais possuem uma rede de glúten bem desenvolvida, devido a hidratação das proteínas da farinha. Essas massas apresentam coesividade e propriedades elásticas marcantes, SOMERS (1974).

Durante o assamento convencional de biscoitos, os efeitos do calor induzem várias mudanças químicas e físicas no produto. As maiores mudanças químicas podem incluir formação de gás, desnaturação e coagulação de proteínas, gelatinização do amido, formação de crosta e reações de escurecimento (SMITH, 1966 apud TURHAN & OZILGEN, 1991). As maiores mudanças físicas incluem evaporação de água, expansão de volume e desenvolvimento de estrutura porosa. Estas mudanças dependem da temperatura e tempo de processamento. As alterações estruturais afetam a migração de água no produto, e portanto o comportamento durante a secagem depende das variações na temperatura de assamento.

Um biscoito assado apresenta conteúdo de umidade maior no centro em relação a superfície do produto (gradiente de umidade). Durante o armazenamento ocorre migração de umidade do interior para a superfície. Isto produz um "stress" mecânico nas camadas do biscoito e pode resultar em sua quebra espontânea, WADE (1987).

Existem, entretanto, fontes alternativas de energia capazes de produzir uma distribuição de umidade mais uniforme no biscoito assado, do que a convecção forçada, método convencional de assamento.

O uso de um processo de assamento combinando a fonte convencional com energia de microondas, pode ser uma solução para este problema, dado o princípio de aquecimento por microondas, por vibrações moleculares, associados a sua rapidez e eficiência.

Tendo em vista estas considerações, o presente trabalho tem como objetivo associar o uso de microondas ao assamento convencional de biscoitos, visando:

- minimizar a ocorrência de fissura dos mesmos através da diminuição do gradiente de umidade;
- preservar a qualidade tecnológica e sensorial do produto, permitindo o desenvolvimento adequado de cor, textura, sabor e estrutura (dimensões lineares).

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. BISCOITOS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

1. DEFINIÇÃO

Biscoito, a princípio, foi um termo usado para descrever um pão endurecido de dimensões reduzidas, que guardado durante muito tempo, se conserva sem danificar. Seu nome deriva do latim "bis coctus", ou do francês "biscuit", que significa duas vezes cozido, uma referência à prática de inicialmente assar o produto em forno quente e então transferi-lo a um forno mais frio (SMITH, 1972; WADE, 1988).

Os produtos conhecidos como biscoitos na Inglaterra são chamados de "cookies" e "crackers" nos Estados Unidos. A palavra "cookie" deriva do holandês "koekje" e significa bolo pequeno (CONCISE OXFORD DICTIONARY, 1975 apud WADE, 1988). "Crackers" foram assim chamados provavelmente devido ao som da quebra produzida quando os mesmos são mordidos (CAHN, 1969 apud WADE, 1988).

Normalmente a palavra biscoito é usada como um termo genérico, incluindo "biscuits", "cookies" e "crackers".

Uma especificação para biscoito foi desenvolvida por SMITH (1972). Para ser considerado um biscoito, o mesmo deve:

Ser a base de cereal - trigo, aveia, milho, cevada, soja, centeio, etc.;

•Conter menos que 5% de umidade. Se decorado com um produto que não cereal (creme, marshmallow, geléia, etc), a umidade contida na decoração não deve ser incluída nos 5%;

•Não ser considerado biscoito quando mais que 60% de seu peso total não for a base de cereal;

•Ser denominado biscoito se assim for chamado por costume, hábito ou tradição. Biscoito e bolacha podem ser considerados sinônimos.

2. CLASSIFICAÇÃO

Os biscoitos podem ser classificados de duas maneiras:

a. Pelo grau de enriquecimento e processamento

i. Biscoitos de massa dura

As massas duras são similares a massas de pão, mas de consistência muito mais dura. Assim como as massas de pão, elas apresentam propriedades visco-elásticas, e portanto uma rede tridimensional formada pela proteína da farinha de trigo durante a mistura e processos subsequentes, WADE (1988).

Neste tipo de biscoito, níveis baixos de gordura (11 a 20% sobre o peso da farinha) e açúcar (2 a 30% sobre o peso da farinha) são usados, caracterizando a consistência extensível e elástica da massa. Farinhas fracas, com conteúdo de proteína de 7 a 9%, são mais adequadas para a elaboração destes produtos. No caso de se utilizar farinhas fortes, é necessário aumentar o teor de gordura ou usar amido de milho para ajustar a força da farinha, SOMERS (1974).

ii Biscoitos de massa mole

As massas moles são semelhantes às formulações de bolo, mas com muito menos água. Nessas massas pouca ou nenhuma rede de glúten é desenvolvida durante a mistura, ao contrário, o procedimento de mistura é destinado a minimizar tal desenvolvimento, WADE (1988).

Este tipo de biscoito é rico em gordura (27 a 55% sobre o peso da farinha) e açúcar (30 a 50% sobre o peso da farinha) e uma menor quantidade de água é requerida para obter uma massa com consistência adequada. As massas perdem muito a sua coesividade e não tem elasticidade, WADE (1970).

b. Pelo método de moldagem

As características da massa em muitos casos determinam o método de moldagem empregado, algumas massas podem ser moldadas por uma variedade de métodos, cada qual podendo conferir não somente uma aparência diferente, mas também uma textura diferente ao biscoito.

De acordo com o método de moldagem, os tipos de biscoitos podem ser:

i. cortados por prensa ou estampados - neste tipo a massa laminada é transportada de forma contínua e é cortada por moldes que podem ter movimento de sobe e desce perpendicular à mesma ou oscilante, similar ao de um pêndulo;

ii. cortados rotativos - a moldagem é feita por um conjunto de rolos. A massa é colocada entre o rolo moldador e o rolo alimentador. O rolo moldador corta e estampa a massa através de cavidades ou crivos impressos de desenhos. Outro tipo de moldagem utiliza dois rolos consecutivos, onde o primeiro está gravado e é o que estampa, é o cilindro marcador, e o segundo é o rolo cortante.

iii. moldados rotativos - a massa é colocada em um cilindro alimentador, que a empurra para o cilindro gravado, também chamado rolo moldador. Das cavidades existentes no cilindro, as peças de massa são removidas através de uma lona extratora que por sua vez é comprimida por um cilindro especial de borracha;

iv. cortados por arame - a massa, antes de ser cortada, é formada por dois rolos corrugados, que giram no mesmo sentido e velocidade, empurrando-a contra uma matriz. A massa, saindo da matriz de forma contínua, é cortada por arame em unidades, que são depositadas sobre a esteira do forno que passa logo abaixo (VITTI *et al*, 1988);

v. depositados - a massa, muito mole, é colocada em um depósito com controlador de fluxo, sendo normalmente depositada em esteira não perfurada de aço (VITTI *et al*, 1988).

3. BISCOITO SEMI-DOCE DURO

Os biscoitos semi-doces fazem parte do grupo das massas duras, normalmente cortados por rolos rotativos. Algumas das variedades mais comuns são o Maria, maizena, manteiga e leite.

As proporções de gordura e açúcar associadas a 100 partes de farinha em biscoitos semi-doces podem ser visualizadas na Figura 1, WADE (1970).

A formulação básica de biscoito semi-doce duro é muito simples, contém poucos ingredientes: usualmente farinha, açúcar, gordura, xarope, sal, agente químico de crescimento e água.

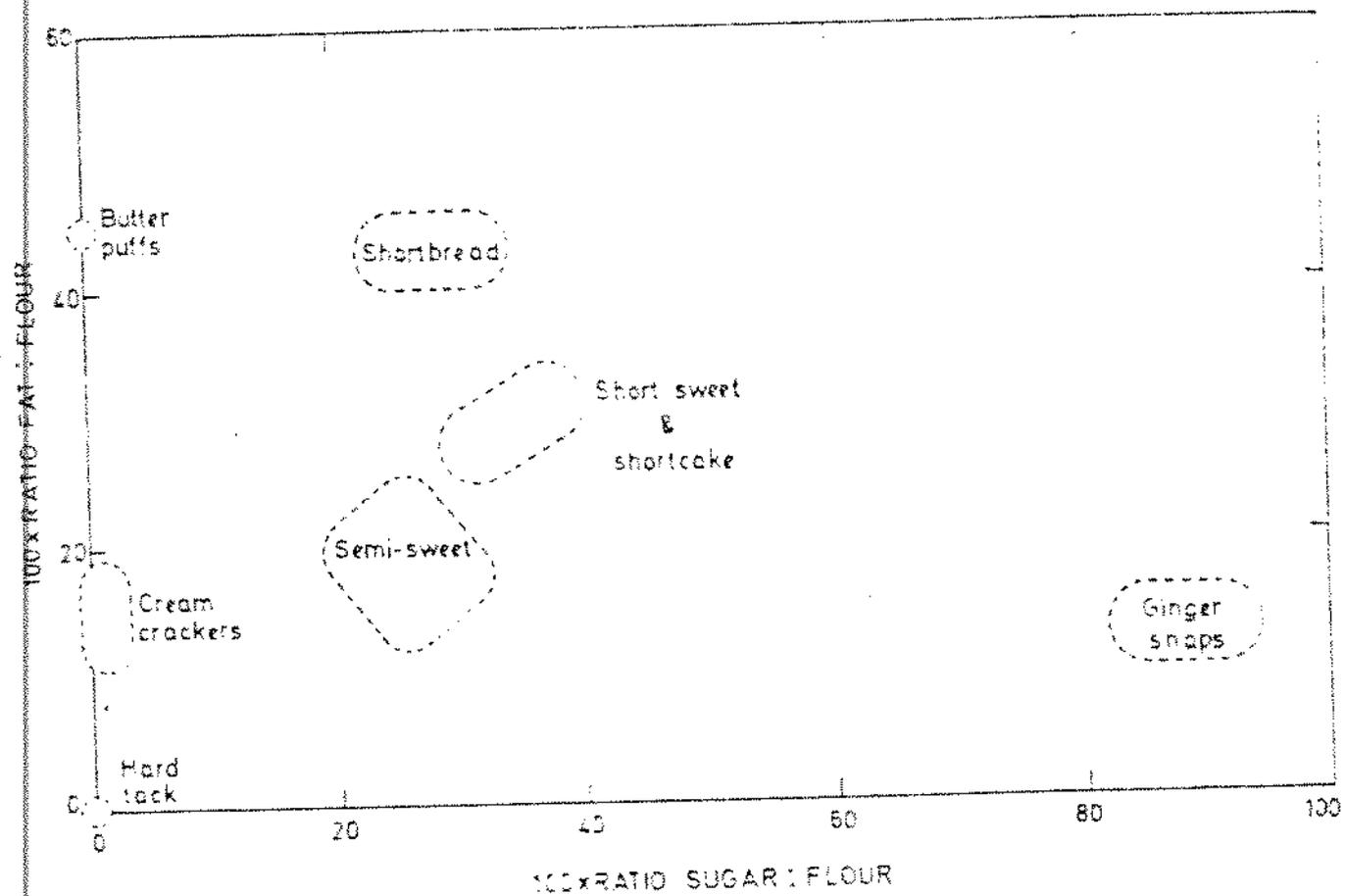


Figura 1: Proporções de gordura e açúcar associadas a 100 partes de farinha p/p em tipos comuns de massas de biscoitos.

A característica mais relevante destes produtos é um "flavour" relativamente sutil, que depende da adição de leite, xaropes e baunilha, ou outros aromas de fundo. Um baixo conteúdo de gordura na faixa de 15 a 22% sobre o peso da farinha, combinado com também baixas proporções de açúcar, resultando em um produto tenro e quebradiço, embora a dureza de sua textura seja maior que a maioria dos outros biscoitos doces, SOMERS (1974).

Durante a mistura das massas duras é formada a rede de glúten, e seu prolongado tempo estica e orienta as cadeias de glúten até um ponto onde quase toda elasticidade é destruída, SMITH (1972).

B. FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE TECNOLÓGICA DE BISCOITOS

As dificuldades experimentadas durante a produção de biscoitos são frequentemente atribuídas a variações nas propriedades da farinha. Embora os biscoitos semi-doces duros sejam mais susceptíveis a mudanças devido as propriedades da farinha do que a maioria dos outros biscoitos, a qualidade tecnológica do produto final depende sobremaneira da formulação, do desenvolvimento mecânico da massa, assim como do seu comportamento nas outras etapas do processamento, que devem ser otimizadas e devidamente controladas.

Os ingredientes principais e adicionados em maior proporção em formulações de biscoitos semi-doces são farinha, açúcar e gordura, além da água, que é posteriormente retirada durante o assamento. Os demais ingredientes são açúcar invertido, sal, agentes de crescimento, ácido láctico, sulfitos, leite em pó e aromas.

Algumas condições do processamento de biscoitos são padronizadas exclusivamente de acordo com as propriedades reológicas de cada massa. Isto é particularmente verdade no caso das massas duras, onde o comportamento da massa durante o assamento é governado pelas propriedades da rede de glúten formada e orientada durante os primeiros estágios do processamento, WADE (1970).

Tendo em vista estas considerações, serão relatadas a seguir as funções dos ingredientes principais e das etapas do processamento, com o objetivo de evidenciar a importância destes fatores para a qualidade tecnológica de biscoitos.

1. INGREDIENTES

a. Farinha

A farinha, o ingrediente principal de todos os biscoitos, é obtida da moagem de trigos moles de inverno, de variedades branca e vermelha (PYLER, 1973 & ALCHELE, 1981). Geralmente, farinhas de trigo mole apresentam glúten fraco, baixo conteúdo de proteína, baixa absorção de água, granulometria fina e menos amido danificado, em relação às farinhas de trigo duro.

A espécie de trigo mais adequada à produção de biscoitos é a *Triticum vulgare* (PYLER, 1973). No Brasil as variedades moles são as basicamente cultivadas. O conteúdo de proteína destes trigos é relativamente baixo (8.0 a 11.0%), quando comparado ao dos trigos duros (11.0 a 14.0%), ZELNY(1978).

A principal propriedade da farinha é a força. Farinha fraca é normalmente aceita como uma farinha de baixo conteúdo de proteína (SMITH, 1972). Usualmente esta proteína é relacionada ao glúten, o qual confere as características visco-elásticas de massas de biscoito duro.

Os biscoitos semi-doces duros devem ser produzidos com farinhas fracas e médias, para minimizar problemas de retração de massas, durante as etapas do processamento pós-mistura (TANILLI, 1976).

YAMAZAKI (1956,1959) & ABOUD *et al* (1985b) em suas pesquisas mostraram que massas de "cookies" com trigo duro cessam a expansão mais cedo (a uma temperatura mais baixa) do que aquelas com farinha de trigo mole. ABOUD *et al* (1985b) concluíram que o fator responsável por este comportamento era a mudança de viscosidade a temperaturas mais baixas para farinha de trigo duro quando comparada com trigo mole. Segundo DOESHER *et al* (1987) esta mudança de viscosidade está relacionada com a expansão do glúten para formar uma matriz contínua, que fixa a estrutura, cessando a expansão.

As reações físico-químicas das proteínas em massas de pão e em biscoitos são afetadas não somente pelos parâmetros de qualidade inerentes às proteínas da farinha, mas também pelos fatores que afetam a formação da matriz proteica, que são pH da massa, grau de hidratação e a presença de quantidades de gordura e açúcar (HOSENEY, 1986).

As farinhas são usualmente classificadas para usos em diferentes produtos com base em alguns critérios como conteúdo de umidade, proteína e cinzas, e várias medidas físicas e

reológicas chaves como o tamanho das partículas, viscosidade, extensibilidade e fator de expansão (ALCHELE, 1981).

O nível de proteína influencia a qualidade de mastigação de produtos de massa dura. A dureza de biscoitos semi-doces medida por texturômetro, aumenta com o aumento do conteúdo de proteína da farinha (WADE, 1972b apud WADE, 1988). WADE (1971) encontrou uma relação curvilínea entre a dureza de biscoitos medida em texturômetro e o conteúdo de proteína da farinha, e sugere utilizar esta relação na definição do limite superior aceitável para o conteúdo de proteína de farinhas destinadas a produção de biscoitos.

Estudando o efeito dos componentes da farinha nas propriedades de biscoitos, WADE (1988) relatou que o amido, tanto na massa quanto no produto final, age como um material de enchimento da matriz formada pelos outros materiais presentes. Na massa, o amido absorve água, e é provavelmente o principal ingrediente que controla a quantidade de água requerida para produzir uma massa de consistência adequada. Devido ao baixo conteúdo de umidade da maioria dos biscoitos, relativamente pouca quantidade de amido gelatiniza durante o assamento (FLINT *et al*, 1970; BURT & FEARN, 1983 apud WADE, 1988).

Com relação ao conteúdo de umidade da farinha e a água adicionada à massa, STEELE (1977) apud WADE (1988) mostrou que estas quantidades não são equivalentes em termos de seus efeitos nas propriedades da massa. O autor encontrou um aumento de 4% no peso da massa moldada para cada 1% de diminuição no conteúdo de umidade da farinha, mantendo constante o conteúdo total de água na massa (umidade da farinha mais água adicionada).

ABBOUD *et al* (1985a) avaliaram vários cultivares de 6 classes de trigo em relação a absorção de água da massa de "cookies", ao conteúdo de proteína, teor de amido danificado, pentosanas e capacidade de retenção de água alcalina da farinha em relação ao aumento de diâmetro de "cookies". Neste estudo, concluíram que o diâmetro de "cookies" não está relacionado com o conteúdo de proteína, quando classes de trigo diferentes foram usadas. YAMAZAKI (1954) apud ABBOUD *et al* (1985a) encontraram resultados semelhantes. Entre absorção de água da massa e diâmetro de "cookies" foi encontrado um coeficiente de correlação de $r = -0.67$. O teor de amido danificado da farinha reflete a dureza do grão de trigo e severidade do processo de moagem. O coeficiente de correlação para amido danificado versus diâmetro de "cookies" foi de $r = -0.68$. A absorção de água de farinhas depende fundamentalmente da quantidade de amido danificado. Entretanto, o coeficiente de correlação relativamente baixo ($r = 0.62$) entre amido danificado e absorção de água mostra que outros fatores também afetam a absorção de água. Embora as pentosanas sejam componentes muito hidrofílicos da farinha, não houve correlação significativa entre o conteúdo de pentosanas e

absorção de água de "cookies", e com o diâmetro dos mesmos a correlação foi muito baixa, não consistindo portanto um bom índice de qualidade de farinha para "cookies".

Os testes reológicos são usualmente realizados com massas de farinha e água e são amplamente empregados em medidas de qualidade. Os aparelhos utilizados são o farinógrafo, mixógrafo ou reógrafo, que avaliam as propriedades de mistura da massa, e o extensógrafo e o alveógrafo de Chopin, que avaliam as características de elasticidade e extensibilidade da massa (PRATT, 1978).

O uso do "baking test" constitui uma prática usual para caracterizar a qualidade tecnológica de farinhas de trigo duro, através da medida do volume de pães. O teste tradicional correspondente para farinhas de trigo mole é o "cookie test" (FINNEY *et al*, 1950; POMERANZ, 1978; YAMAZAKI & LORD, 1978; ABOUD *et al*, 1985; DOESHER *et al*, 1987 apud POMERANZ, 1988), que utiliza um parâmetro uni-dimensional, o diâmetro (relacionado com a expansão do biscoito). O potencial de expansão tem sido aceito como o critério de qualidade mais significativa para variedades de trigo mole. No entanto, o teste não é fácil de ser duplicado entre laboratórios e por operadores diferentes. E sendo um procedimento de panificação, pode estar sujeito a um erro experimental elevado (SMITH, 1972).

b. Açúcar

O açúcar é um componente importante na formulação de biscoitos. REAL LEDUC apud SMITH (1972) listou as contribuições do açúcar para o biscoito. Ele deve conferir doçura, aumentar a maciês, contribuir com volume, desenvolver uma cor de crosta agradável, criar um balanço próprio entre líquidos e sólidos, responsável pelo contorno, agir como um veículo para outros flavorizantes, ajudar na retenção de umidade e propiciar um produto final atrativo.

O principal açúcar usado na produção de biscoitos é a sacarose, que pode ser derivada da cana-de-açúcar ou da beterraba e usada em diversos tamanhos de cristais, de granulado (650 a 1000 μ) até pulverizado(175 μ) ou açúcar de glacê (25 μ). No entanto a sacarose é raramente usada como o único açúcar em formulações de biscoitos. Quantidades relativamente pequenas de açúcares reduzidos, usualmente na forma de xaropes, são adicionadas na maioria das formulações (WADE, 1988).

Tem sido mostrado por vários autores (BEAN & OSMAN, 1959; MILLER & TRIMBO, 1965; DERBY *et al*, 1975; BEAN & YAMAZAKI, 1978; D'APPOLONIA, 1972; KOEPEL & HOSENEY, 1980 apud ABOUD & HOSENEY, 1984) que o açúcar aumenta a temperatura de gelatinização do amido. Alguns autores (D'APPOLONIA, 1972, DERBY *et al*,

1975 apud ABBOUD & HOSENEY, 1984) atribuem este aumento à habilidade dos açúcares em limitar a água disponível ao amido.

As características de qualidade de biscoitos dependem dos resultados da competição entre o açúcar e os componentes da farinha pela água disponível (YAMAZAKI, 1955, 1962 apud ZABIK *et al*, 1979). Condições que favorecem a dissolução do açúcar e conseqüentemente sua capacidade de retenção de água no início do período de assamento permitem maior expansão de "cookies" antes da fixação da estrutura da massa.

O tamanho das partículas de açúcar tem se mostrado (KISSEL *et al*, 1973) capaz de controlar a expansão e aparência de biscoitos doces duros. O mecanismo pelo qual partículas grosseiras de açúcar são prejudiciais à expansão pode ser explicado pela proporção de farinha-açúcar-água na massa e pelo tempo proporcional de dissolução. No processamento as partículas de açúcar são cobertas com gordura e são assim impedidas de ficar em solução. Com partículas de açúcar grandes, menos superfície fica disponível no sistema, constituindo um fator limitante para o alcance da viscosidade da massa e finalização do potencial de expansão.

Os resultados de KISSEL *et al* (1973) mostraram que a expansão e aparência de "cookies" melhoraram com a diminuição do tamanho médio das partículas, e a diferenciação foi maior com açúcares na faixa de 48 a 80 mesh (295 a 175 μ).

A cor e o "flavour" básicos de biscoitos são produzidos por reações que acontecem durante os últimos estágios do assamento. Algumas destas reações são do tipo Maillard, que requerem a presença de aminoácidos e açúcares redutores (COULATE, 1984 apud WADE, 1988). Embora estes componentes estejam presentes em pequenas quantidades na farinha de trigo, produtos com propriedades melhoradas são obtidos através da adição de outras fontes na formulação. Os açúcares redutores podem ser por exemplo o açúcar invertido ou xarope de glicose.

c. Gordura

As propriedades das gorduras usadas em biscoitos dependem da origem da gordura, da quantidade e do tipo de tratamento que ela tenha recebido na sua refinação (e hidrogenação), dos tipos de gorduras usadas no preparo de misturas e do estado físico da gordura no momento do uso (WADE, 1970).

Normalmente, as gorduras mais empregadas são as do tipo hidrogenadas ou plásticas, apresentando quatro funções principais: lubrificação, aeração, mastigação e expansão (EL-DASH *et al*, 1982).

Por meio da cobertura dos grânulos de açúcar e partículas de farinha de trigo, a gordura reduz o tempo de mistura e energia exigida para tal. Previne o desenvolvimento excessivo do glúten e o produto final fica mais macio (EL-DASH *et al*, 1982).

A aeração é a segunda maior função da gordura e isso depende do tamanho dos cristais presentes. A aeração ocorre na fase de mistura. O ar preso na massa serve como núcleo para gases de crescimento e o vapor d'água que é liberado durante o assamento (EL-DASH *et al*, 1982).

A qualidade de mastigação e expansão do produto dependem do tipo e nível de gordura a ser utilizada.

A adição de gordura na massa tem o efeito de reduzir a quantidade de água requerida para produzir uma consistência de massa de boa maquinabilidade e de produzir produtos mais macios. Massas contendo até cerca de 20% de gordura (porcentagem sobre o peso de farinha) usualmente apresentam uma estrutura de glúten desenvolvida e são extremamente extensíveis sob tensão. A níveis maiores de gordura, pouca ou nenhuma rede de glúten é formada (WADE, 1988).

A gordura age como uma barreira entre a água e a farinha. Em alguns casos, na presença de um agente emulsificante, a água e a gordura formam uma emulsão água em óleo ou óleo em água, ou uma combinação de ambos (SMITH, 1972).

2. ETAPAS DO PROCESSAMENTO

a. Mistura

Na mistura de massas doces duras, a proteína da farinha deve primeiramente entrar em contato com a água da massa (mistura direta), (WADE, 1988). Com o processo de mistura, muitas partículas de farinha são cercadas por água que não somente envolve aglomerados de partículas de farinha, mas penetra dentro de algumas partículas, para ser absorvida e adsorvida nos grânulos de amido e na matriz contendo a proteína. Nas temperaturas usuais de mistura da massa, a água não penetra profundamente nos grânulos de amido, que são então envolvidos por filmes de água em vários graus de absorção (SMITH, 1972). No entanto, a proteína absorve água e incha (efeito do tempo/temperatura) até o ponto onde a ação da mistura possibilita a

conversão da proteína hidratada em uma rede de glúten tri-dimensional que confere à massa suas propriedades reológicas características (WADE, 1988).

O desenvolvimento do glúten não é a única mudança que ocorre durante a mistura de massas doces duras (WADE, 1988). Cada ingrediente contribui com algum atributo e tem um efeito no desenvolvimento e na estrutura final da massa, a qual, naturalmente, afeta a estrutura do produto (SMITH, 1972).

Dentre as mudanças devido aos ingredientes adicionados, as mais importantes podem se citadas (SOMERS, 1974):

- incorporação dos ingredientes em uma distribuição uniforme;
- completa dissolução do açúcar e alguns dos agentes químicos na água da massa;
- elevação da temperatura da massa até a temperatura requerida para o final da mistura;
- hidratação das proteínas da farinha;
- conversão das proteínas hidratadas em glúten.

O tempo total de mistura é portanto uma função de todos esses fatores, e é normalmente o parâmetro utilizado para controlar o processo. No entanto, WADE (1971) ressalta uma tendência em substituir o controle do tempo de mistura pelo controle da temperatura final da massa. Segundo AXFORD & GREENWOOD (1973) seus resultados sugerem que na mistura de massas de biscoitos semi-doces a temperatura final da massa é mais importante do que a quantidade de trabalho realizada na mesma, desde que este não flutue excessivamente ou fique abaixo de um certo nível mínimo.

Apesar de muitos métodos diferentes de mistura serem usados, o mais comum é o método direto, onde o sal e os agentes químicos dissolvidos são adicionados à farinha e outros ingredientes e então misturados até a massa se tornar extensível (SOMERS, 1974).

b. Descanso da massa

As massas doces duras não tratadas com sulfitos, agentes condicionadores de massa, devem descansar por um período de 30 a 45 minutos (SMITH, 1972; WADE, 1988), para permitir o relaxamento do "stress" produzido na massa durante o processo de mistura, e torná-la mais extensível. Caso haja adição de sulfito ou metabissulfito de sódio, ou ainda de enzima

na massa, a mesma não deve descansar por muito tempo, pois a reação destes agentes é progressiva e a massa pode deteriorar rapidamente (SOMERS, 1974).

Em massas sulfitadas, o dióxido de enxofre reage com os grupos dissulfito da proteína da farinha somente após a formação do glúten, para quebrar algumas das ligações dissulfito, assim enfraquecendo a sua estrutura coesa e elástica (SMITH, 1972; WADE, 1988).

Durante o período de descanso a massa deve ser protegida de variações de temperatura, através da cobertura da mesma, para evitar ressecamento da superfície. Uma distribuição de temperatura desuniforme dentro da massa irá contribuir para variações nas propriedades da mesma (SOMERS, 1974; WADE, 1988).

c. Laminação e Corte

A massa de biscoitos semi-doces é modelada a partir da formação de uma lâmina inicial, reduzida até a espessura desejada através da passagem por três pares de rolos redutores (SMITH, 1972; SOMERS, 1974 & WADE, 1988). Devido às propriedades visco-elásticas da massa, a lâmina de massa aumenta em espessura após passar por um par de rolos redutores. O grau de redução em cada passagem varia de acordo com as propriedades da massa.

A alimentação contínua de massa em cada estágio da laminação, a velocidade da esteira transportadora e o sincronismo da velocidade dos rolos, devem ser cuidadosamente controlados. A espessura final da massa é usualmente de 2 a 3 mm.

O corte da massa pode ser feito por estampadores (prensas verticais) ou por rolos rotativos (ALCHELE, 1981). As prensas estampadoras causam considerável vibração além de desgaste e rompimento da esteira transportadora. O tipo rotativo é mais utilizado e ideal para produção de semi-doces.

Normalmente, os retalhos gerados pelo corte da massa são separados em uma esteira inclinada acima do produto, e levados até a moega alimentadora para serem reincorporados à massa.

d. Assamento

O processo de assamento constitui a etapa mais importante e complexa da produção de biscoitos.

i. Objetivos

Várias mudanças físicas e químicas ocorrem nos produtos durante o assamento. Essas mudanças podem afetar o mecanismo de migração de água e o comportamento de secagem do produto (TURHAM & OZILGEN, 1991).

As maiores mudanças químicas devido aos efeitos do calor dentro do forno, incluem a formação de gás, desnaturação e coagulação das proteínas, gelatinização do amido, formação da crosta e reações de escurecimento (SMITH, 1966 apud TURHAM & OZILGEN, 1991). As maiores mudanças físicas compreendem evaporação da água, expansão do volume, e desenvolvimento de estrutura porosa. As mudanças estruturais afetam a migração de água no produto, logo o comportamento de secagem depende das variações de temperatura no assamento.

As mudanças mais importantes podem ser citadas como a perda de umidade da massa, o desenvolvimento de cor e "flavour" e as mudanças em dimensões (WADE, 1988).

O principal objetivo do processo de assamento é portanto a remoção da água, ou umidade da massa. O conteúdo inicial de umidade da massa é de 11 a 30%, e após assado e resfriado o biscoito apresenta usualmente conteúdo de umidade de 1 a 5%, dependendo do tipo de produto (WADE, 1988). Uma quantidade muito grande de calor é necessária para remover a umidade do produto. Na secagem são retirados 28Kg de água para cada 100 Kg de massa que entra no forno (MORETH, 1987). O conteúdo de umidade controla a estabilidade durante o armazenamento, a integridade mecânica de alguns produtos (tendência à quebra) e o desenvolvimento de "flavours" na maioria dos produtos.

O segundo objetivo do assamento é o desenvolvimento de cor e flavor. A cor da crosta constitui um indicativo muito bom da quantidade de açúcar da superfície que foi caramelizado (MORETH, 1987). A reação de Maillard, entre açúcares redutores e aminoácidos está também envolvida no assamento de biscoitos. Os produtos destas reações são compostos voláteis que contribuem para o aroma e "flavour" de produtos assados frescos.

O aumento de volume da massa durante o assamento é causado pela ação dos agentes aeradores e pelo vapor produzido pela umidade da massa. Os reagentes químicos mais comumente usados são o bicarbonato de sódio, com ou sem um acidulante, e o bicarbonato de amônia. A espessura final do biscoito depende não somente da ação de agentes aeradores mas também das condições existentes no forno, tanto a temperatura quanto as condições de umidade do mesmo. A espessura de biscoitos de massa dura resulta do balanço entre o ponto

de fixação da estrutura da massa dentro do forno, pela desnaturação térmica da rede de glúten, e a expansão da massa pela ação dos agentes aeradores e vapor d'água.

ii. Etapas do Processo de Assamento

Durante o processo de assamento ocorre transferência simultânea de calor e massa nos produtos. Sendo assim, três estágios distintos podem ser reconhecidos (MINETT & WITT, 1976).

O primeiro estágio é o pré-aquecimento da superfície do produto, da temperatura inicial até a temperatura de bulbo úmido, havendo evaporação de água proporcionalmente ao aumento da pressão de vapor da água livre. Como em geral os alimentos são pouco condutores de calor, esta etapa pode ser demorada (MINETT & WITT, 1976). Neste período, a temperatura da camada superficial da massa é superior à temperatura do interior, e é estabelecido um gradiente de temperatura bem definido entre a superfície externa e o centro do produto, ABBOUD *et al* (1985b). Com o aumento de temperatura a massa começa a expandir, sua fluidez aumenta devido aos açúcares em solução, fusão da gordura e ação dos agentes aeradores, ocorrendo o movimento de massa.

O segundo estágio é chamado, na terminologia de secagem, de período de razão constante, onde a superfície é coberta por um filme de água contínuo, sendo mantida a temperatura de bulbo úmido. A taxa de remoção de água alcança um máximo durante este período, e permanece estabilizada até ser atingido um conteúdo de "umidade crítica" (MINETT & WITT, 1976).

O terceiro estágio do processo de secagem se refere ao período de razão descendente. Isto ocorre quando os níveis de transferência de água do centro para a superfície do produto se tornam menores que o grau de evaporação na superfície, o filme de água desaparece e expõe o produto seco, então a temperatura das regiões secas começa a subir acima da temperatura de bulbo úmido, havendo uma queda na eficiência do processo de assamento (TURHAM & OZILGEN, 1991).

iii. Mecanismos de transferência de calor

A maioria dos biscoitos produzidos comercialmente são assados em túneis aquecidos em fornos contínuos. Estes fornos contínuos variam em comprimento de 30m a 150m e são constituídos de uma esteira rolante, que conduz o produto a ser assado para dentro do túnel,

construído de várias sessões ou zonas de aquecimento, individualmente aquecidas e controladas.

Em um processo convencional de aquecimento, o calor é transmitido ao produto por condução, convecção e radiação. O conjunto destes mecanismos é que irá proporcionar os efeitos de expansão, escurecimento e secagem dos produtos (STANDING, 1974).

Condução: é a transferência direta de energia calorífica entre moléculas adjacentes dentro de um sistema estacionário.

Convecção: inclui convecção livre e forçada, e se refere à transferência direta de energia calorífica entre moléculas adjacentes em diferentes fases, como entre uma superfície sólida e um fluido convectivo.

Radiação: se refere a transferência de calor entre superfícies que emitem e absorvem via radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do infra-vermelho.

Embora estes modos de transferência de calor estejam presentes em todos os fornos convencionais, diferenças nos tipos de fornos resultarão em variações substanciais nos níveis dos três mecanismos de aquecimento (MORETH, 1987).

STANDING (1974), identificando o efeito individual dos modos de transferência de calor no assamento de biscoitos, verificou que o efeito mais importante da condução é a expansão do produto e da radiação o efeito do escurecimento. A remoção de umidade do produto é controlada pela convecção, especialmente a convecção forçada. A convecção do ar tende a aumentar a evaporação de água pela remoção da camada de umidade estagnada na superfície de evaporação do produto, ao nível determinado pelo grau de difusão de umidade e pelo processo de evaporação.

Os fornos podem ser classificados segundo seu sistema de aquecimento e seu modo de distribuição de calor:

- Por aquecimento direto, onde o combustível pode ser o gás ou eletricidade, e as chamas ou resistências são distribuídas em intervalos frequentes acima e abaixo da esteira do forno.
- Por aquecimento indireto, utilizando como combustível derivados de petróleo (óleos, diesel, gás), e os gases aquecidos são transportados dentro de tubos que correm paralelamente com a esteira acima e abaixo da mesma.

- Por convecção forçada, utilizando gás, em que as chamas são usadas para aquecer o ar, o qual juntamente com os produtos da combustão é forçado sob pressão através de orifícios localizados acima e abaixo da esteira.

- Por combinações entre os métodos anteriores.

iv. Implicações Tecnológicas do Processo de Secagem

O glúten coagulado e o amido gelatinizado perdem água durante o assamento. O fator complicador é que todas as partes do biscoito não perdem água num mesmo grau. Embora um biscoito assado possa parecer seco, contém apreciáveis quantidades de água quando deixa o forno, apresentando um conteúdo de umidade maior no centro do que na superfície (gradiente de umidade). Durante o resfriamento ocorre migração de umidade (perdida para o ambiente e também entre o amido e a proteína), a qual produz um "stress" mecânico no interior do biscoito, podendo resultar na sua quebra espontânea (WADE, 1987).

DUNN & BAILEY (1928) demonstraram que perdas ou ganhos de umidade em biscoitos são acompanhados por mudanças em suas dimensões. Os autores sugeriram que estas mudanças (encolhimento do centro quando o mesmo perde umidade e expansão das bordas devido a absorção de umidade) levariam ao "stress" dentro do produto. Se este "stress" excede a tensão mecânica do produto, que está relacionada com a flexibilidade de sua estrutura, então aconteceria a quebra.

Segundo SMITH (1972) a quebra é frequentemente observada em produtos com gradiente de umidade acima 1.0%. O conteúdo total de umidade do biscoito não deve exceder 2.0%, sendo ideal 1.3%.

Experimentos realizados por DUNN & BAILEY (1928), utilizando vários tempos de assamento e armazenando biscoitos sob condições distintas de umidade relativa (20% e 40%), mostraram que a quebra foi maior a umidade relativa mais baixa, e quanto maior o tempo de assamento menor a tendência a quebra devido à diminuição do gradiente de umidade no produto.

e. Resfriamento

O produto que sai do forno se apresenta ainda mole, e com umidade não uniformemente distribuída. Desta forma não pode ser embalado imediatamente, devendo passar pelo processo de resfriamento.

Durante o resfriamento pode ocorrer alguma troca de umidade entre o produto e a atmosfera que o envolve, dependendo da umidade relativa do ar. Entretanto a mudança mais importante é o início da redistribuição de umidade dentro do produto, WADE (1988).

Cada tipo de biscoito possui um ciclo de resfriamento que depende da sua densidade, temperatura de assamento, conteúdo de umidade, textura, sendo a umidade e temperatura de assamento influenciados pela maneira como os ingredientes se comportam no ciclo de resfriamento.

O fenômeno da quebra está basicamente associado a distribuição desuniforme de umidade no produto após o assamento, embora suas proporções possam ser controladas por fatores que afetam as propriedades mecânicas do produto, como o uso de farinha fraca, formulação bem balanceada e desenvolvimento adequado da massa na mistura.

Para prevenir o fenômeno da quebra o resfriamento deve ser lento (DUNN & BAILEY, 1928; SMITH, 1972; WADE, 1988; VITTI *et al*, 1988), e efetuado por um tempo de aproximadamente 1 1/2 a 2 vezes o tempo de assamento, usualmente através do transporte dos biscoitos em camadas simples, numa esteira de lona.

O ambiente de resfriamento não deve ter circulação de ar frio ou ar com baixa umidade relativa (SMITH, 1972), ou ainda pode-se utilizar esteira coberta, para que o vapor eliminado do biscoito crie sobre a superfície do mesmo uma umidade relativa alta, o que impede trocas rápidas de umidade e conseqüentemente o trincamento.

Alternativamente, a quebra pode ser evitada através de um processo de secagem mais eficiente, como o pós-assamento dos biscoitos em um aquecedor dielétrico (HOLLAND, 1979 apud WADE, 1988), frequências de rádio ou microondas (MINETT & WITT, 1976).

C. AQUECIMENTO POR ENERGIA DE MICROONDAS

1. DEFINIÇÃO E VANTAGENS

Microondas são ondas eletromagnéticas de alta frequência (915 MHz ou 2.450 MHz) geradas por um magnetron, um dispositivo que converte energia elétrica de baixa frequência (60Hz) em um campo eletromagnético com cargas positivas e negativas que mudam de direção bilhões de vezes por segundo (ANNIS, 1980; MUDGETT, 1989). Uma pequena antena no topo do tubo de magnetron capta as oscilações nas altas frequências e as transmite para o guia de ondas, um conduto metálico que serve como um sistema acoplador entre o magnetron e a cavidade do forno.

Os dois maiores mecanismos que governam o aquecimento de materiais dielétricos por microondas são a rotação de dipolos e a polarização iônica (BOURAOUI *et al*, 1993). A água é o componente de dipolo mais abundante em alimentos, enquanto outros (sal, gorduras e proteínas) também agem como componentes dielétricos (MUDGETT, 1986; DEACAREAU, 1986; DEACAREAU & PETERSON, 1986 apud FAKHOURI & RAMASWAMY, 1993).

As moléculas que contêm um momento de dipolo elétrico agem como se um lado fosse positivo e o outro negativo. Quando são expostas a um campo elétrico oscilante, as moléculas tendem a se alinhar com o campo sofrendo assim uma força rotacional, que oscila conforme a frequência do campo elétrico (915 ou 2.450 MHz). Estas oscilações repetidas causam fricções intra e inter moleculares que resultam na produção de calor, então transmitido às moléculas vizinhas. Por isso, no aquecimento por microondas, o calor é gerado dentro do alimento e o aquecimento ocorre uniforme e rapidamente por todo o material (JEPPSON, 1964; SCHIFFMANN, 1975; HARRISON, 1980; MUDGETT, 1986; 1989; BOURAOUI *et al*, 1993).

De um modo geral, existem inúmeras vantagens em se utilizar aquecimento por microondas na indústria de alimentos. Os maiores benefícios incluem uniformidade do aquecimento, uma vez que as microondas possibilitam o aquecimento interno, a distribuição de temperatura pode ser mais uniforme e o superaquecimento da superfície pode ser evitado; o aquecimento seletivo de áreas úmidas, que pode levar a uma maior eficiência no aquecimento; rapidez, geralmente o aquecimento pode ser concluído com 1/4 ou menos do tempo que consumiria no processo convencional; e reprodutibilidade, economia de energia e mão-de-obra, aumento de produtividade e melhoria de qualidade do produto, podem ser outras vantagens (MINETT & WITT, 1976; SCHIFFMANN, 1975; 1986).

No entanto, existem fatores que afetam o comportamento do produto exposto em microondas. As propriedades do equipamento e do material sendo aquecido, que devem ser consideradas no desenvolvimento de processos utilizando esta fonte de energia, são a frequência das ondas, que afetam a profundidade de penetração dentro do material e está relacionada com o tamanho do material a ser aquecido; a potência do forno de microondas e a velocidade de aquecimento, sendo que a maioria dos sistemas industriais de microondas operam com potências de 5 a 100kW e a velocidade de aquecimento é usualmente controlada variando a potência desenvolvida; a massa total sendo aquecida, devendo ser relacionada com a energia aplicada para proporcionar o aquecimento desejado; a umidade do produto, uma vez que a água é o componente que exerce maior influência na eficiência da absorção da energia de microondas; a densidade do produto, que afetará o grau de aumento de temperatura do mesmo; a temperatura inicial do produto, que permite o ajuste da energia necessária à remoção uniforme de água; e o tamanho e forma do material, que afetarão a uniformidade do aquecimento, relacionada também com a condutividade térmica e calor específico do produto (SCHIFFMANN, 1986; HARRISON, 1980).

2. UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS EM ALIMENTOS

Uma das primeiras aplicações do aquecimento por microondas foi em 1947 quando CATHCART *et al* apud TSEN (1980) sugeriu o seu uso a 14 a 17 MHz para pasteurizar pão embalado. Posteriormente seus resultados foram confirmados a 2.450 MHz por OLSEN (1965) apud TSEN (1980).

Em geral, microondas tem sido usadas em várias aplicações em alimentos, como por exemplo no descongelamento de carnes, peixes e produtos derivados, cozimento de "bacon", secagem de pastas, cozimento de carne, linguiça e frango, secagem de "snacks", condimentos, "bacon", vegetais e sucos de frutas (em conjunto com câmara de vácuo), branqueamento de frutas e vegetais, pasteurização de carnes, pastas, pães e outros produtos e esterilização de leite e alimentos semi-sólidos (SCHIFFMANN, 1975; 1992; MINETT & WITT, 1976; MUDGETT, 1989).

Num futuro próximo, processos com microondas certamente serão mais amplamente utilizados pelas indústrias de alimentos, particularmente para o descongelamento de alimentos, pré-cozimento de produtos de carnes, peixes e vegetais, e secagem de pastas, cebolas, "snacks" de arroz e extrato de tomate (DECAREAU, 1985 apud MUDGETT, 1989). O autor prevê que a esterilização HTST por microondas de porções individuais de alimentos embalados constitui uma utilização promissora. DECAREAU & PETERSON (1986) apud MUDGETT (1989)

também sugeriram que no futuro o processo de secagem por microondas substituirá o processo de congelamento e esterilização de muitos produtos, uma vez que a água potável tem se tornado um problema cada vez mais sério.

3. UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS EM PANIFICAÇÃO

O uso da energia de microondas em panificação tem sido amplamente estudado. Esta fonte de energia já foi utilizada para reduzir o tempo de descongelamento de produtos de panificação e para assar aqueles que não necessitam de crosta.

A maior diferença entre os fornos convencionais e os fornos de microondas é a incapacidade destes em induzir o escurecimento e crocância de alimentos. Esta diferença é causada pela baixa temperatura do ar dentro do forno de microondas comparada com um forno convencional, e pelos efeitos de resfriamento devido a evaporação de umidade na superfície de alimentos aquecidos em microondas (BAKANOWSKI & ZOLLER, 1984 apud MUDGETT, 1989).

Recentemente, as microondas tem sido aplicadas na secagem de pastas, fermentação de pães e "donuts" e cozimento de alguns tipos de pães, bolos e biscoitos (SCHIFMANN *et al*, 1971; 1975; LORENZ, 1973; e SALE, 1976). Mas a falta de cor na crosta e de formas adequadas nos produtos assados, assim como alterações de textura e sabor dos mesmos, tem limitado a utilização desta fonte de energia em panificação.

Outro problema da utilização de energia de microondas em produtos de panificação se refere à rapidez dos níveis de aquecimento, que podem causar ruptura, super expansão, ou explosão dos produtos, além de uma textura borrachenta, que pode resultar do aquecimento inadequado (MUDGETT, 1989).

4. COMBINAÇÃO DE ENERGIA DE MICROONDAS E ASSAMENTO CONVENCIONAL

As microondas raramente tem sido usadas isoladamente, mas em combinação com ar quente, vapor, infra-vermelho, ou outro meio de aquecimento. Os processos combinados usualmente reduzem o custo do sistema, uma vez que estes outros meios são menos caros do que a energia de microondas e a combinação é geralmente sinérgica (SCHIFMANN, 1992).

Em panificação, processos de assamento utilizando microondas tem obtido sucesso em algumas aplicações. O aquecimento por microondas tem sido combinado com o processo convencional de assamento, simultaneamente ou consecutivamente (CHAMBERLAIN, 1973; DECAREAU, 1967; LEFEUVRE, 1981; MOYER, 1973; SCHIFMANN *et al.*, 1971; 1981 e STANGROON, 1976 apud MUDGETT, 1989). Um processo para pães desenvolvido por DUNGAN & FOX (1969) apud MUDGETT (1989), utilizou uma combinação de fermentação do produto em microondas e escurecimento em forno convencional.

Com a combinação de fornos, tem sido relatados tempos de processamento de aproximadamente 1/3 do tempo de assamento convencional (PEI, 1982 apud DECAREAU, 1986 e MUDGETT, 1989).

COLLINS (1970) e CHAMBERLAIN (1973) apud DECAREAU (1986), desenvolveram um processo combinado para pães, onde a massa foi produzida utilizando farinhas de trigo de baixo teor proteico e o assamento realizado em forno a alta temperatura (320°C) simultaneamente com microondas a uma frequência de 896 MHz.

Em estudos laboratoriais realizados por MUDGETT (1989), a associação de energia de microondas a fornos de convecção, quando comparada com o forno elétrico convencional mostrou uma economia média de energia da ordem de 21% para 9 produtos de panificação.

A justificativa tecnológica para a introdução de fontes alternativas de energia ao assamento convencional, baseia-se na queda de eficiência deste, durante o período de razão descendente de secagem, quando a superfície já seca do produto isola o centro promovendo uma barreira à evaporação da sua umidade residual.

Considerando portanto, a dificuldade em remover a porcentagem residual de umidade e o alto consumo de energia no processo convencional de assamento, sugerimos a associação deste à fonte de microondas na produção de biscoitos. Este tipo de assamento combinado possivelmente possibilitará uma diminuição do comprimento de fornos industriais e das esteiras de resfriamento, e portanto economia em espaço físico e aumento de produtividade, além de produtos mais estáveis, que tendem a solucionar os problemas de fissura.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. MATÉRIA-PRIMA

A farinha de trigo utilizada foi do tipo comum, obtida junto ao moinho Braswey S.A. Os outros ingredientes normais para produção de biscoito semi-doce duro foram doados pelos respectivos fabricantes, a seguir: amido de milho (Refinações de Milho Brasil Ltda.), açúcar e xarope invertido (Cia. União dos Refinadores de Açúcar e Café), gordura vegetal hidrogenada e lecitina de soja (Sanbra S.A.), agentes de crescimento (Proman S.A.) e aroma (Firmenich & Cia. Ltda.).

2. EQUIPAMENTOS

Na caracterização das matérias primas, na produção dos biscoitos e nas análises do produto final, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Farinógrafo BRABENDER, modelo 810101
- Extensógrafo BRABENDER, modelo 860000
- Viscoamilógrafo BRABENDER
- Destilador de proteína TECNAL, modelo TE-036
- Tamizador GRANUTEST
- Misturador do farinógrafo acoplado ao motor com registrador DO-CORDER
- Texture Analyser TA-XT2
- Espectrofotômetro de Reflectância Difusa Macbeth Color Eye 1500/plus
- Forno de microondas PANASONIC, modelo NN 7589B
- Forno elétrico, mini eletro-vulcão MAQ-FORNO

-Seladora LORENZETTI

-Liquidificador WALITA

-Cilindro elétrico SUPREMA

-Moedor para café BRAUN

B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

I. ANÁLISES DA MATÉRIA-PRIMA

a. Análises Químicas

i. Composição centesimal da farinha:

Umidade

Para determinação da umidade da farinha de trigo utilizou-se o método da AACC n°44-15A (1983).

Proteína

Determinou-se o conteúdo de nitrogênio total pelo método semi micro Kjeldahl conforme a AACC n°46-13 (1983). O conteúdo de proteína total foi calculado usando o fator 5.70.

Gordura

O teor de gordura foi determinado segundo o método de Bligh-Dyer (Bligh & Dyer, 1959).

Cinzas

Foi determinado pela calcinação da amostra durante 2 horas a 600°C, segundo o método da AACC n°08-03 (1983), em mufla FORLABO.

Carboidratos

A quantidade de carboidratos presente na amostra foi calculada por diferença.

b. Análises Físicas

i. Granulometria da farinha

A determinação do diâmetro médio das partículas foi realizada segundo a metodologia descrita por HENDERSON & PERRY (1955). Utilizou-se 100g de amostra e 10 minutos de agitação na intensidade máxima de vibração do aparelho. As peneiras utilizadas foram as de mesh 28, 48, 65, 100, 150 e fundo. Para o cálculo do diâmetro médio foi usada a expressão:

$$\phi = 104,14 \times 2^{mf}$$

onde:

ϕ = diâmetro médio expresso em micron

mf = é o módulo de finura, que é função da distribuição de tamanho do material analisado.

ii. Granulometria do açúcar

Realizada segundo a metodologia descrita por HENDERSON & PERRY (1955).

c. Análise Físico-Química

i. Capacidade de retenção de água alcalina da farinha

A capacidade de retenção de água alcalina foi determinada segundo a metodologia descrita por YAMAZAKI (1990). A porcentagem de hidratação da farinha foi quantificada através do ganho de peso de 15g de amostra suspensa em solução de bicarbonato de sódio 0,1N.

d. Análises Reológicas da Farinha

i. Método do Farinógrafo

O farinograma da farinha de trigo foi obtido segundo o método da AACC 54-21 (AACC,1969).

Os parâmetros determinados foram:

- Absorção de água, definida como a quantidade de água necessária para o centro da curva do farinograma atingir a linha de 500 unidades farinográficas (UF).
- Tempo de chegada, definido como o tempo em minutos necessário para que o topo da curva atinja a linha de 500 UF.
- Tempo de desenvolvimento, definido como o tempo em minutos desde o início da operação até o tempo onde a curva atinge o ponto máximo.
- Estabilidade, definida como a diferença de tempo em minutos entre o ponto onde o topo da curva intercepta a linha de 500 UF e o ponto onde o topo da curva deixa a linha de 500 UF..
- Índice de tolerância, definido como a diferença em UF entre o valor no topo da curva no pico e o valor no topo da curva medido 5 minutos após o pico ser alcançado.

ii. Método do Extensógrafo

O extensograma da farinha de trigo foi obtido segundo o método da AACC 54-10 (AACC,1969).

Os parâmetros determinados foram:

- Resistência à extensão (RE), definida como o valor da curva em unidades extensográficas obtido a 50 mm da origem.
- Resistência máxima (RM), definida como o valor da curva em unidades extensográficas obtido no ponto mais alto da curva.
- Extensibilidade (E), definida como o comprimento da curva, do início até o fim, em mm.
- Número proporcional (RE/E), definido como a razão entre a resistência à extensão e a extensibilidade.
- Energia (A), definida como a área sob a curva em cm^2 , medida com o uso do planímetro.

iii. Método do Viscoamilógrafo

O viscoamilograma da farinha de trigo foi obtido segundo o método da AACC 22-10 (AACC,1969).

Os parâmetros determinados foram:

- Temperatura inicial de gelatinização, definida como a temperatura em $^{\circ}\text{C}$ calculada com base no tempo de início de funcionamento do viscoamilógrafo ($1,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) correspondente ao ponto onde inicia a formação da curva do viscoamilograma.
- Temperatura de viscosidade máxima, definida como a temperatura em $^{\circ}\text{C}$ correspondente ao ponto mais alto da curva do viscoamilograma.
- Viscosidade máxima, definida como o valor da viscosidade máxima em UA durante o ciclo de aquecimento.
- Viscosidade mínima a temperatura constante, definido como o valor mínimo de viscosidade em UA, durante o ciclo de temperatura constante a 95°C .
- Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento (50°C), definida como o valor da viscosidade em UA quando a temperatura atinge 50°C , no ciclo de resfriamento.
- Faixa de gelatinização, definida como a diferença de temperatura em $^{\circ}\text{C}$ entre a temperatura de viscosidade máxima e a temperatura inicial de gelatinização.

2. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS

a. Formulação

A formulação utilizada baseou-se em formulação padrão para biscoito semi-doce duro, adaptando-a às condições laboratoriais.

Formulação adotada:

farinha	100.0% (200g)
amido de milho	20.0% (40g)
açúcar	32.5% (65g)
açúcar invertido	10.0% (20g)
gordura	11.0% (22g)
água	22.5% (55g)
sal	1.25% (2.5g)
bicarbonato de sódio	0.55% (1.1g)
bicarbonato de amônio	0.75% (1.5g)
aroma	0.05% (0.1g)
lecitina de soja	1.5% (3.0g)
leite em pó integral	2.0% (4.0g)
ácido láctico 85%	0.1% (0.2g)
metabissulfito de sódio	0.075% (0.15g)

b. Processo de mistura

A massa foi produzida no misturador do farinógrafo, acoplado na Do-Corder. O processo de mistura se realizou em duas etapas: 1ª velocidade, controlada em 30 rpm por 7 minutos; e 2ª velocidade, a 70 rpm por 8 minutos.

Em todos os experimentos controlou-se a temperatura da massa para que esta permanecesse na faixa de 36 a 42°C, através da variação da temperatura da água, em função da medida da temperatura ambiente.

Parte da água da formulação foi usada para a dissolução prévia dos agentes químicos de crescimento, sal e metabissulfito de sódio. Todos os ingredientes foram adicionados antes de se ligar o misturador. E ao ligá-lo, as paredes internas do misturador foram raspadas com espátula e o mesmo permaneceu coberto durante a mistura.

c. Descanso da massa

A etapa de descanso foi realizada mantendo-se a massa no próprio misturador, coberto com tampa, por 15 minutos.

d. Laminação

Após o descanso, a massa foi dividida em seis partes iguais, cada uma passando por seis reduções graduais de espessura, em laminador elétrico. A abertura do cilindro foi medida com calibre de folga, e as reduções realizadas com aberturas de 5.5 mm, 4.5 mm, 3.5 mm, 2.5 mm, 1.5mm e final de 1.3 mm.

e. Corte

A massa laminada foi cortada usando molde típico de biscoito Maria, em formato oval (5.18 cm diâmetro maior e 4.87 cm diâmetro menor), com 7 pinos para produzir orifícios na massa. O molde foi pressionado perpendicularmente contra a superfície da massa, produzindo 36 biscoitos em cada batelada, sendo os mesmos distribuídos simetricamente na esteira de assamento. Os retalhos de massa foram descartados.

f. Assamento

i. Amostra Padrão

Foram produzidos biscoitos padrão, utilizando processo de assamento convencional, para serem comparados com amostras teste, produzidas em associação com energia de microondas.

Os biscoitos foram assados em esteira de aço carbono tipo VC 1450, em forno elétrico, a 240°C por 4 minutos.

ii. Amostras teste

As amostras teste foram produzidas pela utilização de energia de microondas nas potências média e alta, após o assamento convencional (240°C por 4 minutos).

O experimento foi conduzido em três etapas.

1ª etapa:

Utilizando um planejamento fatorial completo, para níveis de potência alta e média e tempos de exposição em microondas de 15, 20, 30 e 40 segundos, foi avaliada cada combinação de tempo x potência de exposição em microondas após o assamento convencional, no gradiente de umidade, umidade global e porcentagem de quebra do produto. A energia de microondas foi utilizada após o assamento convencional, visando minimizar o gradiente de umidade através da retirada da umidade residual interna dos biscoitos. Selecionou-se a região de gradiente de umidade em torno de 1%, para dar continuidade à segunda etapa a seguir.

2ª etapa:

Comparou-se as qualidades tecnológica (através das medidas de textura, cor, gradiente de umidade e porcentagem de quebra) e sensorial das amostras selecionadas com as do produto padrão (sem tratamento de microondas).

Nos tratamentos com microondas foi utilizado um fatorial 2^2 para os tempos de 23 e 29 segundos nas potências média e alta.

3ª etapa:

Foi então selecionado o produto do tratamento de microondas que obteve os atributos sensoriais iguais ao produto padrão, melhor textura (menor dureza) e de cor igual, porém de menor gradiente de umidade, para comparar suas medidas físicas com as do produto padrão. Por fim testou-se a aceitação e atitude do consumidor com relação a compra do novo produto, analisando a porcentagem de incidência das respostas dos provadores.

g. Resfriamento

Após o assamento, os biscoitos foram resfriados à temperatura ambiente sem circulação de ar, por 10 minutos.

h. Embalagem

Após o resfriamento, os biscoitos foram embalados em filme de polietileno de alta densidade, formando uma pilha.

3. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE MICROONDAS

A potência útil do forno de microondas, declarada pelo fabricante, é de 800W e a frequência de operação de 2450MHz.

As equações para medida de potência de um sistema de microondas são derivadas da teoria elementar da capacidade calorífica de uma dada massa a uma pressão constante (KINGSTON & JASSIE, 1988).

A potência útil do magnetron pode ser então indiretamente determinada medindo o aumento de temperatura de uma quantidade de água grande suficiente para absorver essencialmente toda energia liberada para a cavidade do microondas (COLLINS & NEAS, 1988).

A relação geral usada para avaliar a potência útil aparente é:

$$P = C_p K \Delta T m/t$$

onde **P** é a potência aparente absorvida pela amostra em watts ($1W = 1 J/s$); **K** é o fator de conversão de calorías para Joules ($4.184 J/cal$); **C_p** é a capacidade calorífica, capacidade térmica, ou calor específico ($cal/g^{\circ}C$); $\Delta T = T_f - T_i$ (temperatura final - temperatura inicial em $^{\circ}C$); **m** é a massa da amostra (em gramas); e **t** é o tempo (em segundos).

O procedimento utilizado para medida da potência útil do microondas foi o IMPI 2-Liter Test descrito por BUFLER (1992), apêndice 1.

A relação entre as potências média e alta para o tempo de 29 segundos pôde ser conhecida medindo-se o tempo de interrupção de trabalho do magnetron durante o balanço do ciclo programado em potência média. De acordo com KINGSTON & JASSIE (1988), a maioria das aplicações comerciais de microondas apresentam um ciclo de interrupção de trabalho de 10 a 15 segundos, que resulta em potência contínua por vários segundos e nenhuma potência durante o balanço do ciclo.

Após a medida com cronômetro do tempo de interrupção para o ciclo de 29 segundos em potência média (igual a 5 segundos), foi calculada a porcentagem de tempo de funcionamento em relação ao ciclo completo e o valor encontrado, de 82.8%, traduz a porcentagem de potência liberada para a cavidade, para o tempo estudado.

4. ANÁLISES DO PRODUTO

a. pH da massa crua

Após o processo de mistura, foi realizada a determinação de pH da massa, segundo BRUNO(1989), apenas para controle do processo, em todos os experimentos.

b. Umidade da massa crua

Após a mistura, separou-se aproximadamente 20g de massa, que foi laminada em cilindro manual com abertura de 1.5 mm e cortada em três pedaços utilizando o molde para biscoito. As medidas de umidade foram realizadas em estufa a $105^{\circ}C$, até peso constante ($\pm 6h.$), em todos os experimentos.

c. Umidade do biscoito

A umidade dos biscoitos assados e resfriados foi realizada em triplicata, em todos os experimentos. A amostra foi moída em moinho para café BRAUM por 10 segundos e sua umidade determinada utilizando-se pisa filtro, em estufa a 105°C, até peso constante ($\pm 8h$).

d. Gradiente de umidade do biscoito

Os biscoitos assados e resfriados foram submetidos a cortes circular concêntricos, conforme mostra a Figura 2, e as análises de umidade da parte central e do anel externo realizadas segundo o item *c* acima. O gradiente de umidade foi determinado pela diferença de umidade entre as duas partes.

e. Quantificação de fissura

A quantificação de fissura dos biscoitos foi realizada para cada tratamento, através da observação visual de fissura ou quebra total em bateladas de 36 biscoitos, após uma semana de armazenamento do produto. A Figura 3 ilustra fissura típica em biscoitos.

f. Medidas Instrumentais

i. Textura

A textura dos biscoitos foi realizada em Texture Analyser TA-XT2 utilizando-se a plataforma com abertura circular, componente acessório do aparelho. O biscoito sendo testado foi encaixado sobre a abertura e o teste conduzido utilizando "probe" esférico em aço inox de 1/2" de diâmetro com velocidade de 3 mm/s a uma profundidade de penetração de 2 mm sobre o produto. Analisou-se o parâmetro dureza, medido em 10 biscoitos por tratamento. Através da Figura 4 pode-se visualizar o aparelho utilizado assim como as condições do teste.

ii. Cor

As leituras de cor foram realizadas no sistema Lab da CIE, com iluminante D65, ângulo de observação de 10°C, com componente especular inclusa e área de observação de 5x10mm. O parâmetro analisado foi a luminosidade (L) medida em 30 biscoitos por tratamento.

g. Perda de peso (g)

A perda de peso dos biscoitos devido ao assamento e resfriamento foi calculada como a diferença de peso entre a massa moldada crua (g) e os biscoitos assados e resfriados(g).

h. Dimensões

As medidas de dimensões foram efetuadas em um conjunto de 10 biscoitos por tratamento. Os experimentos, tratamento de microondas e padrão, foram realizados de maneira dependente, isto é, a partir de uma única fornada separou-se o produto padrão (18 biscoitos) e conduziu-se o tratamento de microondas na metade restante. Este procedimento visou a minimização da influência de erros experimentais nas medidas físicas.

i. Diâmetro (mm)

O diâmetro dos biscoitos foi medido com paquímetro, realizando duas medidas diametralmente opostas em cada biscoito. A média entre dois diâmetros opostos constituiu o valor de cada repetição.

ii. Espessura (mm)

A espessura dos biscoitos foi medida em duplicata em cada biscoito individualmente, com o uso de paquímetro.

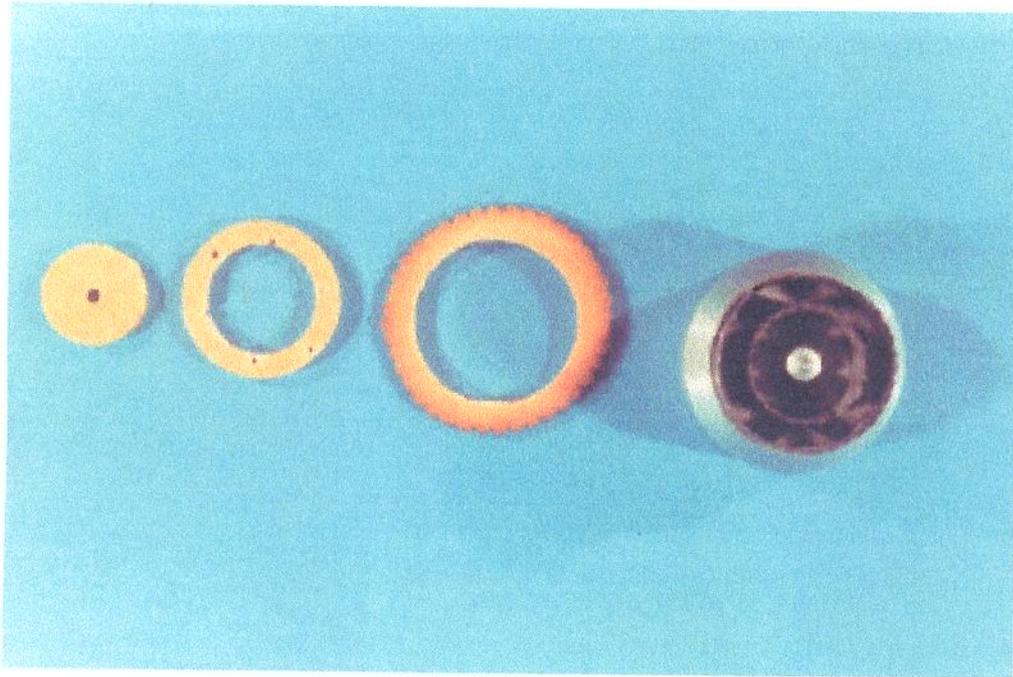


Figura 2 : corte de biscoito para medida de gradiente de umidade.

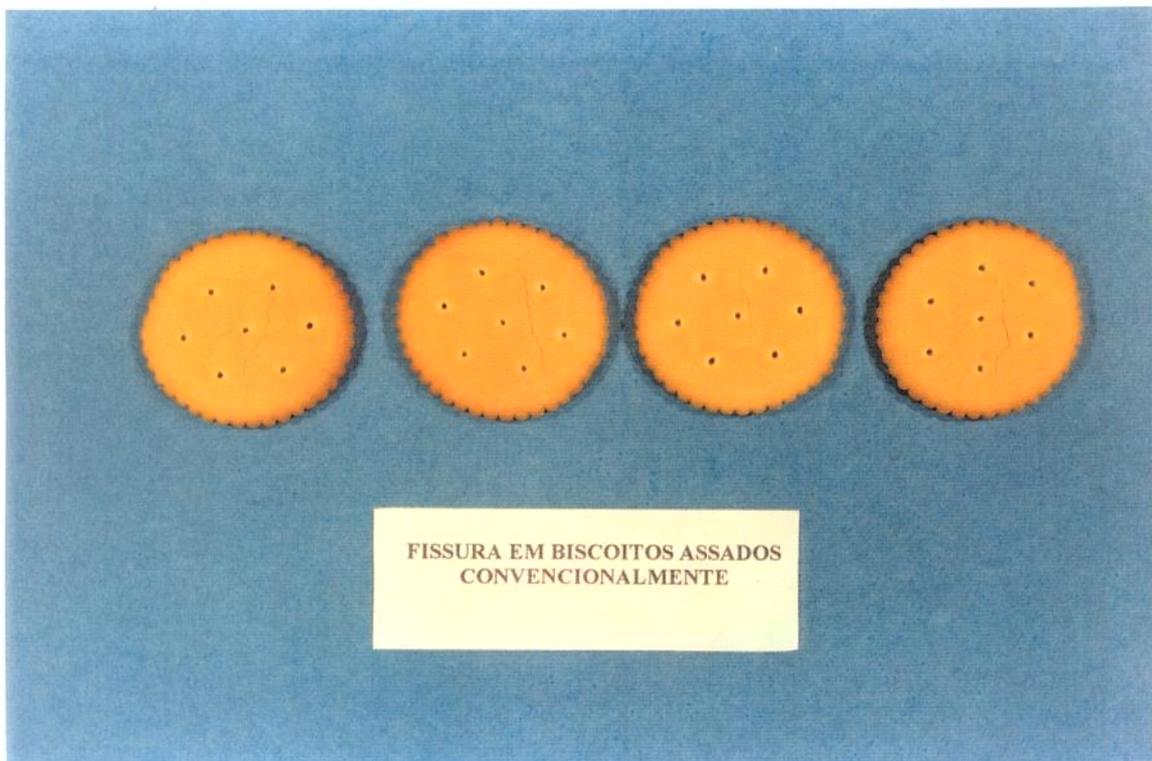


Figura 3: fissura típica em biscoitos.

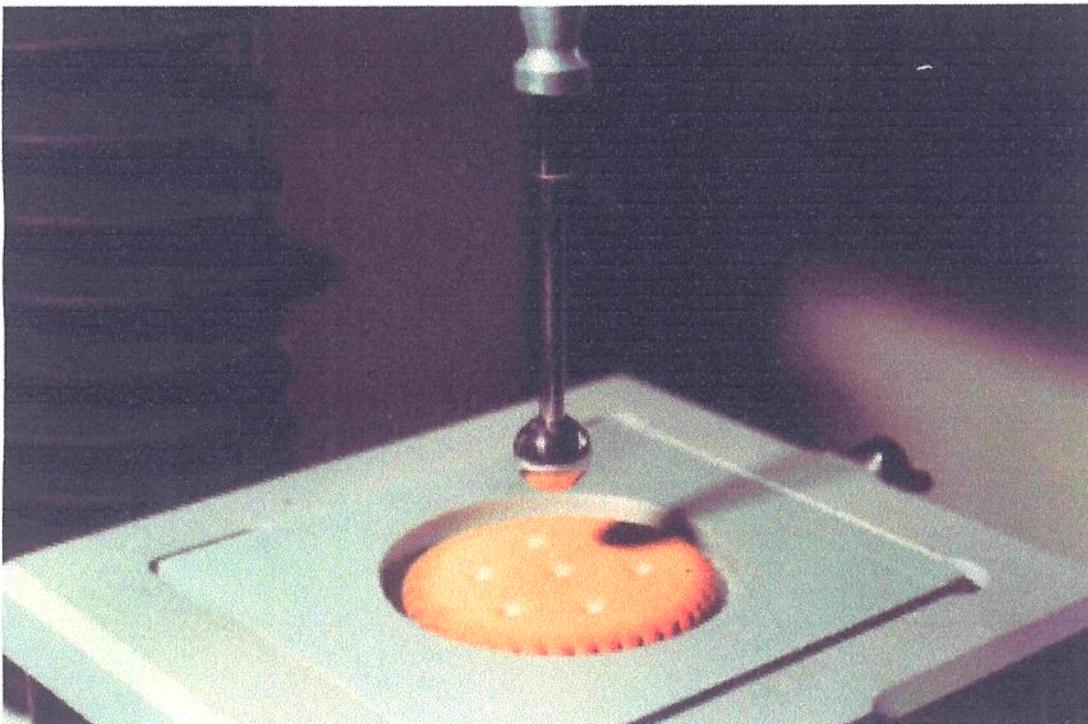


Figura 4: Texture Analyser TA-XT2 sob as condições do teste de dureza.

iii. Fator de expansão (adimensional)

O fator de expansão é definido como a razão entre o diâmetro e a espessura dos biscoitos, e foi calculado utilizando os valores individuais de cada repetição.

iv. Volume (cm³)

O volume dos biscoitos foi determinado por deslocamento de sementes de painço, em cada unidade individual de biscoito. Utilizou-se um funil, apoiado em tripé, para que o painço caísse com velocidade constante sobre o copo localizado logo abaixo, onde o biscoito foi colocado transversalmente sobre metade do volume previamente preenchido com painço. As medidas foram efetuadas em triplicata em um total de 10 biscoitos, tendo sido portanto realizadas 30 medidas.

v. Densidade (g/cm³)

Calculada como a razão entre a massa do biscoito assado e resfriado (g) e o seu volume (cm³).

i. Análise Sensorial

i. Teste de diferença - 2ª etapa do experimento

Foram realizados testes de diferença (triangular) entre as amostras de microondas (23 e 29 segundos nas potências alta e média) e o padrão. As amostras foram codificadas, sua ordem de apresentação foi randomizada, sendo servidos três biscoitos para cada um dos 30 provadores não treinados, distribuídos em cabines individuais, iluminadas com luz branca. A Figura 5 mostra o modelo da ficha utilizada nos testes. Os resultados foram analisados verificando-se diferença significativa ($p < 0.05$) entre as amostras e o padrão, conforme tabela de significância para o teste triangular (ROESSLER, 1948).

ii. Teste de aceitação e atitude - 3ª etapa de experimento

Na amostra selecionada na terceira etapa do experimento foi testada a aceitação e atitude do consumidor com relação a compra do produto. No teste de aceitação utilizou-se escala hedônica estruturada verbal de nove pontos e no teste de atitude uma escala de atitude de 5 pontos. O modelo da ficha utilizada nos testes pode ser visualizado na Figura 6. Os testes foram aplicados para 50 provadores não treinados, distribuídos em cabines individuais, iluminadas com luz branca. Para ambos os testes, os resultados foram analisados de acordo com a porcentagem de ocorrência de cada resposta.

Ficha

Nome _____ data _____

Teste as amostras de biscoito da esquerda para a direita . Duas amostras são iguais e uma é diferente. Identifique com um círculo a amostra diferente.

Comentários: _____

Figura 5: modelo da ficha do teste triangular.

NOME:

DATA:

SEXO: F M

IDADE: < 20 20 a 30 31 a 40 41 a 50 51 a 60 > 60

1- Por favor, prove a amostra e avalie o quanto você gosta ou desgosta, utilizando a escala abaixo:

- gostei extremamente
- gostei muito
- gostei moderadamente
- gostei ligeiramente
- nem gostei / nem desgostei
- desgostei ligeiramente
- desgostei moderadamente
- desgostei muito
- desgostei extremamente

2- Agora indique sua atitude com relação à compra deste produto usando a escala abaixo:

- eu certamente compraria esse produto
- eu provavelmente compraria esse produto
- talvez comprasse talvez não o produto
- eu provavelmente não compraria o produto
- eu certamente não compraria o produto

Figura 6: modelo da ficha dos testes de aceitação e atitude.

J. Análise estatística

1ª etapa do experimento:

Os resultados de gradiente de umidade foram analisados por análise de regressão múltipla de acordo com o procedimento reg do SAS®. A partir do modelo ajustado aos dados experimentais, selecionou-se a região de gradiente de umidade em torno de 1%.

2ª etapa do experimento:

A análise das medidas de textura, cor e gradiente de umidade foi realizada por análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F para comparação de médias a partir da teoria de aleatorização, e a diferença entre as médias das amostras pelo teste de Tukey. Todas as comparações foram feitas ao nível de significância de 5%. O teste sensorial de diferença (triangular) foi analisado de acordo com a tabela de ROESLLER *et all* (1948) que estabelece o número mínimo de julgamentos corretos para estabelecer diferença significativa.

3ª etapa do experimento:

A escolha do tratamento de microondas a ser comparado com o produto padrão baseou-se nas diferenças e similaridades observadas através do teste de Tukey previamente aplicado para cada medida. A comparação entre as medidas físicas do padrão e amostra escolhida foi realizada através do teste F para comparação de médias.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA

A farinha de trigo utilizada na produção dos biscoitos foi caracterizada através de análises químicas, física, físico-química e reológicas.

O açúcar refinado usado na formulação foi caracterizado quanto ao tamanho médio de suas partículas através do teste físico do perfil granulométrico.

a. Análises Químicas

i. Composição centesimal da farinha

A composição centesimal da farinha de trigo pode ser visualizada na Tabela 1. As determinações foram realizadas em triplicata.

Os teores de proteína e cinzas encontrados na amostra estão dentro das faixas para farinhas de trigo comerciais (RANUM *et al*, 1980), no entanto para utilização em biscoitos, as farinhas de trigo devem apresentar um baixo conteúdo de proteína, na faixa de 7 a 9% (SOMERS, 1974; ALCHELE, 1981; WADE, 1988). Com a utilização de farinhas fortes, é usualmente necessário aumentar o teor de gordura da formulação, ou usar amido de milho para ajustar a força da farinha.

O teor de cinzas adequado para biscoitos encontra-se na faixa de 0.36 a 0.44% (JOHNSON *et al*, 1946) e 0.44 a 0.48% segundo MAILHOT & PATTON (1988). O elevado valor encontrado na amostra significa alto grau de extração na moagem do trigo, mas não significa necessariamente que a farinha seja insatisfatória para utilização em biscoitos, pois o conteúdo mineral por si só não está relacionado com a performance do produto final.

O teor de umidade da amostra encontra-se na faixa normalmente reportada para farinhas de trigo para biscoitos, de 12.5 a 14%. A farinha é estável no armazenamento a um conteúdo de umidade de 13%. Com umidades maiores pode ocorrer o crescimento de mofo em algumas semanas. A conteúdos de umidade mais baixos (<12%) o risco de rancidez oxidativa da gordura natural aumenta (KENT, 1975 apud WADE, 1988).

Tabela 1: Composição centesimal da farinha*:

Componente	(% \pm δ)
umidade	12.98 \pm 0.06
proteína	11.56 \pm 0.23
gordura	2.00 \pm 0.06
cinzas	0.99 \pm 0.00
carboidratos	72.47

* medidas realizadas em triplicata

O alto grau de extração da farinha utilizada, verificado através dos níveis encontrados de cinzas e gordura, pode explicar o elevado teor proteico na amostra, que quantifica inclusive proteínas não formadoras de glúten.

Sob o ponto de vista tecnológico, o teste de proteína é mais uma medida quantitativa do nitrogênio presente na farinha, não fornecendo conclusões sobre a qualidade tecnológica da farinha. A qualidade da proteína, ou mais corretamente, as características inerentes ao glúten (elasticidade e extensibilidade), são muito mais importantes do que a quantidade presente na farinha (SMITH, 1972).

b. Análises Físicas

i. Granulometria da Farinha

O tamanho médio das partículas de farinha foi de 163.2 μ .

Os valores numéricos deste fator dependem das condições de moagem e do método de análise usado (WADE, 1988). Em geral, com o aumento do tamanho médio das partículas de farinha, biscoitos semi-doces duros expandem em maior grau, e portanto apresentam menor densidade.

ii. Granulometria do Açúcar

O tamanho médio das partículas de açúcar foi de 195.7 μ , dentro dos níveis relatados na literatura (KISSEL *et al*, 1973).

KISSEL *et al* (1973), estudando o efeito da granulometria do açúcar na avaliação de qualidade de trigo mole para "cookies", observaram uma performance ótimo do teste para tamanho médio de partículas na faixa de 250 a 200 μ . A expansão de "cookies" aumentou com a diminuição do tamanho médio das partículas, e a habilidade em diferenciar duas farinhas de qualidades contrastantes melhorou com açúcares na faixa de 295 a 175 μ . Estes resultados estão em concordância com as observações posteriores de VETTER *et al*, (1984) e ABOUD *et al* (1985a).

c. Análise Físico-Química

i. Capacidade de retenção de água alcalina da farinha

A capacidade de retenção de água alcalina da farinha foi de 58.6%, e encontra-se dentro da faixa relatada na literatura para trigos moles (ABBOUD *et al*, 1985a), sendo portanto adequada para o preparo de biscoitos.

YAMAZAKI (1990), analisando 506 amostras de farinha de trigo obteve correlação altamente significativa ($p < 0.001$) entre a capacidade de retenção de água alcalina da farinha (CRAA) e o diâmetro de "cookies", sendo que este diminui com o aumento da retenção de água alcalina, confirmando os resultados de JEFFERS & RUBENTHALER (1978), que já relataram alta correlação significativa ($r = -0.85$) entre estes parâmetros.

Portanto este teste físico-químico pode servir para predizer o comportamento de panificação de farinhas.

De acordo com JEFFERS & RUBENTHALER (1978), geralmente, mas não sempre, valores de CRAA acima de 60% são associados a trigos duros e valores abaixo de 60% a trigos moles, sendo que condições de clima e solo afetam os valores.

d. Análises Reológicas da Farinha

i. Características farinográficas

A Tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros farinográficos da farinha analisada. O valor de absorção de água de 61% está acima da faixa recomendada por MAILHOT & PATTON (1988) para utilização em biscoito, que é de 50 a 54%, porém JOHNSON *et al* (1946) classificaram farinhas com níveis de absorção de água de 51.1 a 61.7% como próprias para biscoitos.

O tempo de desenvolvimento de 4 minutos encontra-se próximo da faixa ideal de 2 a 3 min. citada por MAILHOT & PATTON (1988), e a estabilidade de 5.5 minutos está acima da faixa citada pelo mesmo autor, de 1 a 3 min. O alto valor do índice de tolerância obtido (60UF) mostra que a farinha é pouco resistente à ação mecânica da mistura, característica de uma farinha fraca.

Através do teste do farinograma conclui-se que a farinha apresenta características de uma farinha de força média, o que é aceitável para produção de biscoitos, uma vez que

normalmente em suas formulações são adicionados agentes diluidores como amido de milho e redutores como os sulfitos.

ii. Características Extensográficas

A extensibilidade de farinhas é uma propriedade frequentemente incluída nas especificações de farinhas para biscoito, WADE (1971).

A Tabela 3 mostra os resultados dos parâmetros extensográficos da farinha analisada.

Os valores de extensibilidade (45, 90 e 135 min) e resistência à extensão (45, 90 e 135 min) da farinha analisada caracterizam uma farinha fraca. Estes resultados estão em concordância com os níveis relatados por MAILHOT & PATTON (1988) para utilização em biscoitos, que especificam extensibilidade média baixa e resistência à extensão baixa, níveis que consideram a necessidade de se prevenir retrações na massa formada ocasionada por alta elasticidade.

De acordo com os resultados dos testes da farinha, a mesma pode ser classificada como média fraca, e apesar de apresentar teor proteico relativamente alto é adequada para produção de biscoito.

iii. Características Viscoamilográficas

As características viscoamilográficas das farinhas podem ser visualizadas na Tabela 4. Seus parâmetros encontram-se dentro dos níveis normais para farinhas de trigos nacionais (TOSELO, 1979).

Os níveis de α -amilase e a quantidade de amido danificado presentes na farinha podem afetar a qualidade de biscoitos, principalmente os de massa fermentada. Através do valor de viscosidade máxima da farinha analisada (650 UA), verifica-se que o teor de α -amilase encontra-se dentro dos níveis para farinha normal (próximo a 500 UA). As farinhas com viscosidades menores que 400 UA são geralmente derivadas de trigos germinados, que contém alto teor de α -amilase.

Tabela 2: Características farinográficas da farinha.

PARÂMETROS	
Absorção de água (%)	61
Tempo de chegada (min)	1.5
Tempo de desenvolvimento (min)	4
Estabilidade (min)	5.5
Índice de tolerância (UF)	60

Tabela 3: Características extensográficas da farinha

PARÂMETROS	TEMPO DO TESTE (min)		
	45	90	135
Resistência à extensão (RE) (UE)	300	290	285
Resistência máxima (RM) (UE)	395	400	390
Extensibilidade (E) (mm)	167	140	160
Número Proporcional (RE/E) (adimensional)	1.80	2.07	1.78
Energia (A) (cm ²)	87.4	70.4	79.0

Tabela 4: Características viscoamilográficas da farinha.

PARÂMETROS	
Viscosidade máxima (UA)	650
Viscosidade mínima (UA)	170
Viscosidade máxima 50°C (UA)	420
T ^a de gelatinização do amido (°C)	54
T ^a de viscosidade máxima (°C)	77.25
Faixa de gelatinização (°C)	23.25

2. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS - 1ª ETAPA

a. Condições de Processamento

As variáveis inerentes ao processamento dos biscoitos podem ser visualizadas na Tabela 5. A temperatura da massa manteve-se na faixa de 36 a 41°C, controlada através de variação na temperatura da água adicionada na massa. O controle da temperatura da massa é importante por afetar as características da mesma, influenciando seu comportamento nas etapas posteriores e nas propriedades do produto final.

De acordo com SMITH (1972) massas semi-doces duras devem ser misturadas até a temperatura atingir 35.5°C, e segundo SOMERS (1974) quando a temperatura da massa alcança valores próximos de 37.5 a 40.5°C, o desenvolvimento mecânico do glúten é concluído. Biscoitos de aparência aceitável foram obtidos de massas dentro de uma certa variação de temperatura, de 32 a 46°C para massas sulfitadas (WADE, 1971a apud WADE, 1988).

O pH médio da massa foi de 8.36. Segundo HOSENEY (1986) o pH é um dos principais fatores que afetam a formação da matriz proteica no sistema de massa, e o pH ideal para biscoito encontra-se próximo de 8.3.

Os valores de umidade da massa encontram-se na faixa normal para biscoitos de massa dura, de 11 a 30% de acordo com WADE (1988).

b. Avaliação da umidade global, gradiente de umidade e porcentagem de quebra

Os resultados de umidade, gradiente de umidade e porcentagem de quebra dos biscoitos são apresentados na Tabela 6.

Podem ser observados na Tabela 7 a análise de variância (ANOVA) para o gradiente de umidade e a estimativa dos efeitos da regressão para o modelo ajustado. O modelo é altamente significativo ($p=0.0001$) e explica 95.73% da variação das respostas. A equação apresentada na Tabela 7 descreve o comportamento do gradiente de umidade em função da potência e tempo de exposição em microondas, dentro dos limites estudados.

Tabela 5: Variáveis do processamento dos biscoitos fabricados por processo convencional e por associação de processo convencional com energia de microondas - 1ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS							
		POTÊNCIA MÉDIA			POTÊNCIA ALTA				
		tempo de exposição	tempo de exposição	tempo de exposição	tempo de exposição	tempo de exposição	tempo de exposição		
Ta ambiente (°C)	25.0	15s	20s	30s	40s	15s	20s	30s	40s
Ta massa (°C)	38.5	17.0	23.5	27.0	23.5	24.5	26.0	22.0	19.0
pH massa**	8.35	36.0	38.0	41.0	38.0	39.5	39.5	36.0	37.5
umidade massa(%)***	21.9932 (0.0291)*	8.50	8.50	8.33	8.35	8.33	8.30	8.30	8.30
		22.3250 (0.0367)*	22.3605 (0.0508)*	22.4069 (0.0423)*	22.2957 (0.0117)*	22.3885 (0.0395)*	22.2718 (0.0233)*	22.2664 (0.0344)*	22.3154 (0.0964)*

*desvio padrão

**medidas em duplicata

***medidas em triplicata

Tabela 6: Efeito da associação da energia de microondas ao processo convencional, na umidade, gradiente de umidade e porcentagem de quebra dos biscoitos - 1ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS							
		POTÊNCIA MÉDIA tempo de exposição			POTÊNCIA ALTA tempo de exposição				
		15s	20s	30s	40s	15s	20s	30s	40s
umidade do biscoito ^{**} (%)	3.3110 (0.0424)*	2.4294 (0.0384)*	2.9453 (0.0626)*	1.8737 (0.0611)*	1.5374 (0.0683)*	2.1481 (0.1171)*	1.6175 (0.0484)*	1.7502 (0.1675)*	1.2222 (0.0712)*
gradiente de umidade ^{***} (%)	2.3788 (0.0434)*	1.5668 (0.0123)*	1.4887 (0.0639)*	0.9709 (0.0498)*	0.5215 (0.0406)*	1.5515 (0.0349)*	1.1128 (0.0717)*	0.4966 (0.0413)*	0.1860 (0.0419)*
porcentagem de quebra ^{****} (%)	47.22	27.77	8.33	0	0	22.22	2.77	0	0

* desvio padrão

** medidas em triplicata

*** medidas em quadruplicata

**** em 36 biscoitos

Tabela 7: Análise de variância e estimativa do efeitos da potência e tempo sobre o gradiente de umidade de biscoitos fabricados por processo convencional associado à energia de microondas.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	P>F
Modelo	2	7.79269	3.89634	325.419	0.0001
Resíduo	29	0.34723	0.01197		
Total	31	8.13992			

$$R^2 = 0.9573$$

Efeitos	Estimativa dos efeitos	T	P > T
intercepto	2.121934	35.639	0.0001
potência	0.300250	7.761	0.0001
tempo	-0.048960	-24.302	0.0001

Equação ajustada ao gradiente de umidade:

$$y = 2.121934 + 0.30025 \text{ pot} - 0.048960 t$$

onde:

y = gradiente;

pot = potência: 0 para potência alta e

1 para potência média

t = tempo em segundos

Os valores de gradiente de umidade dos biscoitos (Tabela 6) mostram que com a introdução de microondas no processo de assamento, houve uma diminuição significativa ($p < 0.05$) dos mesmos, e quanto maior o tempo de exposição em microondas, nas potências média e alta, menor é o gradiente de umidade, sendo que valores menores foram obtidos com a utilização de potência alta em relação à potência média, para os mesmos tempos de exposição.

Com relação ao conteúdo de umidade global do produto, observa-se também uma tendência de diminuição deste com o aumento do tempo de exposição em microondas e com a diminuição do gradiente de umidade, nas potências utilizadas.

A correlação entre gradiente de umidade, umidade global e porcentagem de quebra do produto é apresentada na Tabela 8. Verifica-se que houve uma correlação linear altamente significativa ($p = 0.0007$) entre umidade e gradiente de umidade dos biscoitos, sendo que o gradiente de umidade pode explicar 90.78% da variação dos valores de umidade.

Os resultados confirmam a expectativa de que a redução do gradiente de umidade, devido a introdução de energia de microondas, provoca também uma diminuição no conteúdo global de umidade, no entanto, tecnologicamente não podemos afirmar que outros procedimentos capazes de reduzir o conteúdo de umidade provoquem necessariamente uma queda significativa no gradiente de umidade. A minimização do gradiente de umidade depende de métodos capazes de retirar a umidade interna do produto, diminuindo o diferencial existente entre as partes interna e externa.

Com relação a porcentagem de quebra, os resultados visualizados na Tabela 6 mostram que os tratamentos com quebra nula foram aqueles com tempos de exposição de 30 e 40 segundos nas potências média e alta de microondas, e os gradientes de umidade correspondentes apresentaram valores menores que 1%. O tratamento de 20 segundos em potência alta apresentou uma porcentagem de quebra mínima (2.8%) e gradiente de umidade de 1.1128%. Gradientes acima de 1.5% apresentaram níveis significantes de quebra.

Para um assamento de biscoitos eficiente, SMITH (1972) recomenda gradientes de umidade da ordem de 0.5%, sendo toleráveis valores de até 1%. Níveis maiores provavelmente causam a quebra dos mesmos.

Tabela 8: Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre gradiente de umidade, umidade global e porcentagem de quebra e respectivos níveis de significância (p).

	gradiente de umidade	umidade global	porcentagem de quebra
gradiente de umidade	1.00000 (0.0*)	0.90784 (0.0007*)	0.89157 (0.0012*)
umidade global	0.90784 (0.0007*)	1.00000 (0.0*)	0.79747 (0.0100*)
porcentagem de quebra	0.89157 (0.0012*)	0.79747 (0.0100*)	1.00000 (0.0*)

* nível de significância (p)

Experimentos realizados por WADE (1987) apud WADE (1988), comparando o assamento com radiação infra-vermelho e por convecção forçada, mostraram que com o forno de convecção forçada a incidência de quebra aumentou com o aumento do conteúdo total de umidade acompanhado pelo aumento do gradiente de umidade do produto. Os resultados obtidos com o forno de infra-vermelho confirmaram que pouca ou nenhuma quebra ocorreu nos produtos, independente do seu conteúdo de umidade.

Observa-se através da Tabela 8 que a correlação da porcentagem de quebra com o gradiente de umidade é muito mais forte ($p = 0.0012$ e $R^2 = 0.89157$) do que com a umidade ($p = 0.0100$ e $R^2 = 0.79747$). A Figura 7 mostra a curva exponencial ajustada que relaciona estes parâmetros, para gradientes maiores que 1%.

Os resultados da Tabela 6 mostram que a minimização da porcentagem de quebra está relacionada com gradientes de umidade em torno de 1%. Portanto, selecionou-se um novo delineamento substituindo na equação apresentada na Tabela 7, gradiente de umidade igual a 1% nas potências média e alta. Obteve-se assim os tempos de exposição para as duas potências.

Um novo fatorial completo foi realizado para os tempo de 23 e 29 segundos nas potências média e alta, parte da 2ª etapa do experimento.

3. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE MICROONDAS

A Tabela 9 mostra os resultados das medidas para o cálculo da potência útil do microondas. Os desvios encontrados estão dentro do aceitável para o método, máximo de 5% em relação a média (BUFFLER, 1992).

O valor médio encontrado para a potência útil do microondas é de 745.5 W.

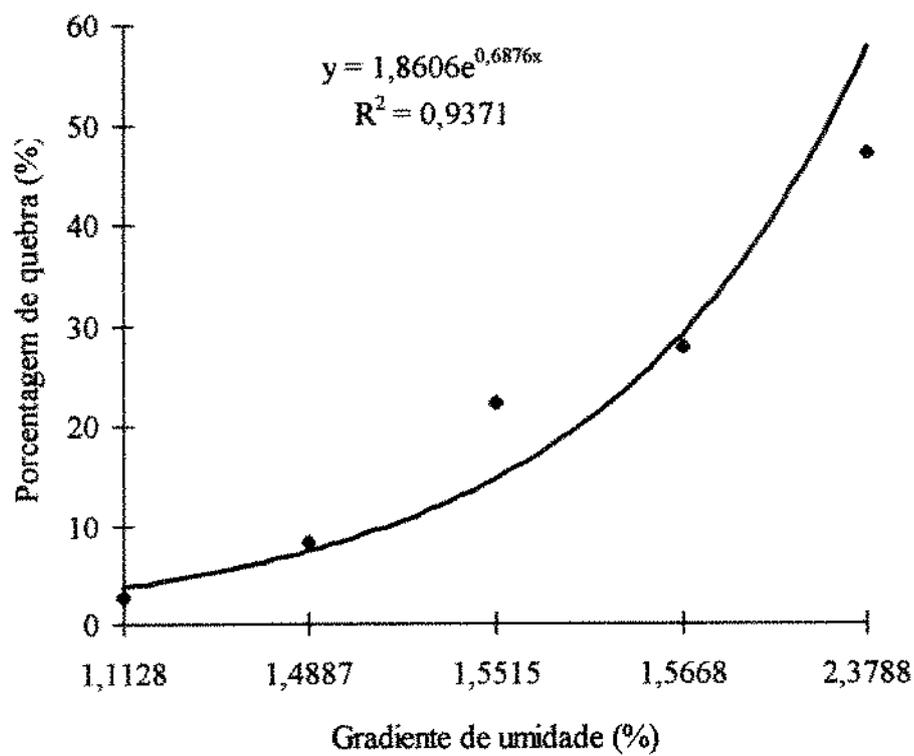


Figura 7: Relação entre gradiente de umidade e porcentagem de quebra.

Tabela 9: Medidas para o cálculo da potência útil do microondas.

Amostra	Repetição	Ti água (°C)	Tf água (°C)	ΔT (°C)	$P=70(\Delta T1+\Delta T2)/2$ (W)	Desvio (%)
1	1	21.8	32.3	10.5	735	1.27
	2	21.8	32.3	10.5		
2	1	21.9	32.5	10.6	749	0.47
	2	21.7	32.5	10.8		
3	1	21.9	32.6	10.7	752.5	0.94
	2	21.8	32.6	10.8		
Total					745.5	

4. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS - 2ª ETAPA

a. Condições de Processamento

As variáveis inerentes ao processamento dos biscoitos podem ser visualizadas na Tabela 10. Os valores de temperatura e pH da massa encontram-se dentro dos níveis normais citados na literatura (WADE, 1971a apud WADE, 1988 e HOSENEY, 1986).

b. Avaliação da umidade global, gradiente de umidade e porcentagem de quebra

O teste de comparação de médias do gradiente de umidade, para o tratamento convencional (potência zero) e tratamentos de microondas em potência média e alta nos tempos de 23 e 29 segundos, pode ser visualizado na Tabela 11 através da análise de variância (ANOVA), que mostra um modelo altamente significativo ($p < 0.0001$).

Os valores médios de gradiente de umidade, umidade global e porcentagem de quebra dos biscoitos encontram-se na Tabela 12. O gradiente de umidade dos biscoitos tratados por microondas foram diferentes significativamente ($p < 0.05$) em relação ao padrão, e menores que o mesmo.

O tratamento de 23 segundos em potência média apresentou gradiente de umidade médio de 1.1716%, maior que 1% conforme era esperado pela equação.

Os tratamentos de 23 segundos em potência alta e 29 segundos em potência média não diferiram significativamente ($p < 0.05$) quanto ao gradiente de umidade (Tabela 12), sendo o primeiro de 0.9392 e o segundo de 0.8854, como previa a equação ajustada ao primeiro experimento.

Tabela 10: Variáveis do processamento dos biscoitos fabricados por processo convencional e por associação de processo convencional com energia de microondas - 2ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS	
		POTÊNCIA MÉDIA tempo de exposição 23s 29s	POTÊNCIA ALTA tempo de exposição 23s 29s
Ta ambiente (°C)	25.0	26.0 27.0	29.0 31.0
Ta massa (°C)	41.0	39.0	41.5 42.0
pH massa**	8.30	8.35	8.30 8.35
umidade massa(%)****	22.0727 0.0796*	22.3417 0.0257*	22.0070 0.0199* 22.1698 0.2177*

*desvio padrão

**medidas em duplicata

***medidas em triplicata

Tabela 11: Análise de variância para o gradiente de umidade de biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	P>F
Modelo	3	5.30834692	1.76944897	257.51	0.0001
potência	2	5.04763456	2.52381728	367.30	0.0001
tempo	1	0.26071236	0.26071236	37.94	0.0001
Resíduo	16	0.10994081	0.00687130		
Total	19	5.41828773			

Tabela 12: Efeito da associação da energia de microondas ao processo convencional, na umidade, gradiente de umidade e porcentagem de quebra dos biscoitos-2ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS	
		POTÊNCIA MÉDIA tempo de exposição 23s	POTÊNCIA ALTA tempo de exposição 29s
umidade do biscoito** (%)	2.7908 0.0972*	2.4685 0.0418*	1.2112 0.0332*
gradiente de umidade*** (%)	2.1633 ^a 0.0800*	1.1716 ^b 0.1272*	0.9392 ^c 0.0364*
porcentagem de quebra****	41.68	2.77	0

* desvio padrão

** medidas em triplicata

*** medidas em quadruplicata

**** em 36 biscoitos

Tratamentos com mesma letra não diferem significativamente ($p < 0.05$) entre si com relação ao gradiente de umidade

O tratamento de microondas por 29 segundos em potência alta apresentou gradiente de umidade médio de 0.7148, não diferindo significativamente ($p < 0.05$) do tratamento por mesmo tempo em potência média (gradiente igual a 0.8854). Pode ser observada uma tendência ao mesmo comportamento para os valores de umidade, sugerindo que houve diferença na retirada de umidade durante o assamento convencional. Este fato pode ser explicado considerando o erro experimental, uma vez que os experimentos foram conduzidos independentemente tendo sido observada uma variação na temperatura do forno convencional da ordem de $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$.

Com relação a porcentagem de quebra, confirmou-se os resultados obtidos na primeira etapa, em que produtos com gradiente de umidade menor que 1% e umidade global menor que 2% apresentaram quebra nula.

c. Avaliação sensorial

i. Teste de diferença

Através do teste triangular, não houve diferença significativa ($p < 0.05$) entre o produto padrão (assamento convencional) e os tratamentos de associação com microondas em potência média e alta nos tempos de exposição de 23 e 29 segundos.

A Tabela 13 mostra o número de acertos entre cada tratamento e o padrão. O número mínimo de acertos para que haja diferença significativa ($p < 0.05$) entre as amostras comparadas é de 15 (ROESSLER *et al*, 1948), tendo em vista a realização de 30 julgamentos.

Portanto, os provadores não conseguiram identificar diferença global entre o produto padrão e cada um dos tratamentos de microondas acima citados.

Tabela 13: Número de acertos para o teste triangular realizado entre biscoitos elaborados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas em potência média e alta.

TRATAMENTO					
Microondas					
potência					
média				alta	
tempo de exposição (s)				tempo de exposição (s)	
23	29	23	29	23	29
9	8	8	8	6	6

d. Avaliação de cor

O teste de comparação de médias da cor (dimensão de luminosidade) pode ser visualizado na Tabela 14 através da análise de variância (ANOVA), que mostra um modelo altamente significativo ($p < 0.0001$).

Com relação à cor, o teste de médias de Tukey realizado nos valores L, dimensão que mede luminosidade, indicou que os produtos submetidos a potência média de microondas não diferem entre si ($p < 0.05$) e também não diferem significativamente ($p < 0.05$) do padrão. Os tratamentos com utilização de potência alta são iguais entre si ($p < 0.05$), mas diferem do produto padrão, que é mais claro ($p < 0.05$), como mostra a Tabela 15.

Também, os tratamentos de potência média não diferiram significativamente ($p < 0.05$) do tratamento de 29 segundos em potência alta ($p < 0.05$), mas diferiram daquele de 23 segundos, o qual correspondeu a um produto mais escuro. Este fato pode ter sido consequência das variações de temperatura no forno convencional ($\pm 2.5^\circ\text{C}$), o que leva ao maior ou menor escurecimento do produto. No entanto, como a variação máxima da luminosidade foi da ordem de 1.95%, pode-se dizer que a utilização de energia de microondas nos níveis testados provoca alterações mínimas de cor em relação ao produto padrão, não sendo estas perceptíveis à detecção humana, como mostram os resultados dos testes de diferença previamente aplicados.

e. Avaliação de textura

A medida de textura dos biscoitos foi realizada pela avaliação do parâmetro de dureza, que está relacionado com a força necessária para quebrar o biscoito. Através da análise de variância observa-se um modelo altamente significativo ($p < 0.0001$) (Tabela 16). O teste F mostra que existe diferença entre as amostras com relação a dureza.

O teste de Tukey mostrou que o produto padrão difere significativamente ($p < 0.05$) dos demais, e é mais duro (Tabela 17). Todos os tratamentos com microondas resultaram em produtos que não diferiram entre si ($p < 0.05$) com relação à dureza.

Tabela 14: Análise de variância para luminosidade de biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	P>F
Modelo	4	33.53630267	8.38407567	6.39	0.0001
Resíduo	145	190.33163667	1.31263198		
Total	149	223.86793933			

Tabela 15: Medida de luminosidade nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas - 2ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS	
		POTÊNCIA MÉDIA tempo de exposição 23s	POTÊNCIA ALTA tempo de exposição 29s
luminosidade (L)*	71.166 ^a	70.763 ^{a,b}	70.331 ^{b,c}

* média de 30 amostras
 Tratamentos com mesma letra não diferem significativamente ($p < 0.05$) entre si com relação a cor

Tabela 16: Análise de variância para dureza medida nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	P>F
Modelo					
amostra	4	1474752.105	368688.026	16.16	0.0001
Resíduo	45	1026804.138	22817.870		
Total	49	2501556.243			

Tabela 17: Medida de dureza nos biscoitos fabricados por processo convencional e processo convencional associado com energia de microondas - 2ª etapa.

VARIÁVEL	PROC. CONVENCIONAL	PROCESSAMENTO CONVENCIONAL ASSOCIADO COM ENERGIA DE MICROONDAS	
		POTÊNCIA MÉDIA tempo de exposição 23s 29s	POTÊNCIA ALTA tempo de exposição 23s 29s
dureza (D)	1601.35a	1250.46b 1207.59b	1183.26b 1109.12b
umidade (%)	2.7248	1.9155 1.9770	1.3621 1.2432

Tratamentos com mesma letra não diferem significativamente ($p < 0.05$) entre si com relação a textura.

Considerando o conteúdo de umidade das amostras (Tabela 18), observa-se que o produto padrão, que é o mais duro, apresenta o maior valor de umidade. Como se deveria supor, existe uma correlação linear significativa ($p = 0.0228$) entre dureza e conteúdo de umidade, sendo que a dureza pode explicar 86.19% da variação dos valores de umidade, resultados apresentados na Tabela 18.

Embora a diferença de dureza detectada entre as amostras tratadas com microondas e o padrão seja grande, ela está abaixo do limiar de detecção humana, uma vez que não foi possível identificar diferença sensorial significativa ($p < 0.05$) através do teste triangular de diferença.

5. PROCESSAMENTO DOS BISCOITOS - 3ª ETAPA

Analisando os resultados obtidos na 2ª etapa do experimento, selecionou-se o tratamento de 29 segundos em potência média de microondas, para as análises posteriores. O produto deste tratamento não diferiu sensorialmente do produto padrão, obteve melhor textura (menor dureza) e mesma cor, porém menor gradiente de umidade e porcentagem de quebra nula.

a. Medidas físicas dos biscoitos

Os resultados das dimensões e perda de peso dos biscoitos padrão (assamento convencional) e amostra selecionada (assamento convencional em associação com microondas em potência média por 29 segundos) são apresentados na Tabela 19.

O valor de fator de expansão (D/E) para biscoitos elaborados por processo convencional foi significativamente maior ($p < 0.05$) do que o tratamento com microondas, mostrando que a energia de microondas exerce um efeito de encolhimento no produto. Este fato pode ser explicado uma vez que na saída do forno convencional os biscoitos estão ainda moles e flexíveis, e com a retirada rápida da umidade residual pelas microondas, é provável que ocorra o movimento de massa. Este efeito pode ser verificado observando a diminuição do diâmetro e aumento da espessura dos produtos submetidos ao microondas em relação ao processo convencional (Tabela 19).

Apesar do efeito de encolhimento, o volume e a densidade permaneceram iguais ($p < 0.05$) para ambos tratamentos (padrão e com microondas).

Tabela 18: Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre dureza e umidade e respectivos níveis de significância (p).

	dureza	umidade
dureza	1.00000 (0.0*)	0.86192 (0.0228*)
umidade	0.86192 (0.0228*)	1.00000 (0.0*)

* nível de significância

Tabela 19: Dimensões e perda de peso dos biscoitos padrão (assamento convencional) e amostra selecionada (assamento convencional em associação com microondas em potência média por 29 segundos) - 3ª etapa.

Medida	Tratamento	
	Processo convencional *2.5699	Associação com potência média 29 seg. *1.5774
D-diâmetro (mm)	51.4690 ^a	50.8820 ^b
E-espessura (mm)	4.5800 ^b	4.7500 ^a
fator de expansão (D/E)	11.3470 ^a	10.7160 ^b
perda de peso(g)	0.9100 ^b	0.9560 ^a
volume (cm ³)	6.7300 ^a	6.9600 ^a
densidade (g/cm ³)	0.5430 ^a	0.5260 ^a

*(umidade do biscoito)

Com relação à perda de peso, os resultados apresentados na Tabela 19 evidenciaram que a retirada da umidade residual pela ação das microondas aumenta a perda de peso do produto. No entanto, a diferença de peso não foi suficiente para distinguir as amostras (padrão e microondas) com relação à densidade.

Portanto, a introdução da energia de microondas no pós-assamento de biscoitos altera muito pouco as medidas físicas do produto, e formando assim produtos estruturalmente semelhantes.

b. Avaliação sensorial dos biscoitos

i. Teste de aceitação e atitude

Na amostra selecionada (29 segundos de exposição em potência média de microondas) foi testada a aceitação e atitude do consumidor com relação a compra do produto, e os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11 respectivamente.

Os resultados mostram boa performance do produto uma vez que 8% dos provadores gostaram extremamente, 50% gostaram muito, 34% gostaram moderadamente e 4% gostaram ligeiramente, totalizando 96% de provadores que gostaram do produto. Apenas 4% desgostaram ligeiramente, sendo esta a porcentagem total de provadores que desgostaram do produto.

A análise sobre a atitude do consumidor com relação a compra do produto (Figura 11) mostra que 24% dos provadores certamente comprariam o produto, 54% provavelmente comprariam, 18% talvez comprassem talvez não, 4% provavelmente não comprariam e nenhum provador não compraria com certeza. Portanto, a atitude do consumidor reflete o seu sentimento com relação ao produto. A porcentagem de provadores que não comprariam o produto coincide com o número de provadores que desgostaram do mesmo.

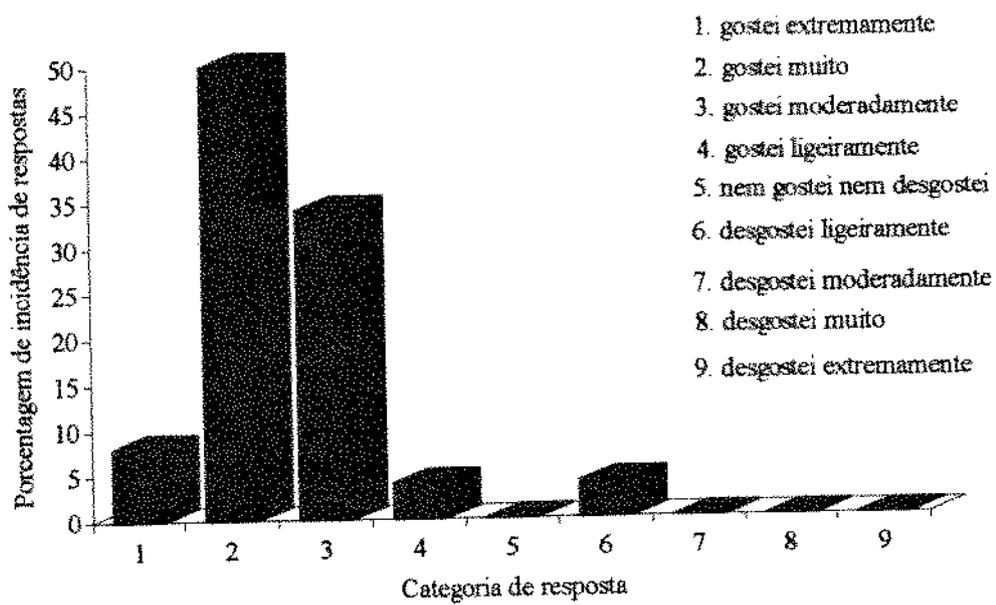


Figura 8: Porcentagem de respostas do teste de aceitação.

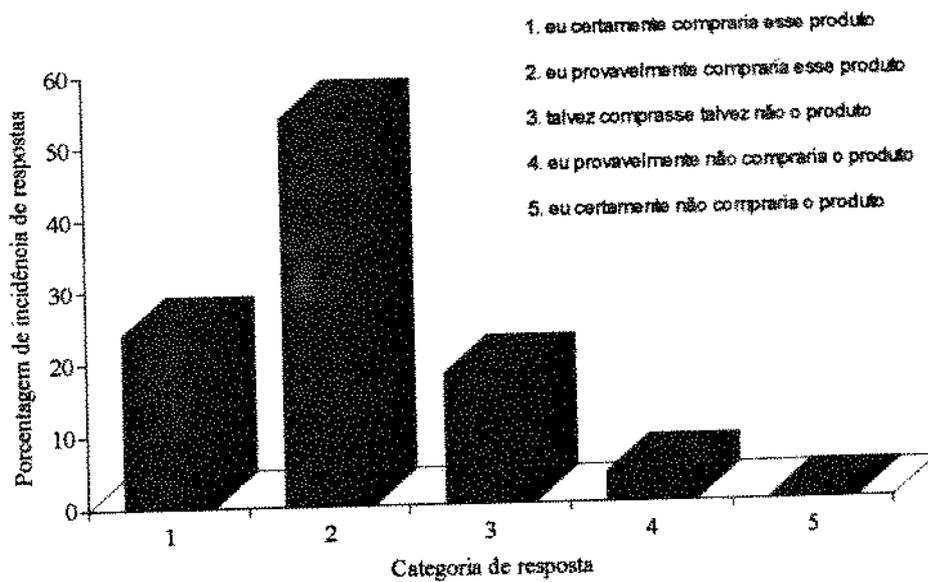


Figura 9: Porcentagem de respostas do teste de atitude.

V. CONCLUSÕES

Ao estudar o efeito da combinação do assamento convencional e energia de microondas na qualidade tecnológica de biscoito semi-doce duro, algumas conclusões podem ser citadas baseando-se nos resultados obtidos:

1. A utilização de níveis crescentes de energia de microondas no pós assamento de biscoitos reduz proporcionalmente o gradiente de umidade dos mesmos em função da diminuição da umidade interna do produto.

2. A minimização do ocorrência de fissura está relacionada com a redução do gradiente de umidade e umidade global do produto, sendo que biscoitos com gradiente de umidade menor que 1% e umidade total menor que 2% apresentaram quebra nula.

3. Os biscoitos assados em forno elétrico convencional a 240°C por 4 minutos e submetidos à energia de microondas (745.5W de potência e 2450mhz de frequência) por 29 segundos, apresentaram redução significativa no gradiente de umidade (de 2.16% para 0.88%) e na incidência de quebra (de 41.7% para zero), não sendo observada diferença sensorial significativa ($p < 0.05$) em relação ao produto padrão. A medida instrumental de cor dos biscoitos não diferiu ($p < 0.05$) do produto padrão, e a textura (dureza) daqueles foi significativamente menor (1207.59g) comparada ao padrão (1601.35g).

4. O valor de fator de expansão (D/E) para biscoitos padrão (11.3) foi significativamente maior do que o tratamento com microondas (10.7), mostrando que a energia de microondas exerce um efeito de encolhimento no produto. Com relação à perda de peso, os resultados evidenciaram que a retirada da umidade residual pela ação das microondas aumenta a perda de peso do produto (de 0.910g para 0.956g). No entanto, a diferença de peso não foi suficiente para distinguir as amostras (padrão e microondas) com relação à densidade.

A introdução da energia de microondas no pós-assamento de biscoitos foi capaz de eliminar o problema de fissura do produto através da diminuição do gradiente de umidade dos mesmos, preservando sua qualidade sensorial e alterando muito pouco as medidas físicas do produto, assim, formando produtos estruturalmente semelhantes permaneceriam garantidos padrões de qualidade do produto.

VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Tendo em vista a eficiência tecnológica do processo estudado neste trabalho, sugere-se a realização de novas pesquisas através da utilização de um processo simultâneo combinando energia de microondas e convecção forçada (circulação de ar quente), no sentido de otimizar a variável tempo de processamento assim como o espaço físico na indústria.

Este trabalho deverá ter continuidade com a investigação da potência de microondas absorvida pelo produto. Esta determinação será realizada mediante aquisição de sensor de temperatura apropriado para introdução em aparelho de microondas, que fornecerá a variação de temperatura durante o tratamento; e cálculo teórico do calor específico do produto. Assim, correlacionado a energia absorvida e o efeito desejado, estarão disponíveis as informações necessárias para trabalhos futuros de dimensionamento de equipamento, tanto para utilização de processo simultâneo de aquecimento convencional e microondas quanto em combinação sequencial dos mesmos.

VII. BIBLIOGRAFIA

- .AACC - American Association of Cereal Chemists, Approved Methods. 7. ed. St. Paul, 1969.
- .AACC - American Association of Cereal Chemists, Approved Methods. 8. ed. St. Paul, 1983, v.1-2.
- .ABBOUD, A. M.; HOSENEY, R. C. Differential scanning calorimetry of sugar cookies and cookie doughs. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 61(1): 34-37, 1984.
- .ABBOUD, A. M.; HOSENEY, R. C.; RUBENTHALER, G. L. Effect of fat and sugar in sugar-snap cookies and evaluation of tests to measure cookie flour quality. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 62(2): 124-129, 1985a.
- .ABBOUD, A. M.; HOSENEY, R. C.; RUBENTHALER, G. L. Factors affecting cookie flour quality. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 62(2): 130-133, 1985b.
- .ALCHELE, W. J. Cookie and cracker processing. **Cereal Foods World**, St. Paul, 26(4): 161-165, 1981.
- .ANNIS, P. J. Design and use of domestic microwave ovens. **Journal of Food Protection**, 43(8): 629-632, 1980.
- .AXFORD, D. W. E.; GREENWOOD, C. T. How research improves bakery products. **Food Manufacture**, 48(8): 29-33, 1973.
- .BLIGH, E. G.; DYER, W. D. A rapid method of total lipid: extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.**, 37: 911, 1959.
- .BOURAOUI, M.; RICHARD, P.; FICHTALI, J. A review of moisture content determination in foods using microwave oven drying. **Food Research International**, 26(1): 49-57, 1993.
- .BRUNO, M. E. C. **Utilização de proteases de origem bacteriana e fúngica na produção de biscoitos semi doces duros**. Campinas, 1989. Tese (mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- .BUFFLER, C.R. Power measurement test procedures. In: BUFFLER, C.R. **Microwave cooking and processing: Engineering fundamentals for the food scientist**. New York: AVI Book, 1993. Appendix 5, p. 157-158.
- .COLLINS, M. J.; NEAS, E.D. Microwave heating: theoretical concepts and equipment design. In: KINGSTON, H.M.; JASSIE, L.B. **Introduction to microwave sample preparation**. 2 ed. Washington: American Chemical Society, 1988. cap. 2, p. 20.
- .DECAREAU, R. V. Microwave food processing equipment throughout the world. **Food Technology**, 40(6): 99-105, 1986.
- .DOESCHER, L.C.; HOSENEY, R.C.; MILLIKEN, G.A. A mechanism for cookie dough setting **Cereal Chemistry**, St. Paul, 64(3): 158-63, 1987.
- .DUNN, J.A.; BAYLEY, C.H. Factors influencing checking in biscuits. **Agricultural Biochemistry**. Minnesota Agricultural Experiment Station, St. Paul, 5: 395-430, sept. 1928.
- .EL-DASH, A. Qualidade tecnológica do trigo nacional brasileiro. O problema da α -1,4-glucan-4-glucanohidrolase (alfa-amilase). **Ciência e Cultura**, São Paulo, 28(6):684-8, 1977.
- .EL-DASH, A.; DIAZ, N.A.M.; CAMARGO, C.R.O. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. (Série Tecnologia Agroindustrial, 6).
- .FAKHOURI, M.O.; RAMASWAMY, H.S. Temperature uniformity of microwave heated foods as influenced by product type and composition. **Food Research Internation**, 26(2): 89-95, 1993.
- .HARRISON, D. L. Microwave versus conventional cooking methods: effects on food quality attributes. **Journal of Food Protection**, 43(8): 633-637, 1980.
- .HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural process engineering**. 2.ed. New York: John Willy & Sons Inc., 1955.
- .HOSENEY, R. C. Soft Wheat Products. In: HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. 1. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. cap. 11, p.245-276.

- .JEFFERS, H.C.; RUBENTHALER, G.L. High-yielding european wheats: determination of pastry end-use properties. **Bakers Digest**, 52(1): 39-43, 1978.
- .JEPPSON, M. R. Consider microwaves. **Food Engineering**, 36(11): 49-52, 1964.
- .JOHNSON, J.A.; SHELLENBERGER, J.A.; SWANSON, C.O. Farinograms and mixograms as a means of evaluating flours for specific uses. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 23 (4) : 389 - 399, 1946.
- .JORDAN, E. C.; BALMAIN, K. G. **Eletromagnetic waves and radiating systems**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1968.
- .KINGSTON,H.M.; JASSIE,L.B. Monitoring and predicting parameters in microwave dissolution. In: KINGSTON,H.M.; JASSIE,L.B. **Introduction to microwave sample preparation**. 2 ed. Washington: American Chemical Society, 1988. cap. 6, p. 103-104, 111-112.
- .KISSEL, L. T.; MARHALL, J. A.; YAMAZAKI, W. T. Effect of variability in sugar granulation on the evaluation of flour cookie quality. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 50(3): 255-264, 1973.
- .MAILHOT; PATTON, Criteria of flour quality. In: POMERANZ, Y. **Wheat chemistry and technology**. 3 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. cap. 2, p. 84.
- .MINETT, P. J.; WITT, J. A. Radio frequency and microwaves. **Food Processing Industry**, 45(532): 36-44, 1976.
- .MORETH, N. W. Cookie and cracker ovens-Part I. **American Institute of Baking Bulletin**. Donald Dubois ed., 9(6), 1987, 8p.
- .MUDGETT,R.E. Microwave properties and heating characteristics of foods. **Food Technology**, 40(6): 84-93, 1986.
- .MUDGETT, R. E. Microwave food processing. **Food Technology**, 43(1): 117-126, 1989.
- .PRATT, D. B. Jr. Criteria of flour quality. In: POMERANZ, Y. **Wheat chemistry and technology**. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1978. cap. 5, p.201-225.

- BYLER, E. J. **Baking Science and Technology**. Chicago: Siebel Publishing Company, 1973. 891p.
- RANUM, P. M.; BARRET, F. F.; LEOWE, R. J.; KULP, K. Nutrient levels in internationally milled wheat flours. **Cereal Chemistry**, St. Paul, 57(5) 361-366, 1980.
- ROESSLER, E. B.; WARREN, J.; GUYMON, J. F. **Food Research**, 13(6): 503-505, 1948.
- SCHIFFMANN, R.F.; ROTH, H.; STAIN, E.W.; KAUFMAN, H.B.Jr., ROCHHAUSER, A.; CLARK, F. Applications of microwave energy to doughnut production. **Food Technology**, 25(7): 58-62, 1971.
- SCHIFFMANN, R. F. Microwaves challenge today's heat processing. **Food Engineering**, 47 (11): 72-76, 1975.
- SCHIFFMANN, R.F. Food product development for microwave processing. **Food Technology**, 40(7): 94-98, 1986.
- SCHIFFMANN, R. F. Microwaves processing in the U.S. food industry. **Food Technology**, 46(12): 50-56, 1992.
- SMITH, W.H. **Biscuits, crackers & cookies: technology, production & management**. New York: MFI, 1972. v.1. 737p.
- SOMERS, J. F. Semi-sweet biscuits: a guide to their production. **Candy and Snack Industry**, 35-36, 59-60, october, 1974.
- STANDING, C.N. Individual heat transfer modes in band oven biscuits baking. **Journal of Food Science**, Minneapolis, 39(2): 267-271, 1974.
- TANILLI, V. H. Characteristics of wheat and flour for cookie and cracker production. **Cereals Foods World**. 21(12): 624-625, 627-628, 644, 1976.
- TOSELLO, Y. **Avaliação dos métodos de processamento e controle de qualidade na indústria de panificação**. Campinas, 1979. Tese (mestrado). FEA/UNICAMP, 97p.
- TSEN, C. C. Microwave energy for bread baking and its effect on the nutritive value of bread: a review. **Journal of Food Protection**, 43(8): 638-640, 1980.

- .TURHAN, M.; OZILGEN, M. Effect of oven temperature variations up on the drying behavior of thin biscuits. *Acta Alimentaria*, 20 (3-4): 197-203, 1991.
- .VETTER, J. L., BRIGHT, H.; UTT, M.; Mc MASTER. Cookie formulating: sugar, mixing affect specific gravity, spread. *Bakers Digest*, 58(7): 6-9, 1984.
- .VITTI, P.; MOREIRA, R.T.; BAR, W.H. Estudo tecnológico da cultivar de trigo nacional IAC-18BA. *Bol. ITAL, Campinas*, 19(2): 183-194, 1982.
- .VITTI, P.; GARCIA, E. E. C.; OLIVEIRA, L. M. *Tecnologia de biscoitos. Manual Técnico n° 1*. Campinas, ITAL, 1988.
- .ZELENIL, L. Criteria of wheat quality. In: POMERANZ, Y. *Wheat chemistry and technology*. 2 ed. St. Paul, Minesota: AACC, 1978. cap. 2, p. 19-49.
- .WADE, P. A survey in biscuit making techines in United Kingdon. *Chemistry an Industry*; 16 (5): 639-643, 1970.
- .WADE, P. The effect of flour quality on the properties of semi-sweet biscuits. *Food Trade Review*; 41(7): 19-25, 1971.
- .WADE, P. Biscuit baking by near infrared radiation. *J. of Food Processing Engineering*, 6(3): 165-175, 1987.
- .WADE, P. *Biscuits, cookies & crackers: The principles of the craft*. New York: Elsevier Applied Science, 1988. v. 1. 176p.
- .YAMAZAKI, W. T. Recent soft wheat quality research. *Bakers Digest*, 30(5): 35, 1956.
- .YAMAZAKI, W. T. The application of heat in the test of flours for cookie quality. *Cereal Chemistry*, St. Paul, 36(1): 59-69, 1959.
- .YAMAZAKI, W.T. An alkaline water retention capacity test for the evaluation of cookie baking potentialities of soft winter wheat flours. *Cereal Foods World*, 35(2):268-246,1990.
- .ZABIK, M. E.; FIERKE, S. G.; BRISTOL, D. K. Humidity effects on textural characteristics of sugar-snap cookies. *Cereal Chemistry*, St. Paul, 56(1): 29-33, 1979.

APÊNDICE 1

Procedimento para Medida de Potência

IMPI 2 - Liter Test

(Adaptado de Buffler, C. 1991. Um guia para medida de potência útil de consumo de fornos de microondas. *Microwave World* 10(5):15).

Operar o forno em sua voltagem padrão regulado no alto com uma carga de $2000 \pm 5\text{g}$ colocada em dois béquers de 1 litro tais como Pyrex 1000 ou Kimax 1400. Os béquers devem inicialmente permanecer a temperatura ambiente. A temperatura inicial da água deve ser $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ($64.5\text{-}71.5^\circ\text{F}$), medida após a água ser colocada nos béquers e antes de introduzi-los no forno de microondas. Os béquers devem ser colocados no centro do forno, um ao lado do outro no sentido da largura da cavidade, e encostados. O forno deve ser ligado por 2 minutos e 2 segundos. Os béquers são removidos do forno e as temperaturas finais são medidas e anotadas.

A potência é calculada pela seguinte fórmula:

$$P(W) = 70 \times [\Delta T1 (^{\circ}\text{C}) + \Delta T2 (^{\circ}\text{C})] / 2$$

onde $\Delta T1$ e $\Delta T2$ são as diferenças de temperatura da água dos dois béquers, calculada subtraindo a temperatura inicial da água da temperatura final.

A medida da potência deve ser feita três vezes, sendo a potência do forno a média das três leituras. Se alguma medida individual é maior que 5% da média, o teste todo deve ser repetido.

Obs: O forno deve ser pré-aquecido por aquecimento de 2 L. de água por 5 minutos, limpando após a cavidade com um pano úmido frio.

Obs: A água em cada recipiente deve ser bem agitada antes das medidas de temperatura inicial e final. Um objeto pequeno, tal como uma colher plástica ou um cabo de uma colher de madeira deve ser usado. Não use metal! A temperatura deve ser medida com um termômetro ou um termopar com resolução de 0.1°C . Tais instrumentos podem ser obtidos de casas fornecedoras de químicos.