UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica
Área de Tecnologia de Alimentos

Modificações estruturais de produtos panificados por processos de
tratamentos térmico e bioquímico

Mauricio Sergio Esteller

Tese para obtenção do grau de
DOUTOR

Orientador:
Prof^a. Dr^a. Suzana Caetano da Silva Lannes

São Paulo
2007

Ficha Catalográfica
Elaborada pela Divisão de Biblioteca e
Documentação do Conjunto das Químicas da USP.

E79m Esteller, Mauricio Sergio
Modificações estruturais de produtos panificados por
processos de tratamentos térmico e bioquímico / Mauricio
Sergio Esteller. -- São Paulo, 2007
150p.

Tese (doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Tecnologia
Bioquímico-Farmacêutica.

Orientador: Lannes, Suzana Caetano da Silva

I. Panificação : Manufatura 2. Pão : Manufatura I. T.
II. Lannes, Suzana Caetano da Silva, orientador.

664.752 CDD

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Mauricio Sergio Esteller

Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico
e bioquímico

Comissão Julgadora

da

Tese para obtenção do grau de Doutor

Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes
orientador/presidente

Prof. Dr. Adalberto Pessoa Júnior

Profa. Dra. Denise Calil Pereira Jardim

Profa. Dra. Jane Gonçalves Snow

Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas

São Paulo, 11 de Abril de 2007

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Relatório de Defesa

Relatório de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Mauricio Sergio Esteller no Programa: Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, do(a) Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo.

Aos 11 dias do mês de abril de 2007, no(a) Auditório realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Mauricio Sergio Esteller, apresentada para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica - Área: Tecnologia de Alimentos, intitulada:

"Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Vínculo do Docente	Sigla da Unidade	Resultado
Suzana Caetano da Silva Lannes	Presidente	FCF - USP	aprovado
Denise Calil Pereira Jardim	Titular	EMVINCULO - Extern	Aprovado
Adalberto Pessoa Junior	Titular	FCF - USP	APROVADO
Jose Alfredo Gomes Areas	Titular	FSP - USP	APROVADO
Jane Gonçalves Menegaldo Snow	Titular	EMVINCULO - Extern	APROVADO
Resultado Final:			
Parecer da Comissão Julgadora *			

Comentários da Defesa (opcional)

Eu, Mirian Bernardes Lopes Alves, Secretária, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 11 dias do mês de abril de 2007.

Denise Calil Pereira Jardim

Jose Alfredo Gomes Areas

Suzana Caetano da Silva Lannes
Orientador(a)

Adalberto Pessoa Junior

Jane Gonçalves Menegaldo Snow

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

Nos termos do artigo 110, do RG-USP, encaminhe-se o presente relatório à CPG, para homologação.

Impresso em: 10/04/2007

À Roseles e Nadja

AGRADECIMENTOS

À minha Orientadora Prof^a Suzana Lannes pelas discussões, sugestões, competência, amizade e entusiasmo.

Aos Professores da Faculdade de Ciências Farmacêuticas pelo apoio e amizade.

Aos alunos da Pós-Graduação que enriqueceram, cada um a seu modo, nossa convivência; em particular Chiu, Denise e Elieste, pela troca de experiências e momentos de descontração.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica pelo apoio.

Aos funcionários da Biblioteca do Conjunto das Químicas, especialmente Adriana Barreiros pela amizade e ajuda.

Ao Sr. Sergio de Freitas Spínola da empresa Kim Neto Ind. Com. de Panificação Ltda., no empréstimo de equipamentos e apoio ao projeto.

À CAPES pela concessão de bolsa.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

RESUMO

Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico

Pães são produtos assados, obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas. É um produto popular consumido na forma de lanches, acompanhando refeições, apreciado pela sua aparência, aroma, sabor, variedade, preço e disponibilidade.

Este trabalho trata do mercado atual de panificação e a necessidade do desenvolvimento de novos produtos, através de processos alternativos de produção.

São propostos métodos de fermentação mista com kefir, processo de fermentação com esponja e escaldamento de cereais.

Os ensaios foram conduzidos através de delineamentos experimentais específicos, utilizando a metodologia por superfície de resposta.

A partir dos resultados obtidos pôde-se confirmar a viabilidade de produzir-se amostras com propriedades mecânicas e sensoriais diferenciadas das atualmente existentes.

Palavras-chave: Pão, panificação, textura, legislação de alimentos brasileira.

ABSTRACT

Structural changes of bakery products by thermal and biochemical treatments

Bread is a popular product consumed as a sandwich or during mealtime and appreciated by its appearance, flavor, taste, price, and availability.

This work deals with the current market of bakery products and the necessity of the development of new products and the necessity of the development of new products, through alternative production processes.

Methods of fermentation using kefir, fermentation sponge process, and cereals scalding were considered.

The experiments had been lead through specific experimental design, using the surface response methodology.

From the obtained results could be confirmed the viability to produce samples with differentiated mechanical and sensory properties of the currently existing ones.

Keywords: Bread, bakery products, baked products, texture, brazilian food legislation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Gráfico da evolução do mercado de produtos panificados no Brasil, de 2003 a 2006: faturamento, padarias e consumo de pão <i>per capita</i>	2
Figura 2. Esquema dos fatores que podem influenciar as mudanças estruturais em produtos panificados.....	3
Figura 3. Representação da microestrutura da massa de pão.....	5
Figura 4. Esquema do processo de gelatinização do amido.....	9
Figura 5. Esquema do processo de oxidação do glúten na massa.....	12
Figura 6 Estrutura do miolo de pães <i>Ciabatta</i> e pão de forma.....	13
Figura 7 Texturômetro TA. XT2 utilizado para análise da textura de pão de forma.....	28
Figura. 8. Espectrofotômetro HunterLab UltraScam TM XE utilizado para análise da cor de pães.....	29
Figura 9 <i>Scanner HP Scanjet 2400</i> utilizado para análise do miolo dos pães.....	30
Figura 10 Estufa para secagem dos pães na análise de umidade.....	30
Figura 11 Copo de vidro e cilindro graduado utilizados para avaliação do volume das amostras.....	31
Figura 12 Amostra de leite inoculado com grãos de kefir.....	48
Figura 13 Processo de desenvolvimento da massa de pão durante batimento.....	50
Figura 14 Amostras do miolo de pão obtidas por escaneamento das fatias a) formulação controle, b) formulação 5 com kefir.....	53
Figura 15 Corte transversal de amostra do pão com kefir (formulação nº 5) mostrando a formação de estrutura porosa, com alvéolos grandes, resultante da fermentação prolongada.....	58
Figura 16 Gráficos correlacionando a área média (mm ²) com cor (brilho) do miolo L* e a área média (mm ²) em relação à firmeza das amostras (N).....	63
Figura 17 Esquema do Processo Esponja utilizado na produção dos pães.....	68
Figura 17a Fluxograma do processo esponja para a produção dos pães	73
Figura 18. Diferentes processos de fabricação de pães: (a) contínuo; (b) esponja; (c) esponja + fermentação mista.....	80

Figura 19 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro área média.....	81
Figura 20 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro diâmetro médio.....	82
Figura 21. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro perímetro médio.....	83
Figura 22 Não homogeneidade na distribuição dos alvéolos das fatias dos pães....	84
Figura 23 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro firmeza..	86
Figura 24. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro coesividade.....	87
Figura 25 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro elasticidade.....	88
Figura 26. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro mastigabilidade.....	89
Figura 27 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor do miolo (brilho) L*	91
Figura 28 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor a* do miolo.....	92
Figura 29. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor b* do miolo.....	93
Figura 30. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro volume específico.....	95
Figura 31. Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro umidade.....	97
Figura 31a Efeito do fermento biológico nas respostas dos parâmetros: área média (mm ²), firmeza (N), brilho do miolo e volume específico (mL/g).....	98
Figura 32. Fluxograma do processo para obtenção dos pães.....	109
Figura 33 Produção das amostras de pão escaldado no laboratório: a) pesagem; b) esponja; c) escaldamento; d) massa; e) pão escaldado.....	110
Figura 34. Imagem digital do miolo - pão de centeio.....	114
Figura 35. Diagrama geral do processo.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Porosidade do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais.....	3
Tabela 2 Textura do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais	5
Tabela 3 Cor do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais.....	38
Tabela 4 Volume específico, densidade e umidade dos diferentes produtos comerciais.....	40
Tabela 5 Formulações utilizadas na produção dos pães com kefir	49
Tabela 6 Respostas obtidas para a porosidade do miolo.....	54
Tabela 7 Respostas obtidas para os parâmetros de textura das amostras	56
Tabela 8 Respostas obtidas para a cor das amostras de pães com kefir e formulação controle.....	59
Tabela 9 Respostas obtidas para os parâmetros volume específico, densidade e umidade das amostras de pães produzidas com kefir e formulação controle.....	61
Tabela 10. Planejamento experimental (a).....	72
Tabela 11. Planejamento experimental (b).....	72
Tabela 12. Formulações utilizadas para o pão de forma.....	73
Tabela 13. Respostas do planejamento experimental.....	76
Tabela 14 Coeficientes da regressão e determinação (*) das equações.....	77
Tabela 15. Análise da Variância (ANOVA) área média dos alvéolos.....	81
Tabela 16. Análise da Variância (ANOVA) diâmetro médio dos alvéolos.....	82
Tabela 17. Análise da Variância (ANOVA) perímetro médio dos alvéolos.....	83
Tabela 18. Análise da Variância (ANOVA) firmeza (dureza).....	86
Tabela 19. Análise da Variância (ANOVA) coesividade.....	87
Tabela 20. Análise da Variância (ANOVA) elasticidade.....	88
Tabela 21. Análise da Variância (ANOVA) mastigabilidade.....	89
Tabela 22. Análise da Variância (ANOVA) L*miolo.....	91
Tabela 23. Análise da Variância (ANOVA) a*miolo.....	92
Tabela 24. Análise da Variância (ANOVA) b*miolo.....	93
Tabela 25. Análise da Variância (ANOVA) volume específico.....	95

Tabela 26. Análise da Variância (ANOVA) umidade.....	97
Tabela 27 Formulações utilizadas: pão com farinha centeio escaldada.....	108
Tabela 28. Formulações utilizadas: pão com flocos centeio escaldados.....	108
Tabela 29. Cor da pasta de cereais escaldados.....	113
Tabela 30 Área dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.....	116
Tabela 31 Diâmetro dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.....	118
Tabela 32. Perímetro dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.....	118
Tabela 33 Firmeza e coesividade das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.....	120
Tabela 34 Mastigabilidade e elasticidade das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.....	120
Tabela 35. Cor do miolo:pão com farinha centeio e flocos escaldados.....	124
Tabela 36 Volume específico e umidade de pães com farinha e flocos de centeio.....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Valor energético dos produtos panificados.....	7
Quadro 2. Umidade média em pães.....	8
Quadro 3. Parâmetros em alimentos com incorporação de ar.....	11
Quadro 4 Comparativo dos processos de fabricação de pães.....	17

LISTA DE NOMENCLATURAS

AACC - American Association of Cereal Chemists

CCD - *Charge Coupled Device*

DCI - Diário do Comércio e Indústria (Jornal)

FAU - *Fungal Amylase Unit*

PIQ - Parâmetros de Identidade e Qualidade

RSM - *Response Surface Methodology*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1:

Introdução.....	1
Definição.....	1
Origem do pão.....	1
1.3. Mercado de panificação.....	1
1.4. Tendências.....	2
1.5. Delineamento estrutural.....	3
1.5.1. Cor.....	4
1.5.2. Textura.....	4
1.5.3. Porosidade.....	5
1.5.4. Aroma e sabor.....	5
1.5.5. Digestibilidade.....	6
1.5.6. Valor energético.....	7
1.5.7. Umidade.....	7
1.5.8. Conservação.....	8
1.5.9. Simetria.....	9
1.6. Ingredientes.....	10
1.6.1. A importância do ar e/ou CO ₂ como ingredientes.....	11
1.6.2. Escurecimento da massa e escaldamento.....	11
1.7. Legislação para alimentos aerados.....	14
1.8. Fermentação.....	15
1.8.1. Processos de fabricação.....	16
1.9. Parâmetro de qualidade e análise de produtos panificados.....	17
1.9.1. Análise instrumental	17
1.9.2. Captura de imagens por <i>scanner</i>	18
1.9.3. Espectrofotômetros e análise de cor.....	19
1.10. Metodologia por superfície de respostas (RSM).....	19
1.11. Referências.....	20
CAPÍTULO 2: Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados.....	25

2.1. Resumo.....	25
2.2. Abstract.....	25
2.3. Introdução.....	25
2.4. Material e métodos.....	26
2.4.1. Textura.....	27
2.4.2. Análise da cor.....	28
2.4.3. Porosidade do miolo (alvéolos).....	28
2.4.4. Análise da umidade.....	29
2.4.5. Análise do volume.....	30
2.5. Resultados e discussão.....	31
2.5.1. Porosidade (estrutura alveolar).....	31
2.5.2. Textura.....	33
2.5.3. Cor.....	35
2.5.4. Volume específico e densidade.....	38
2.5.5. Umidade.....	40
2.6. Conclusões.....	40
2.7. Referências bibliográficas.....	41
CAPÍTULO 3: Efeitos da adição de kefir nos parâmetros de microestrutura e propriedades físicas de pão de forma poroso.....	42
3.1. Resumo.....	42
3.2. Abstract.....	42
3.3. Introdução.....	43
3.4. Material e métodos.....	45
3.4.1. Obtenção do kefir.....	45
3.4.2. Produção dos pães.....	45
3.4.3. Avaliação das amostras.....	47
3.4.4. Porosidade do miolo.....	47
3.4.5. Análise da textura (TPA).....	48
3.4.6. Cor.....	48
3.4.7. Propriedades físicas.....	48
3.4.8. Vida de prateleira.....	49
3.4.9. Avaliação estatística.....	49

3.5. Resultados e discussão.....	49
3.5.1. Porosidade do miolo.....	49
3.5.2. Textura.....	52
3.5.3. Cor.....	54
3.5.4. Volume, umidade, vol. específico e densidade.....	57
3.5.5. Vida de prateleira.....	59
3.5.6. Correlações entre microestrutura e propriedades físicas.....	59
3.6. Conclusões.....	60
3.7. Referências bibliográficas.....	61

CAPÍTULO 4: Aeração de pão de forma produzido pelo método de esponja:

Análise por superfície de resposta.....	64
4.1. Resumo.....	64
4.2. Abstract.....	64
4.3. Introdução.....	65
4.4. Material e métodos.....	66
4.4.1. Aquisição e análise de imagens.....	67
4.4.2. Análise da textura.....	68
4.4.3. Avaliação da cor.....	68
4.4.4. Propriedades físicas.....	68
4.4.5. Análise estatística.....	69
4.5. Resultados e discussão.....	71
4.5.1. Planejamento experimental.....	71
4.5.2. Porosidade.....	76
4.5.3. Textura.....	81
4.5.4. Cor.....	87
4.5.5. Volume específico.....	91
4.5.6. Umidade.....	93
4.6. Conclusões.....	95
4.7. Referências bibliográficas.....	96

CAPÍTULO 5: Produção e caracterização de pão com centeio escaldado

5.1. Resumo.....	98
------------------	----

5.2. Abstract.....	98
5.3. Introdução.....	99
5.4. Material e métodos.....	100
5.4.1. Escaldamento e preparação dos pães.....	100
5.4.2. Aquisição e análise de imagens.....	104
5.4.3. Análise da textura.....	104
5.4.4. Avaliação da cor.....	105
5.4.5. Propriedades físicas.....	105
5.4.6. Análise estatística.....	105
5.5. Resultados e discussão.....	106
5.5.1. Cor da pasta dos cereais escaldados.....	106
5.5.2. Análise da porosidade do miolo.....	107
5.5.3. Perfil de textura (TPA).....	113
5.5.4. Cor dos pães.....	116
5.5.5. Volume específico.....	119
5.5.6. Umidade.....	121
5.6. Conclusões.....	121
5.7. Referências bibliográficas.....	123
Conclusão geral e sugestões para novos trabalhos.....	125
APÊNDICE 1 - Termos equivalentes.....	126
APÊNDICE 2 - Figuras e tabelas complementares.....	127
ANEXO I - Legislação.....	144
ANEXO II – Especificações da matéria-prima.....	148

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Definição

Pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (Anexo I) (BRASIL, 2005).

1.2. Origem do pão

Há cerca de 12.000 anos a espécie humana começou a comer uma espécie de massa crua feita apenas de água e farinha. Os egípcios foram os primeiros a consumir massa fermentada e assada, 3.000 anos a.C. As primeiras fermentações começaram, provavelmente, a partir de microrganismos que estavam presentes no ar (JACOB, 1944)

1.3. Mercado de Panificação

A média histórica de consumo de produtos panificados *per capita* no Brasil, que até 2005 oscilava entre 28 e 29 quilos por habitante ao ano, apresentava para 2006 projeção de 33 quilos. Em São Paulo e nos demais estados do Sul está em torno de 45 quilos com aumento, também, proporcional nas demais regiões do País (Figura 1). O consumo é menor quando comparado com outros países. A Rússia é a campeã mundial: 120 quilos, Chile: 90 quilos, Argentina: 70 quilos, França e Itália ao redor de 60 quilos, que é o mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), correspondente a três paezinhos de 50 g por habitante/dia. Sul e Sudeste lideram o consumo porque a imigração européia foi muito maior nestas regiões, existindo a tradição dos restaurantes oferecerem o pão como um complemento nas mesas. O hábito está sendo desenvolvido em outras regiões (DCI, 2006).

O crescimento do consumo vem, nos últimos anos, atrelado ao crescimento da economia e à expansão das redes de *fast food* e *lanches sobre rodas* (ESTELLER *et*

al., 2003). Além disso, verifica-se a ampliação de estabelecimentos comerciais e o investimento em novas unidades de produção. O tamanho do negócio, e consequentemente do mercado, pode ser estimado, entre outros índices, pelo “desmanche” de sacos de farinha de 50 quilos. As grandes padarias (cerca de 60 no Estado de São Paulo) desmancham mais de 20 sacos por dia. Há 12 mil padarias no Estado de São Paulo e 52 mil no Brasil. O faturamento bruto deste mercado está estimado, para 2006, em R\$ 30 bilhões (Figura 1) (DCI, 2006).

FIGURA 1 Gráfico da evolução do mercado de produtos panificados no Brasil, de 2003 a 2006, (faturamento, padarias e consumo de pão de trigo *per capita*, de acordo com publicação no Jornal do Comércio e Indústria de São Paulo (DCI, 2006)).

1.4 – Tendências

O grande desafio no desenvolvimento de produtos e processos para a indústria de panificação, atualmente, está no oferecimento de produtos com tecnologia exclusiva, com equipamentos de ponta e formulações que explorem, além do sabor e

nutrição, características sensoriais diferenciadas através de mudanças na composição e estrutura do alimento (ESTELLER *et al.*, 2006a).

1.5 – Delineamento estrutural

Produtos alimentícios formulados são sistemas coloidais complexos nos quais as interações moleculares entre os diferentes ingredientes ditam a estrutura e as propriedades de textura (GAONKAR, 1995).

A microestrutura dos produtos panificados, termo consagrado para descrição da estrutura alveolar do miolo de pães, é um importante atributo, pois afeta as características sensoriais, propriedades físicas e nutricionais: sabor, aroma, textura, porosidade, cor, simetria, umidade, digestibilidade, valor energético e conservação (Figura 2).

FIGURA 2 - Esquema dos fatores que podem influenciar as mudanças estruturais em produtos panificados

1.5.1. Cor

Ao longo da história, a posição social de uma pessoa podia ser conhecida pela cor do pão que ela consumia. Pão escuro representava baixa posição social, enquanto pão branco, alta posição social. O processo de refino do trigo para obtenção da farinha branca, mais difícil de adulteração, era muito caro.

Atualmente, ocorre o contrário: os pães escuros são mais caros e associados ao seu valor nutricional mais alto. Do ponto de vista da cor externa ou da crosta, relacionada à cocção, as preferências variam. No processo, a cor muito escura é resultado de temperatura do forno muito alta ou cocção excessiva. A cor clara é sinal de massas muito fermentadas, forno frio ou tempo insuficiente de assamento. Para o controle de qualidade, vigilância sobre a produção e comercialização de alimentos, a cor pode ser avaliada por processos instrumentais seguros (ESTELLER e LANNES, 2006b).

1.5.2. Textura

As alterações de textura são percebidas pelo tato, olhos, boca e também pela audição. O julgamento da textura é feito inicialmente através dos olhos e toque e largamente dependente de experiências anteriores. Se as expectativas em relação ao alimento forem violadas, o produto pode ser rejeitado. Algumas “texturas” são preferidas: crocante, suculento, macio e outras rejeitadas: duro, murcho, farelento (LAWLESS e HEYMANN, 1998).

As propriedades de textura de um alimento são formadas por um grupo de características físicas que emanam dos seus elementos estruturais, percebidas primariamente pelo tato, relacionadas com a deformação, desintegração e movimentação do alimento, sob a ação de uma força, que pode ser medida objetivamente em função da massa, tempo e distância (BOURNE, 2002).

O limite de percepção humana para avaliação de amostras a olho nu é de 1 mm. Métodos sensoriais estão sujeitos à grande variabilidade, que pode ser reduzida com a utilização de panelistas treinados e uso de análise instrumental (ROSENTHAL, 1999, ESTELLER *et. al.*, 2004b).

1.5.3. Porosidade

Durante a cocção no forno, a água e demais compostos volatilizam e tendem a sair da massa sob pressão, formando vários capilares que podem se unir ou não às bolhas formadas durante o processo de fermentação. Quanto maior o número de alvéolos e o volume ocupado, mais porosa será a massa, influenciando a mobilidade da água, compostos voláteis, oxidação lipídica, a transmissão de calor, volume específico, perda e ganho de umidade. A porosidade final determina maior ou menor absorção de molhos e recheios, manutenção do aroma e conservação (Figura 3).

FIGURA 3 Representação da microestrutura da massa de pão

1.5.4. Aroma e Sabor

Além do consumo *per-capita* de produtos panificados ter sofrido aumento no Brasil, observa-se uma migração do consumidor com maior poder aquisitivo, esclarecimento sobre a saúde e faixa etária mais elevada, para produtos com maior apelo “natural” ou com propriedades funcionais. Os pães enriquecidos com fibras e/ou com outros ingredientes que se propõem a melhorar o estado nutricional ou reduzir o risco de doenças crônicas, devem também atender às características de aroma, sabor e textura. O sabor é o fator mais importante na decisão de compra de um alimento.

A formulação de novos produtos leva em consideração fatores étnicos e etários. O processo de envelhecimento humano altera a forma de perceber a textura, o odor e o sabor dos alimentos. Pessoas idosas têm preferência por alimentos não adesivos ou muito elásticos com sabor e aromas mais intensos (KÄLVIÄINEM *et al.*, 2002).

A formação do sabor nos pães é derivada dos ingredientes, da fermentação e da cocção. Os compostos aromáticos - álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres e ácidos carboxílicos - são formados principalmente na crosta e penetram até o miolo onde são absorvidos. Durante o processo de envelhecimento tendem a desaparecer e podem ser parcialmente recuperados por uma nova cocção (torradas domésticas) (SCHIRALDI e FESSAS, 2001).

O desafio na formulação de alimentos submetidos à cocção é a retenção dos compostos aromáticos após o processamento e liberação de sabor e aroma durante o consumo (ROOS, 2006).

1.5.5. Digestibilidade

Produção de pães com fermentação mais longa utilizando fermentação mista e processo esponja melhora a textura, a palatabilidade e a digestibilidade, estabilizando ou aumentando os níveis de compostos bioativos: vitaminas (folatos, tocoferóis e tocotrienóis), compostos fenólicos (lignanas, ácidos fenólicos, alquilresorcinóis), fitosteróis e minerais; retardando a absorção do amido e conduzindo a menores índices glicêmicos (KATINA, 2005).

1.5.6. Valor energético

O Quadro 1 mostra o valor energético* de alguns tipos de pães.

QUADRO 1 Valor energético de produtos panificados

(ESTELLER, 2004a).

produto	Energia (kcal/100g)
pão de queijo	457
torrada salgada	400
pão francês	308
pão <i>hot-dog</i> /hambúrguer	300
bisnaguinhas	300
pão de forma tradicional	245
pão de forma integral	240
pão de forma branco light	224
pão integral light	215
* valor médio das principais marcas	

Água e o ar representam de fato a matéria-prima de muitos produtos panificados, e merecem bastante atenção. Quando comparamos o valor energético dos pães integrais observa-se que aumentando as frações de água ou de ar na massa, e mantendo-se o volume ou porção, ocorrerá redução no valor energético final.

1.5.7. Umidade

A umidade média em pães está apresentada no Quadro 2. As torradas comerciais são os produtos panificados com o menor teor de água e os mais susceptíveis ao ganho de umidade durante o armazenamento. Podem passar do estado “vítreo” ao de “borracha” a 25 °C na umidade de 11% e perdendo totalmente a crocância com 9% de água. Em pães a umidade pode variar bastante de acordo com o tipo e condições de processamento. Nos produtos com crosta crocante (italiano, francês, português, *baguette*, *ciabatta*) e massas cilindradas ou sovadas (bisnaguinhas, pão sovado) a umidade tende a ser menor (25-30%). Pães de trigo com bastante miolo (forma, hambúrguer, *hot-dog*) contém cerca de 35%. Teores

maiores - até 40% - são encontrados em pães integrais devido à alta taxa de absorção de água pelas fibras. Em alguns produtos especiais como o *brot* alemão pode ultrapassar 50%. A umidade está associada à maciez e facilidade de mastigação. Excesso de umidade, porém, aumenta a pegajosidade da massa, acelera a deterioração microbiológica e, no caso de venda por peso, pode lesar o consumidor (ESTELLER e LANNES, 2005).

QUADRO 2 Umidade média em pães (ESTELLER, 2004a).

produto	umidade (%)	produto	umidade (%)
Torrada canapé	3	Pão de forma tradicional	30
Torrada industrial	5	Dog-Hambúrguer	33
Torrada caseira	25	Pão de forma sem casca	34
Bisnaguinha	25	Pão forma preto	34
Pão francês	26	Pão integral	35
Pão sovado	27	Pão de glúten	35
Ciabatta	28	Pão forma multi cereais	38
Pão de milho	28	Pão de forma aveia	40
Pão de queijo	29	<i>Korn-Brot</i> 3 grãos	49
Pão italiano	30	<i>Fitness Brot</i>	52

1.5.8. Conservação

A vida de prateleira de pães depende, principalmente, da retrogradação da massa e deteriorações microbiológicas e oxidativas, associadas a alterações sensoriais que tornam o produto inaceitável aos consumidores.

A retrogradação da massa ocorre no processo de gelatinização do amido (Figura 4), onde muitas moléculas de amilose e amilopectina saem do interior do grânulo ficando suspensas no meio. Durante o resfriamento, essas moléculas se agrupam através de ligações de hidrogênio formando microcristais. Essas ligações podem também ocorrer entre grânulos através das ramificações. Esse processo pode ser minimizado com o uso de emulsificantes, enzimas ou a combinação destes (PARKER e RING, 2001).

FIGURA 4 Esquema do processo de gelatinização do amido

Muitos fungos e bactérias estão ficando resistentes aos conservadores tradicionais (propionatos, sorbatos). Os agentes químicos estão gradualmente sendo substituídos por ácidos orgânicos produzidos *in situ* por bactérias lácticas, por exemplo. A *biopreservação* pode estender a vida de prateleira de produtos panificados utilizando fermentação mista ou adição de microflora diretamente à massa (SCHNÜRER e MAGNUSSON, 2005).

1.5.9. Simetria

Os gases e o vapor de água expandem com grande velocidade e pressão durante a cocção dos produtos panificados, causando aumento de volume desejável, mas também rompimento das partes laterais ou quebra, que depende da elasticidade e extensibilidade da massa. Essa característica é aproveitada pelos padeiros que executam de forma manual ou mecânica, cortes e furos na crosta com diferentes profundidades e desenhos, que aliviam a pressão interna, tornam o produto atrativo e permitem maior simetria durante o assamento.

1.6. Ingredientes

Trigo (*Triticum aestivum*), Aveia (*Avena sativa*); Milho (*Zea mays*); Sorgo (*Sorghum bicolor*); Triticale (*Triticum x Secale*); Cevada (*Hordeum vulgare*); Centeio (*Secale cereale*), após seleção e limpeza, são moídos em diferentes granulometrias (farinhas) ou pré-cozidos em vapor e flocados em cilindros aquecidos.

A adição de sementes, farinhas integrais, farelos e glúten é conhecida de longa data e tradicionalmente empregada pelos processadores na produção de pães enriquecidos com fibras. São misturados à farinha de trigo em diferentes porcentagens, processados na forma de massa fermentada, assados e comercializados. Cereais matinais e biscoitos também se beneficiam da versatilidade das fibras.

Todos reconhecem os benefícios das fibras ao organismo, mas reconhecem também, que são pouco atrativas em sabor e textura, principalmente se consumidas *in natura*.

Grãos de cereais:

Fermento biológico, sal, açúcares, óleos, gorduras, emulsificantes e enzimas são, também, ingredientes comumente aplicados na fabricação de pães. Uma descrição mais detalhada e a função de cada um é descrita por ESTELLER (2004a).

1.6.1. A importância do ar e/ou CO₂ como ingredientes

Um ingrediente conhecido há milhares de anos (cerveja, pão, vinho), presente cada vez mais nos alimentos e pouco mencionado é o “ar”. Alimentos produzidos com sólido + ar ou líquido + ar apresentam características únicas aos nossos sentidos.

Sorvetes, creme *chantilly*, *mousses*, cereais matinais, bebidas carbonatadas, *champagne*, chocolates, *marshmallows*, são alguns itens da longa lista de produtos aerados (CAMPBELL *et al.*, 1998).

Os processos de incorporação de ar aos cereais são bastante variados e podem ser utilizados de forma simples ou combinados:

- . Batimento (farinha + água + ar → massa aerada);
- . Fermentação (formação de CO₂ e outros compostos pela ação de leveduras e/ou bactérias);

- . Agentes químicos de crescimento (bicarbonato de amônio, fermento químico);
- . Injeção de ar (bolos, torradas);
- . Extrusão e *puffing* (torradas, *snacks*, cereais matinais);
- . Aprisionamento de ar (massa folhada, pastéis).

A simples incorporação de gases à massa faz com que a mesma apresente coloração mais clara, diretamente proporcional à quantidade aprisionada na parte sólida. Por outro lado, ocorrendo aquecimento em presença de proteínas e açúcares, haverá escurecimento.

QUADRO 3 Parâmetros em alimentos com incorporação de ar e/ou CO₂

(CAMPBELL e MOUGEOT, 1999).

alimento	densidade (g/mL)	fração de ar (%)			
pipoca	<0,07	>0,95	pão de ló	0,25-0,35	70-80
bolinho de arroz	0,11-0,13	90-92	bolo	0,35-0,40	68-72
arroz expandido	0,13-0,17	88-90	<i>chantilly</i>	0,40-0,60	40-60
prods. extrusados	0,10-0,33	75-90	sorvete de massa	0,54-0,55	50-55
merengue	0,17-0,18	88-90	massa de bolo	0,55-0,80	30-50
claras batidas	0,15-0,20	80-85	chocolate aerado	0,70-0,80	40-45
pão de forma	0,20-0,35	72-85	<i>milk-shake</i>	0,90-0,95	9-13
<i>marshmallow</i>	0,35-0,45	68-75	massa cruas (pão)	1,15-1,20	4-8
			grão de trigo	1,25-1,35	2-3

Maior incorporação de ar aos pães contribui para mudanças no sabor, maciez, mastigabilidade, elasticidade, redução do esfarelamento, aparência e aumento na porosidade (Quadro 3). A melhoria das características de produtos panificados, é atribuída também, à incorporação de oxigênio do ar às proteínas do trigo e oxidação dos grupos –SH para –S-S- (pontes de dissulfeto) com o fortalecimento da rede de glúten, facilitando a retenção dos compostos voláteis e conseqüente aumento do volume do produto acabado (Figura 5). O batimento permite a formação de bolhas que vão se expandir, juntamente com os gases formados durante a fermentação (KEATELS *et al.*, 1996; AUTIO e LAURIKANEN, 1997; BAARDSETH *et al.*, 2000). A massa crua de pão contém geralmente 8% de ar, aumentando para 65% ao final do crescimento e 75% no produto final (CAMPBELL e MOUGEOT, 1999). O processo de aeração adquire importância pela exploração do ar como ingrediente para

modificar a textura de alimentos e redução calórica pelo aumento de volume da massa com a conseqüente redução da massa específica em cada porção.

FIGURA 5 Esquema do processo de oxidação do glúten na massa

As principais mudanças estruturais ocorrem nos estágios iniciais de forneamento, isto é, expansão dos compostos voláteis formados, gelatinização do amido (Figura 4), intercruzamento das moléculas de proteínas (Figura 5), fusão da gordura e incorporação à massa e ruptura das células (Figura 3). Essas mudanças dependem da temperatura, umidade e duração da cocção (SCANLON e ZGHAL, 2001; VAN DUYNHOVEN *et al.*, 2003).

De acordo com SHIMIYA e NAKAMURA (1997) a observação microscópica da massa de pão apresenta no começo da fermentação aproximadamente $3 \cdot 10^8/\text{m}^2$ alvéolos com diâmetro entre $3 \cdot 10^{-6}$ e $8 \cdot 10^{-4}$ m. O aumento no desprendimento de gás carbônico nos estágios seguintes (fermentação final) aumenta o diâmetro das bolhas para cerca de 10^{-4} m. Após o forneamento o número de bolhas reduz-se para $10^6/\text{m}^2$ e diâmetros das bolhas entre 10^{-4} e $5 \cdot 10^{-3}$ m.

Diferentes tipos de pães apresentam miolos característicos. As bolhas de ar em pães tipo baguete (área média de $0,56 \text{ mm}^2$) e *ciabatta* (área média de $0,57 \text{ mm}^2$) são maiores e distribuídas de maneira não uniforme. O miolo de pães tipo forma é

mais homogêneo, com bolhas menores (área média de 0,41 mm²) (Figura 6) (ZOUNIS *et al.*, 2002, ESTELLER *et al.*, 2005).

FIGURA 6 Estrutura do miolo dos pães *Ciabatta* e pão de forma

1.6.2. Escurecimento da massa e escaldamento

Há basicamente três tipos de reações de escurecimento não enzimático ocasionados pelo calor (KROH, 1994):

- . Pirólise ou carbonização, que envolve a retirada total de moléculas de água dos açúcares e quebra de ligações C-C, com o conseqüente enegrecimento do substrato, forte sabor amargo e desprendimento gasoso de compostos com aroma de “queimado”;

- . Caramelização: quando açúcares simples sofrem enolização 1:2 e 2:3 pela saída de água e influência do pH, sem interação com compostos nitrogenados. A D-frutose, por exemplo, produz furanos, isomaltol e maltol, substâncias associadas à cor dourada dos pães e aroma característico;

. Reação de Maillard cujo escurecimento se dá com a combinação de açúcares simples e amino-compostos levando à formação de melanoidinas (coloração castanha).

Um processo que combina reações de escurecimento não-enzimático e aprisionamento de ar pela formação de massa visco-elástica é o escaldamento. Do Latim *excaldare*, queimar com vapor ou líquido fervente, é uma técnica bastante conhecida no Brasil, na produção de pão de queijo, quando uma mistura, em ebulição, de leite, manteiga e sal é despejada sobre fécula e/ou polvilho para a formação de uma massa com queijo e ovos, que não recebe qualquer tipo de fermento, e expande no forno pela dilatação do vapor aprisionado (MINIM *et al.*, 2000).

1.7. Legislação para alimentos aerados

Se um alimento é modificado pela incorporação de ar (aerado) e, conseqüentemente, a densidade do alimento foi diminuída em 25% ou mais em peso quando comparado com o alimento na sua forma convencional (ex. barra de chocolate aerado comparada com barra de chocolate convencional), o fabricante pode determinar a porção de referência do produto aerado ajustando para a diferença em densidade.

Este procedimento faz com que as porções do produto aerado sejam, em gramas, as mesmas do que seu equivalente convencional, mas sejam em medidas caseiras maiores.

Adicionalmente, o fabricante pode optar por apresentar a porção de referência em medida caseira semelhante ao produto convencional o que traduziria a diminuição de densidade energética e de nutrientes pelo processo de incorporação mostrando ao consumidor que o produto é reduzido.

A ANVISA pode solicitar ao fabricante que apresente a memória de cálculo e os dados utilizados para ajustar a densidade para o produto aerado.

Os fabricantes devem indicar nas embalagens de alimentos aerados, ou seja, com incorporação de ar de mais de 25% do volume total, qual o peso quando descontada a injeção de ar. Assim, o consumidor pode perceber a diferença entre a densidade do produto convencional e a do produto aerado. Resolução RDC nº 39, de

21 de março de 2001 D.O. de 22/03/2001, Alimentos Modificados pela Incorporação de Ar (BRASIL, 2001).

Confeitos aerados, *marshmallows*, chocolates, *chantilly*, *mousses* e cereais matinais, estão consagrados no mercado. Por outro lado, processadores de massas alimentícias fermentadas não dispõem de informações mínimas sobre aeração em derivados de trigo. A maioria dos pães, no mundo, ainda é produzida por técnicas milenares e com pouca inovação.

1.8. Fermentação

Alimentos fermentados são substratos alimentícios que estão inoculados com microrganismos não patogênicos cujas enzimas, particularmente amilases, proteases e lipases hidrolisem polissacarídeos, proteínas e lipídios em produtos não tóxicos, conferindo aroma, sabor e textura agradável. A fermentação enriquece o substrato com vitaminas, aminoácidos e ácidos graxos essenciais e diminui o tempo de cocção dos alimentos. A formação de ácidos orgânicos (lático, acético) e álcool melhoram sua conservação (STEINKRAUS, 2002).

Os produtos panificados fermentados são produzidos com o inóculo de uma única espécie de microrganismo, bactérias ou leveduras, ou com a presença de inúmeras espécies microbianas formando um sistema complexo, também conhecido por *sourdough*, utilizado na produção de pão de centeio nórdico, *baladi*, *injera*, *sangak* e *San Francisco*. Muitos pães não são fermentados, como o judaico, *chapati*, *paratha*, *puri* e *crisp breads* escandinavos. O termo “fermentação natural”, muitas vezes empregado por processadores, não é apropriado, pois toda fermentação é um processo natural. Portanto existirão tantos tipos de *sourdough* quantos forem as diferentes combinações entre bactérias e leveduras. Neste texto adota-se o termo “fermentação mista”. A inoculação em pães pode ocorrer ao acaso ou pela adição de outros substratos fermentados (iogurtes, culturas), diretamente à massa. Esse processo ocorreu em diferentes épocas da história humana e em diversas regiões, dando origem a inúmeros produtos (Qarooni, 1996).

Em quase todo o Ocidente os produtos panificados são produzidos por “monofermentação”, pela adição de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*)

produzidas industrialmente e comercializadas na forma de creme, prensada, desidratada ou liofilizada. O uso da levedura industrial propicia maior rapidez, praticidade, custos menores e uniformidade no processo.

Por tradição, disponibilidade ou quando se deseja produtos panificados com melhor sabor e textura, é utilizada a fermentação mista, que além das leveduras, contém inúmeras bactérias produtoras de ácido láctico ou ácido acético (MEUSER, 1995). A Alemanha e os países escandinavos utilizam o processo desde produtos artesanais até produções industriais (KATINA, 2005). Na Itália é comum, na produção de produtos panificados, a utilização de fermentações mistas. No Brasil o já tradicional “pão italiano”, panetones e colombras são produzidos por esse método.

1.8.1. Processos de fabricação

O fermento, em qualquer de suas formas, pode ser adicionado à massa em uma ou várias etapas dependendo da escolha do processo de fabricação (Quadro 4). Há basicamente quatro processos: direto, esponja, contínuo e Chorleywood, e um grande número de variações ou adaptações desses métodos (HOSENEY, 1994).

No processo direto, o mais comum, os ingredientes são misturados na batedeira de uma vez. A massa resultante fermenta por duas a quatro horas, é imediatamente cortada, modelada, colocada em estufa ou armário já no formato final para crescimento secundário, e assada (180 - 230 °C).

No processo de esponja, 70% da farinha sofre pré-fermentação de duas a quatro horas. O restante da farinha e ingredientes são misturados e procede-se como no processo direto

No contínuo, também conhecido por *Do-Maker* e *Amflow*, um pré-fermento líquido é misturado com os outros ingredientes. A massa visco-elástica obtida é levada para misturador de alta velocidade por tempo curto, 1 a 5 minutos, sob pressão, e depois para dosador diretamente em assadeiras, para crescimento final e cocção.

QUADRO 4 Comparativo dos processos de fabricação de pães

(adaptado Hosenev, 1994)

	processos de fabricação			
	direto	esponja	contínuo	Chorleywood
mistura	convencional	convencional	alta velocidade	alta velocidade
prefermento	não	70% farinha	0-50% farinha	não
automação	baixa	média	alta	alta
perda	média	baixa	média	alta
tolerância	média	alta	baixa	baixa
tempo total	3 - 4 horas	5 - 6 horas	3 - 5 horas	2 horas

O processo Chorleywood, ou método inglês, utiliza a combinação de todos os ingredientes em misturadores *Tweedy* de alta velocidade por três a cinco minutos. Após curto descanso a massa é tratada como nos processos convencionais.

1.9. Parâmetros de qualidade e análise de produtos panificados

No Brasil a fixação dos parâmetros de identidade e qualidade (PIQ) e o controle sobre a qualidade dos produtos panificados estão aos cuidados dos órgãos de vigilância sanitária. Na área de cereais e derivados são aceitas, internacionalmente, para análises físico-químicas, as recomendações contidas no *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2002).

O detalhamento das características desejadas depende de fatores técnicos e econômicos e contido em muitas referências (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1976, HOSENEY, 1994).

1.9.1. Análise instrumental

A utilização da análise instrumental possibilita redução de custos, tempo e propicia uma avaliação objetiva. Muitas vezes não há disponibilidade de equipes treinadas, que demanda muito tempo na sua formação, manutenção do grupo, agendamento e aspectos éticos.

A análise instrumental utiliza aparelhos que avaliam puramente as propriedades físicas dos alimentos: penetrômetros, compressímetros, viscosímetros, reômetros (LAWLESS e HEYMANN, 1998) e outros que apresentam caráter imitativo de movimentos – mastigação, por exemplo, (BOURNE *et al.*, 2004) - ou mesmo sensores robóticos (WIDE *et al.*, 1997).

1.9.2. Captura de imagens por *scanner*

A análise instrumental de imagens pode ser considerada uma extensão das observações visuais, efetuando-se, através de ensaios não destrutivos, julgamentos qualitativos e quantitativos a respeito de uma amostra (SAPIRSTEIN *et al.*, 1994; SCANLON e ZGHAL, 2001; AYDEMIR *et al.*, 2004).

A criação de imagens, seja em nosso cérebro ou como registros gravados, é determinante em trabalhos de modelagem e experimentais (AGUILERA *et al.*, 2000). O conhecimento sobre microestrutura é crítico uma vez que existem relações entre os vários parâmetros estruturais e as propriedades de um material (WILKINSON *et al.*, 2000; ZALOGA e KASPERKIEWICZ, 2005).

Uma motivação comum para a utilização de sistemas de imagens por computador é fornecer meios consistentes para a inspeção de produtos e resolver problemas específicos na ciência dos alimentos, como o desenvolvimento de novos alimentos com propriedades particulares e texturas ou detecção de defeitos de processamento (KALÁB *et al.*, 1995, DAY e ROGERS, 1996).

Scanners de mesa são encontrados em muitos escritórios e casas atualmente. O princípio básico do *scanner* é analisar uma imagem e processá-la de algum modo. Seu principal componente é o *CCD (Charge Coupled Device)*, uma coleção de pequenos diodos sensíveis à luz, que converte fótons em elétrons. A imagem da amostra alcança o *CCD* através de uma série de espelhos, filtros e lentes. *Scanners* de 2400 pontos por polegada em resolução, em cores *48-bit* e 8x14 polegadas têm

custo inferior a US\$ 300 e softwares como o Photoshop custam abaixo de US\$ 400 (NG e YEONG, 2005).

As vantagens na utilização de scanners de mesa incluem o custo de todo o processo de análise de imagens, menores que sistemas de análise por microscopia, por exemplo, rapidez e facilidade de uso. Esses atributos favoráveis têm inspirado novas aplicações em engenharia e trabalhos científicos como análises microbiológicas (GABRIELSON *et al.*, 2002), patologias, detecção de DNA, coloração de sementes, índice de quebra em grãos de arroz, tecidos vegetais e animais, dimensões de partículas em *spray* (VAN DALEN, 2004), análise de cores (NG e YEONG, 2005), composição de concretos (ZALOGA e KASPERKIEWICZ, 2005) e materiais geológicos (MARSCHALLINGER, 1998).

Scanners analisam a luz refletida, e a aquisição da imagem da superfície da amostra independe da espessura. Espera-se que a aplicação de imagens por scanners se torne bastante popular na medida em que novos equipamentos, com aumento da resolução e sistemas integrados com computadores, apresentem preços menores ainda (ZALOGA e KASPERKIEWICZ, 2005).

1.9.3. Espectrofotômetros e análise de cor

Os espectrofotômetros possuem uma lâmpada de xenônio com *flash* de feixe duplo com comprimentos de onda variando de 400 a 700 nanômetros. Os aparelhos podem medir a luz refletida ou transmitida associada à cor de um produto. A luz ilumina a amostra e é refletida ou transmitida através dela. As lentes estão localizadas em um ângulo de 8 graus perpendicularmente à superfície da amostra. As lentes coletam a luz transmitida ou refletida e a direciona para um refrator que a separa nas respectivas faixas do espectro. Os feixes são medidos pelo diodo e convertidos em valores numéricos. Os espectrofotômetros podem ser utilizados em avaliações de qualquer tipo de produto. Materiais opacos e translúcidos podem ser colocados diretamente no aparelho e efetuadas avaliações diretas da luz refletida (ESTELLER *et al.*, 2006b).

1.10. Metodologia por Superfície de Resposta (MSR)

A Metodologia por Superfície de Resposta (MSR) ou *Response Surface Methodology (RSM)* é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas útil para o desenvolvimento, aperfeiçoamento e otimização de processos. É também importante em aplicações para o delineamento, desenvolvimento e formulação de novos produtos, bem como o aperfeiçoamento dos já existentes. As aplicações mais conhecidas das técnicas de RSM estão na área industrial, particularmente em situações onde muitas variáveis podem influenciar um resultado qualitativo ou quantitativo chamado de “resposta”. As variáveis de entrada são conhecidas por “variáveis independentes” e estão sob o controle do técnico ou cientista. A técnica é desenvolvida em quatro etapas: (1) os fatores críticos que são importantes ao estudo ou processos são identificados; (2) é estabelecida uma faixa ou nível de aplicação dos fatores envolvidos; (3) são efetuados planejamentos experimentais específicos; (4) os resultados dos planejamentos são analisados por RSM e interpretados. Portanto a RSM permite: (a) mapeamento de uma superfície dentro da região explorada; (b) escolha das condições operacionais para obtenção de uma resposta especificada; (c) busca das condições ótimas, ou pelo menos, as melhores condições na região de interesse (BARROS NETO, 2001; MYERS e MONTGOMERY, 2002; RODRIGUES e IEMMA, 2005).

1.11. Referências

AACC AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, USA, 2002

AGUILERA, J.M., STANLEY, D.W., BAKER, K.W. New dimensions in microstructure of food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, p. 3-9, 2000.

AUTIO, K., LAURIKANEN, T. Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. **Trends in Food Science & Technology**, v.8, p.181-185, 1997.

AYDEMIR, S., KESKIN, S., DREES, L.R. Quantification of soil features using digital image processing (DIP) techniques. **Geoderma**, v. 119, p. 1-8, 2004.

BAARDSETH, P.; KVAAL, K.; LEA, P.; ELLEKJAER, M.R.; FAERGESTAD, E.M. The effects of bread making process and wheat quality on french baguettes. **Journal of Cereal Science**, Manhattan, v.32, p.73-87, 2000.

BARROS NETO, B. SCARMINIO, I.S. e BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Ed. Unicamp. Campinas, 2001, 401p.

BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. Academic Press, Geneva, 2002. 400p.

BOURNE, M.C., VLIET, T.V., RAO, V.N., NISHINARI, K. Mastication and food texture, special issue. **Journal of Texture Studies**, v. 35, n.2, 2004, 223p.

BRASIL, **Resolução RDC nº. 263, de 22 de setembro de 2005**.

Aprova o "Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, amidos, farinhas e farelos",

Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>.

Acesso em: 15 jun. 2006a.

BRASIL, **RDC nº 39, de 21 de março de 2001** D.O. de 22/03/2001,

Alimentos Modificados pela Incorporação de Ar. Disponível em:

<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>. Acesso em: 15 jun. 2006b.

CAMPBELL, G.M.; RIELLY, C.D.; FRYER, P.J.; SADD, P. A. Aeration of bread dough during mixing: effect of mixing dough at reduced pressure. **Cereal Foods World**, v.43, n.3, p.163-167, 1998.

CAMPBELL, G.M.; MOUGEOT, E. Creation and characterization of aerated food products. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p.283-296, 1999.

DAY, D.D., ROGERS, D. Fourier -based texture measures with application to the analysis of the cell structure of baked products. **Digital Signal Processing**, v. 6, p. 138-144, 1996.

DCI - Diário Comércio Indústria & Serviços. Suplemento Padarias. **O brasileiro come mais pães**. p. 3, São Paulo, 25 julho de 2006.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L., LANNES, S.C.S. Variação dos parâmetros de textura em pão de hambúrguer com teor calórico reduzido. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, supl. 3, p. 174-176, 2003.

ESTELLER, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas. USP. São Paulo, 2004a, 226p.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L., LANNES, S.C.S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 383-393, 2004b.

ESTELLER, M.S., LANNES, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 802-806, 2005.

ESTELLER, M.S., ZANCANARO JR., O., PALMEIRA, C.N.S, LANNES, S.C.S. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. **European Food Research and Technology**, v. 222, p. 26-31, 2006a.

ESTELLER, M.S., LIMA, A.C.O., LANNES, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **Lebensmittel-Untersuch Technology**, v. 39, p. 184-187, 2006b.

GABRIELSON, J., HART, M., JARELOV, A., KUHN, I., McKenzie, D., MOLLBY, R. Evaluation of redox indicators and the use of digital scanners and spectrophotometer for quantification of microbial growth in microplates. **Journal of Microbiol Methods**, v. 50, p. 63-73, 2002.

GAONKAR, A .G. Ingredient Interactions. Effects on Food Quality. Marcel Dekker, Inc., New York, 1995. 585p.

HOSENEY, R.C. **Principles of Cereal Science and Technology**, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, USA, 1994, 825p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL, 1976.v. 1, p. 371

JACOB, H.E. **Six Thousand Years of Bread: Its Holy and Unholy History.** Doubleday, New York, 1944, 399 p.

KALÁB, M., ALLAN-WOJTAS, P., MILLER, S.S. Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, p. 177-186, 1995.

KÄLVIÄINEM, N., SCHLICH, P., TUORILA, H. Consumer texture preferences: effect of age, gender and previous experience. **Journal of Texture Studies**, n. 31, p. 593-607, 2002.

KATINA, K. **Sourdough: a tool for the improved flavor, texture and shelf-life of wheat bread.** Academic Dissertation, University of Helsinki, VTT Publications, Helsinki, 2005

KEETELS, C.J.A .M.; VISSER, K. A.; VLIET, V.T.; JURGENS, A., WALSTRA, P. Structure and mechanics of starch bread. **Journal of Cereal Science**, v.24, 15-26, 1996.

KROH, L.W. Caramelisation in food and beverages. **Food Chemistry**, v. 51, p. 373-379, 1994.

LAWLESS, H.T., HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food. Principles and practices.** Chapman & Hall, New York, USA, 1998.

MARSCHALLINGER, R., A method for three-dimensional reconstruction of macroscopic features in geological materials. **Computers & Geosciences**, v. 24, n. 9, p. 875-883, 1998.

MEUSER, F. Development of fermentation technology in modern bread factories. **Cereal Foods World**, v. 40, n. 3, p. 114-122, 1995.

MINIM, Valéria Paula Rodrigues et al. Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 154-159, 2000.

MYERS, R.H., MONTGOMERY, D.C. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments.** Wiley-Interscience Publication, USA, 2002. 798p.

NG, T.W., YEONG, W.K. Inexpensive color evaluation of dye-based pressure-sensitive films for plantar studies. **J Biomechanics**, v. 38, p. 2130-2133, 2005

PARKER, R., RING, S.G. Macromolecular aspects of bread staling. In: **Bread Staling.** Edited by Chinachoti P., Vodovotz Y. CRC Press. Boca Raton, 2001. 177p.

QAROONI J. **Flat bread technology**. Chapman & Hall, New York, 1996, 272p.

RODRIGUES, M.I., IEMMA, A.F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas, Casa do Pão Editora, 2005. 325p.

ROOS, K.B. Understanding and controlling the behavior of aroma compounds in thermally processed foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 236-243, 2006.

ROSENTHAL, A.J. **Food Texture – Measurement and Perception**. Chapman & Hall, London, 1999, 311p.

SAPIRSTEIN, H.D., ROLLER, R., BUSHUK, W.. Instrumental measurement of bread crumb grain by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 383-391, 1994.

SCANLON, M.G.; ZGHAL, M.C. Bread properties and crumb structure. **Food Research International**, v. 34, p.841-864, 2001.

SCHIRALDI, A., FESSAS, D. Mechanism of staling: an overview. In: **Bread Staling**. Edited by Chinachoti P., Vodovotz Y. CRC Press. Boca Raton, 2001. 177p.

SCHNÜRER, J., MAGNUSSON, J. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, p. 70-78, 2005.

SHIMIYA, Y.; NAKAMURA, K. Changes in size of gas cells in dough and bread during breadmaking and calculation of critical size of gas cells that expand. **Journal of Texture Studies**, v.28, p.273-288, 1997.

STEINKRAUS, K.H. Fermentations in world food processing. **Comprehensive Review in Food Science and Food Safety**, v. 1, p. 23-32, 2002.

VAN DALEN, G... Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. **Food Research International**, v. 37, p. 51-58, 2004.

VAN DUYNHOVEN, J.P.M., VAN KEMPEN, M.P.VAN SLUIS, R.; RIEGER, B.; WEEGELS, P.; VAN VLIET, L. J.; NICOLAY, K. Quantitative assessment of gas cell development during the proofing of dough by magnetic resonance imaging and image analysis. **Cereal Chemistry**, v.80, n.4, p.390-395, 2003.

WIDE, P., WINQUIST, F., LAUBER, A .The perceiving sensory estimated in an artificial human estimationbased sensor system. **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Proceedings, Ottawa, v.1, p. 570-575, 1997

WILKINSON, C., DIJKSTERHUIS, G.B., MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, p. 442-450, 2000.

ZALOCHA, D., KASPERKIEWICZ, J. Estimation of the structure of air entrained concrete using a flatbed scanner. **Cement Concrete Research**, v. 35, n. 10, p. 2041-2046, 2005.

ZOUNIS, S.; QUAIL, K.J.; WOOTTON, M.; DICKSON, M.R. Effect of final dough temperature on the microstructure of frozen bread dough. **Journal of Cereal Science**, v.36, p.135-146, 2002.

CAPÍTULO 2

PARÂMETROS COMPLEMENTARES PARA FIXAÇÃO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE PRODUTOS PANIFICADOS

2.1. Resumo

É crescente o número de marcas e pães oferecidos ao mercado. Técnicas e aparelhagens recentes permitem melhor caracterização de produtos panificados. Neste trabalho foram analisadas diferentes marcas de pães e torradas nos parâmetros de porosidade da massa, textura, cor, volume específico, densidade e umidade. Foram obtidos valores característicos para cada grupo de produtos, mostrando que é perfeitamente viável uma complementação na fixação da identidade e qualidade PIQ de produtos panificados.

Palavras-chave: pão, panificação, legislação de alimentos.

2.2. Abstract

COMPLEMENTARY PARAMETERS OF REQUIREMENTS TO FIXING IDENTITY AND QUALITY OF BAKERY PRODUCTS. Brazilian bakery market is growing fast, offering new products and brands every time. Recent techniques and equipment allow better characterization of wheat products. This work considered a reevaluation of the Brazilian legislation for baked goods. Different kinds of bread and toast were evaluated in relation to crumb porosity, texture, color, specific volume, density and moisture. Characteristic values for each group of products were obtained, showing that a complementation of requirements for specific standardized bakery products is possible. Keywords: bread, bakery products, Brazilian food legislation.

2.3. Introdução

É crescente o número de marcas e produtos panificados oferecidos ao mercado. De forma concomitante, várias técnicas e aparelhos destinados à análise de alimentos, em particular para pães, estão disponíveis (ESTELLER *et al.*, 2004a). A

legislação atual para produtos panificados (BRASIL, 2006), que aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Pão, pode ser revista e melhorada.

AGUILERA (2005) ressalta que este século será marcado pelas intervenções na microestrutura dos alimentos e suas relações com as propriedades sensoriais.

O sabor é o atributo mais apreciado em um alimento e a textura o principal fator para rejeitá-lo (BOURNE, 2002).

A textura pode ser definida como todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto que sejam perceptíveis por meios instrumentais e sensoriais (ESTELLER *et al.*, 2004a). O procedimento para determinação da firmeza e demais parâmetros de textura consiste em submeter os pães à compressão e analisar a curva força-tempo resultante (ESTELLER *et al.*, 2004b).

A avaliação da cor é um parâmetro crítico em produtos forneados. Pães com crosta muito clara ou muito escura estão associados à falhas no processamento. No Sistema CIELAB, os valores para claro e escuro são representados pelo L^* , o vermelho é representado por $+a$, o verde por $-a$, amarelo por $+b$ e azul por $-b$, em um plano cartesiano (GIESE, 2000; HUTCHINGS, 1999).

Já os valores nutricionais (composição centesimal) para muitos produtos panificados podem ser obtidos na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS - USP, 2005).

Este trabalho propõe a revisão e complementação da legislação atual, através de parâmetros de análise que melhor caracterizem os produtos panificados, utilizando-se, como base, a avaliação de alguns tipos de pães e torradas mais consumidos no mercado brasileiro.

2.4. Material e métodos

Os produtos comerciais foram adquiridos no mercado local, na cidade de São Paulo, provenientes de fabricantes de todo o País. Foram avaliados os seguintes produtos: pão de forma comum, pão para *hot-dog* e pão para hambúrguer (Panco, Seven Boys, Pullman, Juliana, Nutrella e Firenze), pão francês, pão italiano, *ciabatta* e pão de queijo (Panificadora Santa Marta e Casa do Pão de Queijo), torradas (Bauducco e Marilan).

2.4.1. Textura

As análises foram realizadas com amostras no 3º dia após a data declarada de fabricação (tempo necessário para procura e aquisição no mercado), levando-se em consideração as respectivas validade declaradas pelos processadores. Foram avaliadas pelo menos 10 amostras de cada produto e marca tomando-se os valores médios para cada parâmetro. Foi utilizado o texturômetro TA.XT2 (Stable Micro Systems, UK), conforme metodologia proposta pelo *American Institute of Baking* (AMERICAN INSTITUTE OF BAKING, 2005). Para pães, foram utilizados os parâmetros: probe cilíndrico 25 mm perspex P/25P, força de dupla compressão, *test speed* 2,0 mm/s, *trigger force* 10 g, *type auto*, *post-test speed* 10 mm/s, *distance* 6,2 mm, *force* 10 g, *acquisition* 200 pps. Para torradas, probe *knife blade HDP/BS*, *test speed* 2,0 mm/s, *trigger force* 10 g, *type auto*, *post-test speed* 5 mm/s, *distance* 6,0 mm, *acquisition* 200 pps e compressão simples. As amostras (duas fatias de 12,5 mm ou uma fatia de 25 mm = 50 g), retiradas da porção central, foram mantidas na embalagem original e retiradas de forma aleatória, uma a uma, para evitar ressecamento se expostas ao ambiente, o que também pode interferir no resultado de textura, devido à sensibilidade do equipamento. A leitura foi efetuada o mais rapidamente possível (Figura 7).

FIGURA 7 Texturômetro TA.XT2 utilizado para análise da textura de pão de forma

2.4.2. Análise da cor

As amostras tiveram seus valores de reflectância (L^* , a^* , b^*) registrados no espectrofotômetro HunterLab, modelo UltraScam™XE e sistema CIELAB, com ângulo do observador de 10° e iluminante D65, 420 nm. Após calibração, cada amostra (crosta e miolo) foi colocada com a parte central voltada para a porta de 9 mm. Cada valor apresentado representa a média entre 8 amostras (Figura 8).

FIGURA 8 Espectrofotômetro HunterLab UltraScam™XE utilizado para análise da cor de pães.

2.4.3. Porosidade do miolo (alvéolos)

Foram preparadas 10 fatias de cada amostra, com espessura de 12,5 mm (padrão de corte), escaneadas em *scanner* HP Scanjet 2400, área central do miolo 50x50 mm, 200 *dpi*. Durante a aquisição das imagens foi utilizada cobertura de filme plástico negro para isolamento da luz e evitar danos às amostras. As imagens foram analisadas com o software de imagens Image-Pro Plus 4.5, Media Cybernetic, Inc. USA. Determinaram-se os parâmetros alveolares: área (mm^2), diâmetro médio (mm) e perímetro (mm) (Figura 9).

FIGURA 9 *Scanner HP Scanjet 2400 utilizado para análise do miolo dos pães*

2.4.4. Análise de umidade

Para a análise de umidade, o pão foi picado e homogeneizado (casca + miolo) pesando-se 10 g da amostra em cápsula de alumínio tarada (Figura 10).

FIGURA 10 *Estufa para secagem dos pães na análise de umidade*

Os conjuntos (triplicata) foram colocados em estufa a 105 °C por duas horas. Após desidratação, foram mantidos em um dessecador contendo sílica-gel até atingir a temperatura ambiente e pesados. O procedimento de secagem e pesagem foi repetido até que um valor constante fosse obtido para cada amostra analisada; o teor

de umidade foi calculado pela diferença entre o peso inicial e final das amostras e expresso em porcentagem (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1976).

2.4.5. Análise do volume

O volume foi determinado preenchendo totalmente com microesferas de polietileno, um copo de vidro liso e transparente com dimensões 7,5 cm de altura x 7,5 cm de diâmetro (Figura 11). Em seguida, parte delas foi substituída pela amostra e completou-se o volume até a borda e nivelamento com auxílio de régua plástica. As esferas remanescentes, correspondendo ao volume do pão, foram colocadas em cilindro graduado expressando-se o resultado em mL (ESTELLER *et al.*, 2004a).

FIGURA 11 Copo de vidro e cilindro graduado utilizados para avaliação do volume das amostras.

2.5. Resultados e discussão

2.5.1. Porosidade (estrutura alveolar)

Devido ao limite de detecção do software de imagem (Tabela 1), os valores mínimos para área, diâmetro e perímetro para cada grupo de pães são os mesmos. As diferenças aparecem para os valores máximos e médios. A quantidade e o volume dos alvéolos estão diretamente relacionados com a formulação e processos utilizados. Massas com grande quantidade de líquidos tendem a criar, após assadas, produtos com alvéolos de grandes dimensões (largos e profundos), que podem ser observados para os valores da área média (mm^2) para pães como *ciabatta*, pão de queijo e torrada *Magic Toast*.

O processo de fermentação pode influenciar, também, na produção de alvéolos longos, arredondados ou elipsóides, com maiores diâmetros ou perímetros. Massas cilindradas ou que passem por outro processo que expulse o ar da massa durante a modelagem tendem à formação de produtos com miolo mais homogêneo, com maior número de alvéolos e com volumes menores (pão de forma, *dog-hambúrguer* e torradas convencionais). Para as torradas produzidas com formulações específicas, ou mesmo aquelas produzidas por extrusão termoplástica (Marilan) - a qual confere ao produto características bem distintas - a redução nas dimensões dos alvéolos está relacionada com a contração do volume durante o processo de secagem. Esta relação fica clara na observação dos diâmetros e perímetros médios dos produtos.

TABELA 1 Porosidade do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais

Produtos ^(*)	Pão Francês	Pão Forma	Dog-Hamburger	Pão Italiano	Ciabatta	Pão de Queijo	Torrada	Magic Toast ^(*)
Porosidade do miolo (alvéolos) ^(**)								
área mínima	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,01 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a
área máxima	122,81±70,54 ^{a,b,c}	59,05±25,62 ^{a,b}	191,70±77,74 ^{c,d}	131,41±45,85 ^{a,b,c}	392,03±37,84 ^a	281,27±20,04 ^{d,e}	31,61±6,41 ^a	181,84±19,77 ^{b,c,d}
área média	0,56±0,18 ^{a,b}	0,41±0,02 ^{a,b}	0,43±0,04 ^{a,b}	0,41±0,03 ^{a,b}	0,57±0,28 ^{a,b}	0,79±0,20 ^b	0,20±0,01 ^a	0,85±0,32 ^b
diâm mínimo	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a
diâm máximo	14,00±2,69 ^{a,b}	9,35±2,67 ^a	15,04±4,25 ^{a,b}	12,29±5,79 ^b	35,71±1,86 ^c	31,19±0,74 ^c	7,09±0,90 ^a	20,37±0,73 ^b
diâm médio	0,41±0,10 ^a	0,38±0,01 ^a	0,34±0,01 ^a	0,36±0,02 ^a	0,45±0,02 ^a	0,38±0,03 ^a	0,33±0,01 ^a	0,49±0,14 ^a
perim mínimo	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a
perim máximo	109,93±31,04 ^{a,b,c}	77,37±16,06 ^{a,b}	134,34±28,17 ^{b,c,d}	133,03±22,58 ^{b,c,d}	188,73±50,45 ^a	155,89±2,61 ^{c,d}	52,80±9,05 ^a	175,99±14,85 ^{c,d}
perim médio	1,46±0,40 ^a	1,37±0,06 ^a	1,24±0,05 ^a	1,19±0,12 ^a	1,71±0,20 ^a	1,65±0,12 ^a	0,95±0,07 ^a	1,75±0,12 ^a

área (mm²); diâmetro (mm); perímetro (mm); média de 10 amostras +/- desvio padrão

(*) Representados pelos pães com maior consumo no mercado

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado (Teste de Tukey HSD).

2.5.2. Textura

A dureza ou firmeza dos pães e torradas está relacionada com a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra, avaliada por texturômetros mecânicos (ESTELLER *et al.*, 2004a) e correlacionada com a mordida humana durante a ingestão dos alimentos. A força máxima avaliada para produtos panificados é dependente da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes, enzimas e mesmo a adição de glúten e melhoradores de farinha), umidade da massa e conservação (tempo de fabricação do produto e embalagem). A análise dos resultados de textura aponta para valores baixos de firmeza (ou maior maciez) para o miolo de pães francês, forma, *dog-hambúrguer* e *ciabatta* (crosta removida) (Tabela 2). O pão italiano, no outro extremo, apresenta-se como uma massa firme que necessita de maior salivagem e mastigação característica para este tipo de pão, sendo apreciado por muitos justamente pela sensação de saciedade. O pão de queijo, cuja estrutura alveolar é formada pela expansão e evaporação dos líquidos presentes na massa, apresenta firmeza intermediária e massa menos elástica característica de gel formado pela gelatinização do polvilho e interação com proteínas (queijo e ovos). A manutenção da coesividade em derivados de trigo está relacionada às interações moleculares dos componentes, pontes de hidrogênio, pontes de dissulfeto e ligações cruzadas com a participação de íons metálicos e a mobilidade da água na massa. Produtos “envelhecidos” (maior tempo de estocagem) perdem sua elasticidade.

TABELA 2 Textura do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais

Produtos ¹⁾	Pão Francês	Pão Forma	Dog-Hambúrguer	Pão Italiano	Ciabatta	Pão de Queijo	Torrada	Magic Toast ^{1,2)}
	Textura (TPA)							
firmeza (N)	0,72±0,16 ^a	1,56±0,15 ^b	1,44±0,94 ^a	7,42±3,23 ^a	1,36±0,48 ^a	2,49±1,77 ^a	47,28±14,07 ^c	30,77±3,72 ^b
coesividade	0,80±0,03 ^c	0,67±0,06 ^c	0,41±0,02 ^b	0,73±0,03 ^c	0,79±0,01 ^c	0,61±0,01 ^b		
mastigabilidade (N.m)	0,54±0,09 ^a	0,94±0,19 ^a	0,47±0,10 ^a	4,69±2,02 ^a	0,99±0,33 ^a	1,29±0,80 ^a		
elasticidade	0,94±0,03 ^b	0,89±0,01 ^b	0,92±0,01 ^b	0,87±0,03 ^b	0,92±0,03 ^b	0,77±0,24 ^b		
adesividade (mJ)	0,002±0,001 ^d	0,001±0,04 ^a	0,006±0,008 ^b	0,001±0,002 ^c	0,004±0,001 ^a	0,004±0,006 ^a		

(*) Para torradas, o método utilizado permitiu avaliar a crocância da amostra associada à força máxima sobre a fatia.; média de 10 amostras +/- desvio padrão

(**) Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado (Teste de Tukey HSD).

Para as torradas, foi avaliada apenas a força máxima, suficiente para desintegrar a amostra. Os demais parâmetros de textura não podem ser determinados pelo tipo de análise efetuada. Baixa força de compressão, representando um produto macio ou “borrachudo”, resultado de um processo de secagem ou embalagem inadequados, seria um fator negativo de textura, portanto, indesejável ao consumidor desta categoria de produto panificado.

2.5.3. Cor

A temperatura de assamento para a maioria dos pães oscila entre 190 e 250 °C, exceto os *flat bread* (pão sírio, *pita*, *chapati*, *paratha*, *ataif*, incluindo pizzas e esfihas) que podem ser assados em temperaturas superiores a 300 °C (QAROONI, 1996). No centro do miolo, a temperatura atinge cerca de 98 °C. A presença de açúcares na formulação acelera reações de caramelização e Maillard, levando ao escurecimento progressivo da crosta e miolo, que podem ser desejados ou não (ESTELLER *et al.*, 2006).

Valores de L* mais altos indicam maior reflectância da luz traduzindo-se em pães com coloração clara, pobres em açúcares, ou presença de farinhas e amidos na crosta, como no caso do pão francês, *ciabatta* e pão de queijo (L*=65,3; 65,0 e 79,9) respectivamente. Para o miolo, os valores de L* são muito semelhantes e, como mencionado anteriormente, a temperatura e a umidade no centro impedem uma diferenciação significativa, exceto para o pão italiano (L*=56,6), devido a um tempo prolongado de assamento e provavelmente maior acidez da massa. Maiores valores de +a (desvio para o vermelho) indicam coloração mais escura na crosta. É o que

ocorre para o pão de forma, *dog*-hambúrguer e torradas, pães normalmente com forte presença de açúcares em suas formulações. No outro extremo, encontramos o *ciabatta* e o pão de queijo. Para a coloração do miolo, a regra é mantida, mas é dependente, ainda, de algumas interações entre os ingredientes ativados pelo calor.

Valores altos para $+b$ são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada ou dourada, que embora “diluída” na coloração castanha característica de produtos forneados, pode ser “filtrada” e aparece em pães ricos em proteínas, açúcares redutores e ovos (carotenóides). Tem-se como exemplo as torradas e os pães de queijo. Algumas variações nos valores de a^* e b^* para cada grupo de produtos analisados podem estar, também, relacionadas com o grau de aeração (porosidade da massa) e mudanças na luz que incide na superfície do material (Tabela 3).

TABELA 3 Cor do miolo (alvéolos) dos diferentes produtos comerciais

Produtos ⁽¹⁾	Pão Francês	Pão Forma	Dog-Hambúrguer	Pão Italiano	Ciabatta	Pão de Queijo	Torrada	Magic Toast ⁽¹⁾
Cor								
L* (crosta)	65,31±6,48 ^c	48,14±0,94 ^{a,b}	57,68±2,44 ^{b,c}	44,30±6,46 ^a	65,05±1,20 ^c	79,93±2,63 ^d	50,45±1,06 ^{a,b}	53,05±1,91 ^{a,b}
a* (crosta)	8,61±3,66 ^{a,b}	17,19±0,13 ^d	12,09±0,67 ^{b,c,d}	11,71±6,63 ^{b,c,d}	3,35±0,81 ^a	5,30±2,26 ^{a,b}	16,71±0,22 ^{c,d}	9,18±0,58 ^{a,b,c}
b* (crosta)	25,54±4,33 ^{a,b}	29,01±0,66 ^{a,b}	20,52±2,18 ^a	22,80±8,36 ^{a,b}	22,61±0,85 ^{a,b}	33,21±4,25 ^b	30,65±0,85 ^{a,b}	25,39±1,36 ^{a,b}
L* (miolo)	63,23±3,23 ^{a,b}	62,37±2,05 ^{a,b}	66,60±4,56 ^c	56,60±6,35 ^a	65,34±6,94 ^c	61,81±2,23 ^a	63,16±2,72 ^{a,b}	65,32±1,80 ^c
a* (miolo)	0,40±0,09 ^b	1,14±0,07 ^d	0,72±0,09 ^c	0,06±0,18 ^a	0,09±0,19 ^a	0,48±0,45 ^b	3,36±0,90 ^a	3,41±0,93 ^a
b (miolo)	6,36±0,68 ^a	10,88±0,63 ^b	6,88±0,98 ^a	11,57±1,33 ^b	11,84±0,59 ^b	16,57±0,75 ^c	24,90±1,98 ^d	22,30±1,20 ^d

Magic Toast: leituras da crosta e fundo; média de 10 amostras +/- desvio padrão

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado (Teste de Tukey HSD).

2.5.4. Volume específico e densidade

O volume específico e a densidade mostram claramente a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar existente na massa assada. Massas com densidade alta ou volume específico baixo (embatumadas) apresentam aspecto desagradável ao consumidor, associadas com alto teor de umidade, falhas no batimento e cocção, pouca aeração, difícil mastigação, sabor impróprio e baixa conservação. O pão de queijo, devido ao alto teor de macromoléculas como amido (fécula) e proteínas (queijo e ovos), apresenta massa “pesada”, isto é, maior densidade e menor volume específico. Por outro lado, para a maioria das formulações, essa característica é compensada pela alta incorporação de ar durante o batimento e à formação de alvéolos grandes e textura “aberta”, como descrito anteriormente. As torradas, pelo seu baixo teor de água, apresentam-se como produtos “leves”, aerados e secos, com maior volume específico e menor densidade (Tabela 4).

TABELA 4 Volume específico, densidade e umidade dos diferentes produtos comerciais

Produto	Pão Francês	Pão Forma	Dog-Hambúrguer	Pão Italiano	Ciabatta	Pão Queijo	Torrada	Magic Toast
volume específico (ml/g)	4,63±0,27 ^{b,c}	4,10±0,19 ^{b,c}	5,99±0,62 ^d	3,88±0,15 ^b	4,54±0,17 ^{b,c}	2,58±0,22 ^a	4,72±0,20 ^c	7,07±0,25 ^a
densidade (g/mL)	0,22±0,01 ^{b,c}	0,24±0,01 ^c	0,17±0,02 ^{a,b}	0,26±0,01 ^c	0,22±0,04 ^{b,c}	0,39±0,03 ^d	0,21±0,02 ^{b,c}	0,14±0,02 ^a
umidade (%)	26,00±1,34 ^b	29,99±0,65 ^c	33,28±2,75 ^d	30,08±0,63 ^c	28,03±0,27 ^{b,c}	29,42±0,53 ^a	5,84±0,53 ^a	4,88±0,42 ^a

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado Tukey HSD; média de 4 amostras +/- desvio padrão

2.5.5. Umidade

Em pães tradicionais, a umidade situa-se em valores próximos a 30% e em torradas, em torno de 5% (ESTELLER *et al.*, 2004b). Os valores de análise obtidos, descritos na Tabela 4 estão coerentes com o esperado. Pães e torradas quebrados ou esfarelados são deixados de lado pelo consumidor no ponto de venda. Umidade em excesso, além de aumentar a atividade microbiana, deixa os produtos panificados grudentos e “borrachudos”, cabendo ao fabricante, portanto, o controle do teor de umidade. CAUVAIN (1998) relaciona algumas alterações que ocorrem em produtos panificados, vinculadas às condições de armazenamento, embalagem, temperatura e umidade relativa: perda de crocância devido à absorção ou migração da água do miolo para a crosta; aumento da dureza em pães devido à perda de água para a atmosfera; aumento da dureza devido à perda de água no processo de retrogradação do amido; tendência ao esfarelamento devido às alterações na coesividade e modificações (normalmente perda) no aroma e sabor.

2.6. Conclusões

Os parâmetros complementares de análise mostraram-se extremamente úteis para uma caracterização mais aprofundada dos produtos analisados. Portanto, é perfeitamente possível uma atualização e melhoria da legislação atual para a fixação de identidade e qualidade de produtos panificados na fixação das características principais para cada tipo de produto panificado existente no mercado.

2.7. Referências bibliográficas

AGUILERA, J.M. Why food microstructure? **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 3-11, 2005.

AMERICAN INSTITUTE OF BAKING. **Sliced white bread**. Disponível em: <http://www.aibonline.org>. Acesso em: 20/02/2005.

BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. San Diego, Academic Press, 2002, 400 p.

BRASIL, **Resolução RDC nº. 263, de 22 de setembro de 2005**.

Aprova o "Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, amidos, farinhas e farelos",

Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>.

Acesso em: 15 jun. 2006.

CAUVAIN, S.P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 56-61, 1998.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L., LANNES, S.C.S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 383-393, 2004a.

ESTELLER, M.S., YOSHIMOTO, R.M.O, AMARAL, R.L., LANNES, S.C.S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, n. 24, v. 4, p. 602-607, 2004b.

ESTELLER, M.S., LIMA, A.C.O., LANNES, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **Lebensmittel-Untersuch Technology**, v. 39, p. 184-187, 2006.

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS USP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/Tabela>. Acesso em: 20/02/2005.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**, v. 54, n. 2, p. 62-63, 2000.

HUTCHINGS, J.B. **Food color and appearance**. Gaithersburg, Aspen Publishers, Inc., 1999, 610p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1976, v. 1, p. 371.

QAROONI, J. **Flat bread technology**, New York, Chapman & Hall, 1996, 275 p.

CAPÍTULO 3

EFEITOS DA ADIÇÃO DE KEFIR NOS PARÂMETROS DE MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE PÃO DE FORMA POROSO

3.1. Resumo

Neste trabalho foram investigados os efeitos da adição de kefir na qualidade de pão de forma poroso. Utilizaram-se técnicas de análise de imagens por escaneamento de amostras (FBS) para avaliação da porosidade do miolo, análise instrumental para a determinação do perfil de textura (TPA), cor da crosta e miolo ($L^*a^*b^*$), umidade, volume específico e densidade. Foram investigadas, também, as correlações entre porosidade, brilho e firmeza. Uma fermentação prolongada ocasionada pelo uso de fermentação mista modificou significativamente ($p < 0,05$) a área dos alvéolos (mm^2), perímetro (mm), firmeza (N), mastigabilidade (N.m), reflectância da luz e volume específico (mL/g). Verificou-se forte correlação entre a microestrutura, o brilho (L^*) e a firmeza das amostras. O kefir prolongou a vida de prateleira do pão. Palavras-chave: kefir, microestrutura de pão, produtos panificados, análise de imagens, textura.

3.2. Abstract

The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. The effect of kefir concentration on the quality of porous white bread has been investigated. Quality evaluation was done using flatbed scanning (FBS) for measuring crumb porosity, instrumental texture profile analysis (TPA), crust and crumb color ($L^*a^*b^*$), moisture, specific volume, and density determinations techniques. The correlations between porosity, brightness, and firmness were also investigated. Long fermentation time of the sourdough changed significantly ($p < 0.05$) the cell mean area (mm^2), cell mean perimeter (mm), firmness (N), chewiness (N.m), light reflectance, and specific volume (ml/g). A strong correlation was found between microstructure of porous white bread, brightness (L),

and firmness from TPA test. Kefir prolonged the shelf-life of bread. Keywords: kefir, porous bread microstructure, bakery products, flatbed image analysis, texture.

3.3. Introdução

O pão pode ser considerado como um corpo poroso formado pela dispersão da fase gasosa (ar), ocupando uma alta fração do volume da matriz sólida (FALCONI *et al.*, 2003). A microestrutura da massa e do produto acabado é descrita por muitos autores ao longo dos anos. A estrutura celular do miolo aparece quando o pão é fatiado, mostrando uma superfície macia, com muitos poros com dimensões variadas, com as paredes formando intrincados desenhos (HAYMAN *et al.*, 1998; ISHIDA *et al.*, 2001).

Tem-se buscado métodos que possam caracterizar a microestrutura e correlacioná-la com a porosidade, dimensões, formas e distribuição espacial dos alvéolos (KALAB *et al.*, 1995; AUTIO e LAURIKAINEN, 1997; LIM e BARIGOU, 2004). Existem muitos trabalhos descrevendo várias técnicas analíticas para explicar a microestrutura de produtos panificados: *Light Microscopy*, *Electron Microscopy* (AUTIO e LAURIKAINEN, 1997; SHIMIYA e NAKAMURA, 1997; AGUILERA, 2005); *X-Ray Detectors*, *Scanning Probe Microscopy*, *Atomic Force Microscopy* (KALÁB *et al.*, 1995); *Magnetic Resonance Imaging* (ISHIDA *et al.*, 2001); *Dinamic Magnetic Resonance Microscopy* (KALÁB *et al.*, 1995); *Confocal Laser Scanning Microscopy* (KALÁB *et al.*, 1995, AGUILERA, 2005); *X-Ray Computerized Microtomography* (FALCONE *et al.*, 2004); *Ultrasonic Reflectance Spectroscopy* (KULMYRZAEV *et al.*, 2000), *Low Frequency Acoustic Spectrometer* (JUODEIKIENE e BASINSKIENE, 2004); *Image Analysis* (SAPIRSTEIN *et al.*, 1994, HAYMAN *et al.*, 1998; LIM e BARIGOU, 2004); e *Flatbed Scanning* (GABRIELSON *et al.*, 2002; GALLAGHER *et al.*, 2003; VAN DALEN, 2004). Análises de imagens por escaneamento de amostras (FBS) são rápidas, práticas, baratas, independentes da luz externa e com boa acuidade. São utilizadas para observação de tecidos vegetais, crescimento microbiano, dimensões de gotas em *spray*, porosidade em concreto e coloração de sementes (GABRIELSON *et al.*, 2002; VAN DALEN, 2004).

As propriedades mecânicas dos pães são importantes não só para assegurar a qualidade, mas também para pesquisar mudanças ocasionadas pelos ingredientes, processo, alterações na vida de prateleira e aceitabilidade pelos consumidores (SCANLON e ZGHAL, 2001). Um dos grandes desafios, talvez, para os cientistas de alimentos, é o delineamento de novos produtos nutritivos com características sensoriais únicas.

O termo fermentação abrange as mudanças bioquímicas causadas por microrganismos ou enzimas presentes em substratos. Há milhares de anos massas têm sido fermentadas por bactérias e leveduras (QAROONI, 1996). O kefir é uma bebida fermentada originária das montanhas do Cáucaso produzida pela ação de grãos no leite. Diferencia-se de outros produtos lácteos fermentados porque não é o resultado da atividade metabólica de uma única espécie, mas contém microflora diversificada (66% *Bacilli*, 16% *Streptococci* e 18% leveduras). Os grãos de kefir formam uma massa com diferentes bactérias e leveduras embebida em uma matriz complexa de proteínas e carboidratos. Apresenta uma composição química de 890-900 g/kg de água, 2 g/kg de lipídios, 30 g/kg de proteínas, 60 g/kg em açúcares e 7 g/kg em cinzas (GARROTE *et al.*, 1997; FARNWORTH, 2003).

Aperfeiçoamentos na qualidade dos alimentos e a criação de novos produtos que satisfaçam à demanda dos consumidores neste século serão inspiradas nas intervenções em nível microscópico (AGUILERA, 2005). As padarias têm desenvolvido vários tipos de pães, alguns reconhecidos como únicos (KULMYRZAEV *et al.*, 2000). O prolongamento da vida de prateleira de produtos panificados e seu envio aos consumidores o mais fresco possível é muito desejável e requer estudos sistemáticos e ensaios (FIK e SURÓWKA, 2002).

O uso de kefir como cultura mista em substituição ao *Saccharomyces cerevisiae* não havia sido relatado até agora com a perspectiva de produzir-se pães com sabor diferenciado e resistência à deterioração microbiana.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a porosidade do miolo, perfil de textura (TPA), cor, volume específico, densidade e umidade de um pão de forma poroso, produzido com adição de kefir em diferentes concentrações e correlacionar a porosidade do miolo (área do alvéolo), textura do miolo (firmeza) e brilho (L*).

3.4. Material e métodos

3.4.1. Obtenção do kefir

Os grãos de kefir são de origem artesanal. Uma amostra de leite bovino foi inoculada com os grãos (6%), fermentando-se por 24 horas à temperatura de 25 °C. A etapa de maturação ocorreu a 10 °C por 17 horas. Ao final os grãos foram peneirados. O kefir foi armazenado a 5 °C e usado no mesmo dia. As análises realizadas indicaram uma composição de 1,0 g/L de CO₂, 3,0% proteína, 3,0% lipídios, 2,8% lactose, 0,10% etanol e 0,7% de ácido láctico.

3.4.2. Produção dos pães

A matéria-prima utilizada compreende farinha de trigo (14% de umidade, 30% de glúten úmido e 0,5% em cinzas); glúten úmido (extraído do mesmo lote de farinha) conforme descrito por ESTELLER *et al.* (2005), fermento fresco prensado (Itaiquara), sal refinado (Cisne), sacarose (União), gordura vegetal hidrogenada (Unilever), amilase fúngica Grindamyl 4 FAU/g (Danisco) e kefir (Figura 12).

FIGURA 12 Amostra de leite inoculado com grãos de kefir

As formulações utilizadas estão descritas na Tabela 5. A quantidade de farinha de trigo foi fixada em 1000 g mantendo-se a proporção dos demais ingredientes e variando-se a quantidade de kefir e, conseqüentemente, de água carregada com o leite inoculado com os grãos de kefir. Para o controle foi fixada a quantidade de água em 580 g/1000 g de farinha e leveduras 50 g/1000 g farinha.

Os limites superiores e inferiores de cada ingrediente foram determinados experimentalmente levando-se em consideração a produção de amostras com qualidade aceitável (cor, volume, textura) na produção dos pães.

TABELA 5 Formulações utilizadas na produção dos pães com kefir

Formulações Ingredientes (g)	controle	1	2	3	4	5
farinha	1000	1000	1000	1000	1000	1000
glúten úmido	100	100	100	100	100	100
kefir	0	150	300	450	600	700
água	580	450	300	150	0	0
fermento	50	0	0	0	0	0
enzima	1	1	1	1	1	1
sacarose	70	70	70	70	70	70
sal	20	20	20	20	20	20
gordura	30	30	30	30	30	30

A massa foi preparada pelo método direto em batedeira planetária Amádio 20-LA (Amádio, SP) utilizando gancho tipo anzol, misturando-se todos os ingredientes por 1 minuto na velocidade de 60 rpm e mais 8 minutos a 120 rpm até o completo desenvolvimento da massa (Figura 13). A temperatura final foi de 27 °C.

FIGURA 13 Processo de desenvolvimento da massa de pão durante batimento

A massa permaneceu em repouso por 30 minutos à 25 °C no próprio tacho da batedeira, dividida manualmente e, com auxílio de balança, padronizadas em pedaços de 700 g, boleados, e submetidos a um tempo extra de fermentação por 30 minutos e modelados em formato cilíndrico. Os pães formados foram colocados em assadeiras revestidas com teflon de dimensões 300 mm x 115 mm x 100 mm sem tampa. A fermentação final ocorreu em estufa a 25 °C, 60% de umidade relativa por 24 horas. Os pães foram assados em forno elétrico estacionário 4000 W, 220 V (Flexa de Ouro, SP) por 25 minutos a 200 °C (teto) e 220 °C (lastro). As amostras foram resfriadas à temperatura ambiente por 120 minutos em tela de aço inox e embaladas em sacos de polietileno com fecho plástico, armazenadas a 25 °C em estufa BOD (Fanem, 347CD, SP).

3.4.3. Avaliação das amostras

Os ensaios foram realizados no dia seguinte (após 24 horas). As amostras foram fatiadas com 25 mm utilizando-se regulador de espessura e lâmina para pão.

3.4.4. Porosidade do miolo

A porosidade do miolo dos pães foi avaliada utilizando-se *scanner* (HP ScanJet 4c, USA). Foram escaneadas 2 fatias com 25 mm de espessura, nos dois lados, correspondendo a uma área de 50 mm x 50 mm da porção central de três pães, 200 dpi, ou 12 imagens por ensaio. Para a análise das imagens utilizou-se o software *Image-Pro Plus 4.5* (Media Cybernetics, Inc., USA). Os parâmetros de análise dos alvéolos foram: área (mm²), diâmetro (mm) e perímetro (mm) (Figura 9).

3.4.5. Análise da textura (TPA)

A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada no segundo dia de armazenamento com 12 fatias (25 mm) da região central de três pães, do mesmo ensaio, em texturômetro TA. XT2 (Stable Micro Systems, UK). “Cada fatia foi colocada sobre a base e comprimida com o probe TA-3 1” *acrylic cylinder* (Figura 7). O aparelho foi ajustado para dupla compressão, *cycle until count; pretest speed 2,0 mm/s; test speed 1,7 mm/s; posttest speed 10,0 mm/s; distance 6,2 mm, trigger type auto; force 10 g; acquisition 200 pps*. Para prevenir o ressecamento, as amostras foram mantidas na embalagem até a hora do ensaio, que foi conduzido de forma aleatória. Os parâmetros de análise foram: firmeza (dureza), elasticidade, coesividade, mastigabilidade e adesividade (FIK e SURÓWKA, 2002; ALVAREZ *et al.*, 2002; ESTELLER *et al.*, 2004; ESTELLER *et al.*, 2005; AMERICAN INSTITUTE OF BAKING, 2005).

3.4.6. Cor

A crosta e o miolo das amostras foram avaliadas utilizando-se o espectrofotômetro *UltraScanTMXE* HunterLab, ajustado para leitura da reflectância, iluminante D65 e ângulo do observador em 10 graus. A calibração foi conduzida com o software *Universal 4.0* (USA). Cada fatia, com 25 mm de espessura, foi colocada

com a parte central voltada para a janela de 9 mm (Figura 8). Os valores CIEL*a*b* correspondem a média de 8 amostras para miolo e crosta (ESTELLER *et al.*, 2006).

3.4.7. Propriedades físicas

As amostras foram pesadas (g) e o volume (mL) foi avaliado utilizando-se o método de sementes (Figura 11) (PLESSAS *et al.*, 2004). O volume específico (mL/g) e a densidade (g/mL) foram calculados. O teor de umidade foi determinado pelo método 44-15A da AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS, 2002) (Figura 10). Os resultados correspondem à quadruplicatas de cada ensaio.

3.4.8. Vida de prateleira

Cinco pães de cada fórmula foram mantidos na embalagem original em estufa bacteriológica a 25 °C e observados diariamente para verificar-se a presença de crescimento fúngico na superfície, laterais e fundo das amostras (PLESSAS *et al.*, 2005).

3.4.9. Avaliação estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o software *Statistica 6.0/2001* (StatSoft, Tulsa, USA), para Análise da Variância (ANOVA) entre os tratamentos e teste de *Tukey HSD* em 5% de significância.

3.5. Resultados e discussão

3.5.1. Porosidade do miolo

Valores iguais para a área mínima dos alvéolos (0,016 mm²), diâmetro (0,06 mm) e perímetro (0,13 mm) são correspondentes ao limite de detecção do *software* de imagens (Figura 14-15 e Tabela 6).

FIGURA 14 Amostras do miolo de pão obtidas por escaneamento das fatias
a) formulação controle, b) formulação 5 com kefir.

Comparando-se com o controle ($0,40 \text{ mm}^2$ e $1,13 \text{ mm}$) o aumento na quantidade de kefir aumenta também o valor da área média ($0,50 - 0,56 \text{ mm}^2$) e os valores do perímetro médio ($1,33 - 1,43 \text{ mm}$), respectivamente. Não ocorrem mudanças significativas com os valores para o diâmetro médio ($0,38 - 0,40 \text{ mm}$) ($p < 0,05$).

Os resultados estão de acordo com a literatura que relata que longo tempo de fermentação (24 horas) resulta em miolo com menor brilho, alvéolos grandes com paredes mais grossas e alta fração de ar (ZGHAL *et al.*, 1999). O aumento da porosidade foi causado pela produção de CO_2 pelas leveduras e algumas bactérias lácticas heterofermentativas do kefir. O teor de CO_2 aumenta durante a fermentação concomitante com a queda do pH (FARNWORTH, 2003).

Nas amostras com kefir os gases volatilizam lentamente criando grandes bolhas e alvéolos mais abertos.

TABELA 6 Respostas obtidas para a porosidade do miolo.

formulação	controle	1	2	3	4	5
área mínima	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a	0,016±0,00 ^a
área máxima	112,96±42,72 ^a	74,94±17,14 ^{a,b}	92,72±34,48 ^{a,b}	165,23±37,91 ^c	104,37±42,79 ^{a,b}	109,30±52,02 ^{a,b}
área média	0,40±0,05 ^{a,b}	0,50±0,04 ^{c,d}	0,52±0,03 ^c	0,53±0,08 ^d	0,54±0,05 ^d	0,56±0,03 ^d
diâmetro mínimo	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a	0,06±0,00 ^a
diâmetro máximo	13,59±2,73 ^a	11,04±2,62 ^a	11,25±1,67 ^a	15,23±3,63 ^a	11,93±2,30 ^a	13,27±2,83 ^a
diâmetro médio	0,3±0,02 ^{a,3}	0,38±0,04 ^a	0,36±0,02 ^a	0,38±0,02 ^a	0,38±0,01 ^a	0,40±0,01 ^a
perim mínimo	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a
perim máximo	121,36±31,32 ^b	73,40±8,74 ^{a,b}	73,04±16,15 ^a	114,54±29,12 ^{a,b}	81,81±29,24 ^{a,b}	90,70±25,71 ^{a,b}
perímetro médio	1,13±0,09 ^{a,b}	1,33±0,15 ^{c,d}	1,38±0,15 ^{c,d}	1,41±0,14 ^d	1,42±0,08 ^d	1,43±0,07 ^d

área (mm²), diâmetro (mm), perímetro (mm); média de 10 amostras +/- desvio padrão.

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado Tukey HSD.

3.5.2. Textura

Aumentando-se a concentração de kefir provoca-se aumento na firmeza (1,06 – 2,54 N) (Tabela 7). Frequentemente a força aplicada não é linearmente proporcional à deformação (ESTELLER *et al.*, 2004). A compressão repetida leva a mudanças irreversíveis, especialmente a ruptura da amostra (PELEG, 1997). Falta de homogeneidade na distribuição dos alvéolos no miolo contribui para um comportamento mecânico complexo.

O kefir provoca decréscimo no pH da massa modificando as proteínas. Ainda que alguns estudos mostrem uma correlação inversa entre o volume de pães e a firmeza, os alvéolos abertos representaram uma grande área de contato ocasionando rápida perda de umidade aumentando os valores de firmeza e reduzindo a adesividade (0,0048 – 0,0010 mJ). O aumento da mastigabilidade (0,85 – 1,45 N) reforça o conceito que pães produzidos com fermentação mista são um pouco mais “borrachudos” e necessitam mais mastigação (PLESSAS *et al.*, 2005). Não houve correlação significativa entre a quantidade de kefir, coesividade e elasticidade.

TABELA 7 Respostas obtidas para os parâmetros de textura das amostras

formulação	controle	1	2	3	4	5
firmeza (N)	0,91±0,07 ^a	1,06±0,16 ^a	1,28±0,18 ^{a,b}	1,47±0,22 ^b	1,58±0,23 ^c	2,54±0,33 ^d
coesividade	0,75±0,03 ^d	0,83±0,01 ^e	0,75±0,02 ^d	0,69±0,04 ^b	0,76±0,01 ^d	0,66±0,03 ^a
mastigabilidade (N.m)	0,62±0,05 ^a	0,85±0,10 ^b	0,89±0,11 ^b	0,94±0,11 ^b	0,90±0,15 ^b	1,45±0,13 ^c
elasticidade	0,92±0,02 ^c	0,95±0,03 ^d	0,93±0,02 ^{c,d}	0,92±0,02 ^{c,d}	0,94±0,02 ^{c,d}	0,88±0,02 ^a
adesividade (mJ)	0,004±0,003 ^b	0,005±0,006 ^b	0,004±0,002 ^b	0,003±0,002 ^b	0,020±0,001 ^{a,b}	0,001±0,000 ^a

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado Tukey HSD;

Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão

3.5.3. Cor

A cor é uma importante característica de produtos panificados porque, junto com a textura e aroma, contribui para a preferência do consumidor (Tabela 8). A cor depende das características físico-químicas da massa crua (i.e. teor de água, pH, açúcares redutores e aminoácidos), das condições de processo durante a cocção (temperatura, velocidade de circulação de ar, umidade relativa, formas de transferência de calor). A obtenção de uma cor em particular pode ser o objetivo do forneamento e pode ser considerado um parâmetro crítico de qualidade (ESTELLER *et al.*, 2006).

As reações químicas que causam escurecimento em produtos panificados durante a cocção incluem reações de Maillard e caramelização (ZANONI *et al.*, 1995). O kefir contém proteínas e açúcares que causaram redução no brilho L^* da crosta e miolo. Os resultados indicam que os valores de luminosidade (L^* crosta) podem sofrer grande variação (50 – 57 unidades), não só em razão da adição de leite, mas também em função da temperatura que incide sobre as amostras no forno.

Dependendo da posição da amostra no forno (180 – 220 °C) pode ocorrer maior escurecimento, ainda que no mesmo lote, maior na crosta e menor no miolo (98 °C) (57 – 68 unidades), linearmente dependente da adição de derivados de leite e porosidade do miolo.

FIGURA 15 Corte transversal de amostra do pão com kefir (formulação nº. 5) mostrando a formação de estrutura porosa, com alvéolos grandes, resultante da fermentação prolongada.

O mesmo pode ser observado para os valores a^* (crosta) (9 – 12 unidades), b^* (crosta) (10 – 19), a^* (miolo) (0,38 – 0,75) e b^* (miolo) (5,40 – 6,90) entre as formulações. Os resultados são bastante diferentes e não foi possível estabelecer correlações entre esses valores e a concentração de kefir, talvez, pela dificuldade em se “isolar” a luz refletida em razão de reações complexas. Baixo pH causado pela ação bacteriana e hidrólise de cadeias de grandes moléculas (proteínas), contribuiu para acelerar as reações de escurecimento.

TABELA 8 Respostas obtidas para a cor das amostras de pães com kefir e formulação controle.

formulação	controle	1	2	3	4	5
L* (crosta)	50,11±1,17 ^{b,c}	51,13±1,12 ^{b,c}	56,67±3,89 ^d	48,64±0,43 ^{a,b}	48,85±0,98 ^{a,b}	48,61±1,84 ^{a,b}
a* (crosta)	10,07±0,50 ^{b,c}	10,54±0,30 ^{c,d}	11,74±0,85 ^d	10,51±0,31 ^{c,d}	10,62±0,70 ^{c,d}	9,57±1,24 ^{b,c}
b* (crosta)	12,15±1,43 ^b	13,54±0,97 ^{b,c}	19,68±3,57 ^d	10,32±0,52 ^b	11,05±0,82 ^b	11,55±1,71 ^b
L* (miolo)	67,69±2,17 ^d	65,24±2,07 ^d	62,32±2,42 ^{b,c}	61,10±2,29 ^{a,b}	59,09±2,16 ^{a,b}	57,00±3,78 ^a
a* (miolo)	0,69±0,06 ^{a,b}	0,38±0,10 ^b	0,75±0,07 ^a	0,48±0,68 ^{a,b}	0,53±0,06 ^{a,b}	0,52±0,19 ^{a,b}
b* (miolo)	6,89±0,55 ^d	6,57±0,55 ^{c,d}	5,48±0,75 ^{a,b}	5,75±0,47 ^{a,b,c}	5,41±0,50 ^a	6,35±0,98 ^{a,b,c,d}

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado (Teste de Tukey HSD).
Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão

3.5.4. Volume, umidade, volume específico e densidade dos pães.

A adição de kefir correlacionou-se diretamente com o volume específico (Tabela 9) ocasionando aumento nos valores (3,89 – 5,32 mL/g) e redução na densidade (0,35 – 0,19 g/mL), resultado de um grande número de alvéolos de maiores dimensões. A perda de umidade ocorre continuamente na massa como forma de equilíbrio dinâmico entre os ingredientes e o ambiente externo (LABUZA e HAYMAN, 1998). Maior porosidade está relacionada com maior perda de água, porém, durante a estocagem não houve variação significativa ($p < 0,05$), exceto para a formulação 5 com maior teor de água adicionada (Tabela 5).

TABELA 9 Respostas obtidas para os parâmetros volume específico, densidade e umidade das amostras de pães produzidas com kefir e formulação controle

formulação	controle	1	2	3	4	5
volume específico (mL/g)	4,74±0,98 ^{b,c}	3,89±0,27 ^a	4,29±0,75 ^{a,b,c}	4,51±0,95 ^c	4,92±0,84 ^{b,c}	5,32±0,20 ^{a,b,c}
densidade (g/mL)	0,22±0,04 ^{a,b}	0,35±0,03 ^c	0,30±0,04 ^{b,c}	0,29±0,04 ^{b,c}	0,21±0,04 ^{a,b}	0,19±0,01 ^a
umidade (%)	36,66±1,59 ^{b,c,d}	37,53±1,91 ^{b,c,d}	35,06±2,18 ^{a,b}	35,17±1,80 ^{b,c}	39,74±1,21 ^d	40,70±1,18 ^a

Letras iguais na mesma linha (p<0,05) representam variação não significativa no parâmetro analisado (Teste deTukey HSD).
Os valores representam a média de 4 amostras +/- desvio padrão.

3.5.5. Vida de prateleira

Os resultados para a vida de prateleira dos pães produzidos com kefir e controle são mostrados na Tabela 10. Após 2 semanas de incubação a 25 °C houve aparecimento de crescimento fúngico na superfície dos pães, especialmente nas laterais.

TABELA 10 Vida de prateleira das amostras produzidas com kefir e controle.

formulação	controle	1	2	3	4	5
tempo (dias)	10	13	14	14	14	15

O kefir prolongou a vida de prateleira das amostras em razão da formação de ácidos orgânicos (13 – 15 dias). A formação de bacteriocina necessita de mais pesquisas e poderia inibir a formação de *rope* (*Bacillus subtilis*) (FARNWORTH, 2003).

3.5.6. Correlações entre microestrutura e propriedades físicas

Existem muitos dados sobre as propriedades físicas de alimentos (térmicos, reológicos, mecânicos, cor), em livros e publicações, mas o estabelecimento de correlações entre eles é mínimo (AGUILERA, 2005). Pães com maior densidade apresentam alvéolos menores e em maior número por unidade de área, resultando em maior reflectância de luz (SCANLON e ZGHAL, 2001). Neste trabalho, a adição de kefir aumentou a porosidade (área média) provocando a redução dos valores de L^* do miolo, correspondendo a maior absorção da luz ($R^2 = 0,99$) (Figura 16).

Outra correlação observada ocorreu entre a porosidade (área média) e a firmeza. O aumento da porosidade aumentou a força de compressão sobre o miolo ($R^2 = 0,87$), provavelmente pela oposição das paredes grossas dos alvéolos e rápido ressecamento das amostras e maior rapidez na retrogradação do amido.

FIGURA 16 Gráficos correlacionando a área média (mm²) com cor (brilho) do miolo L* e a área média (mm²) em relação à firmeza das amostras (N).

3.6. Conclusões

O longo tempo de fermentação da massa (24 horas) modificou significativamente ($p < 0,05$) a área média dos alvéolos (mm²) e o perímetro (mm). Não houve mudanças significativas no diâmetro médio. O aumento de kefir provocou aumento dos valores de firmeza (N) e da mastigabilidade (N.m). Maior porosidade causou menor reflectância da luz e baixos valores de L*. Comparando-se com o controle houve aumento proporcional do volume específico (mL/g) e redução da densidade (g/mL). Foi encontrada forte correlação entre a microestrutura do pão e a firmeza nos ensaios de textura (TPA).

A adição de kefir pode estender a vida de prateleira de produtos panificados e seu envio ao consumo em condições melhores de frescor. Estudos sistemáticos e ensaios tecnológicos são necessários para conhecer-se mais sobre a microestrutura e o delineamento de novos produtos com sabor diferenciado.

3.7. Referências bibliográficas

AACC AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, USA, 2002.

AGUILERA, J.M. Why food microstructure? **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 3-11, 2005.

ALVAREZ, M.D., CANET, W., LÓPEZ, M.E. Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis. **European Food Research and Technology**, v. 215, n. 1, p. 13-20, 2002.

AMERICAN INSTITUTE OF BAKING. In: **White pan bread: firmness measurement of bread crumb by compression with a probe**. AIB, Manhattam, KS. Disponível em: <http://www.aibonline.com>. . Acesso em: 20 jun. 2005.

AUTIO, K, LAURIKAINEN, T. Relationship between flourdough, dough microstructure, dough handling, and baking properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 181-185, 1997.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L., LANNES, S.C.S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 383-393, 2004.

ESTELLER, M.S., PITOMBO, R.N.M., LANNES, S.C.S. Effect of freeze-dried gluten addition on texture of hamburger buns. **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 19-21, 2005

ESTELLER, M.S., LIMA, A.C.O., LANNES, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **LWT Lebensmittel-Untersuch Technology**, v. 39, p. 184-187, 2006.

FALCONE, P.M., BAIANO, A, ZANINI, F, MANCINI L, TROMBA, G, MONTANARI, F., DEL NOBILE, M.A . A novel approach to the study of bread porous structure: phase-contrast X-ray microtomography, **Journal of Food Science**, v. 69, n. 1, p. 38-43, 2004.

FARNWORTH, E.R. **Handbook of Fermented Functional Foods**. CRC Press, Boca Raton, USA, 2003, 390p.

FIK, M., SURÓWKA, K. Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 82, p. 1268-1275, 2002.

GABRIELSON, J., HART, M., JARELOV, A., KUHN, I., McKenzie, D., MOLLBY, R. Evaluation of redox indicators and the use of digital scanners and spectrophotometer

for quantification of microbial growth in microplates. **Journal of Microbiol Methods**, v. 50, p. 63-73, 2002.

GALLAGHER, E., GORMLEY, T.R., ARENDT, E.K., Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 153-161, 2003.

GARROTE, G.L., ABRAHAM, A .G., DE ANTONI, G.L. Preservation of kefir grains, a comparative study. **Lebensmi-Untersuch Technology**, v. 30, p. 77-84, 1997.

HAYMAN, D.A, HOSENEY, R.C., FAUBION, J.M. Bread crumb grain development during baking. **Cereal Chemistry**, v.75, n. 5, p. 577-580, 1998

ISHIDA, N., TAKANO, H., NAITO, S., ISOBE, S., UEMURA, K., HAISHI, T., KOSE, K., KOIZUMI, M., KANO, H. Architecture of baked breads depicted by a magnetic resonance imaging. **Magnetic Resonance Imaging**, v.19, n. 6, p. 867-874, 2001.

JUODEIKIENE, G., BASINSKIENE, L., Non-destructive texture analysis of cereal products. **Food Research International**, v. 37, n. 6, p. 603-610, 2004.

KALÁB, M., WOJTAS, P.A ., MILLER, S.S. Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, p.177-186, 1995.

KULMYRZAEV, A., CANCELLIERE, C., McCLEMENTS, D.J. Characterization of aerated foods using ultrasonic reflectance spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 235-241, 2000.

LABUZA, T.P.; HYMAN, C.R. Moisture migration and control in multi-domain foods. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 9, p. 47-55, 1998.

LIM, K.S., BARIGOU, M. X-ray micro-computed tomography of cellular food products **Food Research International**, v. 37, p. 1001-1012, 2004

PELEG, M. Mechanical properties of dry cellular solid foods. **Food Science and Technology**, v. 3, n. 4, p. 227-240, 1997.

PLESSAS, S., PHERSON, L., BEKATOROU, A., NIGAM, P., KOUTINAS, A.A . Bread making using kefir grains as baker's yeast. **Food Chemistry**, v. 93, p. 585-589, 2005.

QAROONI, J. **Flat bread technology**. Chapman & Hall, New York, USA, 1996, 275p.

SAPIRSTEIN, H.D., ROLLERS, R., BUSHUK, W. Instrumental Measurement of Bread Crumb Grain by Digital Image Analysis. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 4, 383-391, 1994.

SCANLON, M.G., ZGHAL, M.C. Bread properties and crumb structure. **Food Research International**, v. 34, n. 10, p. 841-864, 2001.

SHIMIYA, Y., NAKAMURA, K. Changes in size of gas cells in dough and bread during breadmaking and calculation of critical size of gas cells that expand. **Journal of Texture Studies**, v. 28, p. 273-288, 1997.

VAN DALEN, G. Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. **Food Research International**, v. 37, , n. 1, p. 51-58, 2004.

ZANONI, B., PERI, C., BRUNO, D. Modeling of browning kinetics of bread crust during baking. **Lebensmittel-Untersuch Technology**, v. 28, p. 604-609, 1995.

ZGHAL, M.C., SCANLON, M.G., SAPIRSTEIN, H.D. Prediction of bread crumb density by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 734-742, 1999.

CAPÍTULO 4

AERAÇÃO DE PÃO DE FORMA PRODUZIDO PELO MÉTODO DE ESPONJA ANÁLISE POR SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

4.1. Resumo

O processo esponja é extensivamente empregado na produção de pães de forma na América do Norte e quase exclusivamente no Japão. É bastante tolerante às variações de processo e ingredientes. Nesse trabalho foi utilizada a Metodologia por Superfície de Resposta para a obtenção de pães brancos aerados em um modelo central composto 5^3 variando-se as quantidades de água na massa, fermento e farinha de trigo na etapa de reforço. Verificou-se variações significativas ($p < 0,05$) para a porosidade do miolo, perfil de textura (TPA), cor ($L^*a^*b^*$), volume específico e umidade. O processo permitiu a obtenção de amostras com excelentes propriedades sensoriais e mecânicas.

Palavras-chave: pão aerado, panificação, processo esponja, RSM, textura.

4.2. Abstract

Conventional sponge-and-dough process continues to be used extensively in North America and almost in Japan for the production of white pan bread. The method is tolerant to variations in processing conditions and ingredients. Response Surface Methodology (RSM) was applied to produce aerated white bread using a 5^3 central composite design. Water, yeast, and wheat flour were the independent variables in the dough. The model showed significant variations ($p < 0.05$) for crumb porosity, texture profile analysis (TPA), color ($L^*a^*b^*$), specific volume, and moisture. The process allowed to produce samples with excellent mechanical and sensory properties.

Keywords: porous bread, aerated baked products, sponge-and-dough method, RSM, texture.

4.3. Introdução

Ainda que massas alimentícias sejam fermentadas há milhares de anos por leveduras e bactérias um progresso significativo no conhecimento desses processos, do ponto de vista científico e técnico, só foi alcançado nos últimos 40 anos (MEUSER, 1995).

Em um primeiro momento desse período houve uma tendência à padronização dos tipos de pães e simplificação dos métodos de produção. Atualmente a indústria de panificação utiliza uma grande variedade de métodos particulares de fermentação bem como de mistura e preparação de uma grande variedade de produtos atendendo mercados específicos.

O processo esponja, majoritariamente utilizado nos Estados Unidos e quase cem por cento no Japão para a produção de pães de forma, utiliza pré-fermentação de três a quatro horas com aproximadamente 70 por cento da farinha utilizada na massa, fermento, água e adição de açúcares, sal e enzimas opcionalmente nessa etapa (KILBORN *et al.*, 1981). Utiliza-se na fase inicial do processo farinha “forte”, ou seja, com alto teor de glúten (14%) e de boa qualidade (boa absorção de água, extensibilidade e elasticidade) (PIZZINATTO e HOSENEY, 1980; HARELAND e PUHR, 1998). Após esse período é adicionado o restante dos ingredientes da formulação, batimento e desenvolvimento, corte, fermentação secundária da massa, modelagem, enformagem, fermentação final, cocção, resfriamento e fatiamento (Figura 16) (PYLER, 1988).

FIGURA 16 Esquema do Processo Esponja utilizado na produção de pães: A) pesagem e mistura; B) fermentação (esponja); C) batimento (massa); D) fermentação secundária; E) modelagem; F) fermentação final (estufa); G) cocção; H). resfriamento; I) fatiamento e embalagem (PYLER, 1988; LORENZ e KULP, 1991).

Os pães obtidos por esse processo apresentam alta qualidade, com sabor e aroma superiores aos obtidos por processo direto, textura sedosa, alvéolos finos, ótima cor de crosta e miolo e manutenção das características durante o armazenamento. Além disso, o processo esponja é tolerante às variações de matéria-prima, em particular à qualidade das farinhas, flexível às condições de produção, e requer menos fermento e aditivos para obtenção das características desejadas na massa. Como desvantagens apresenta ciclo mais longo de produção, perdas de fermentação e maior espaço para as salas de fermentação (PRESTON e KILBOR, 1982).

Uma importante característica na aceitação de pães, sem dúvida, é sua estrutura aerada. De acordo com CAMPBELL *et al.* (1998) o processo de obtenção de pães pode ser visto como um conjunto de operações para incorporação de gases à massa através do batimento e fermentação, distribuição na matriz sólida, e finalmente sua retenção utilizando a cocção.

A aeração modifica a textura, a cor, o valor energético do alimento, tornando-o mais leve e digestivo (VIAL *et al.*, 2005).

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a porosidade do miolo, textura, volume específico e umidade de pão de forma, utilizando a metodologia por superfície de resposta (RSM), na obtenção de pães aerados pelo método de esponja, variando-se o teor de água, fermento e proporção de farinha na esponja e massa.

4.4. Material e métodos

As formulações dos pães foram preparadas em triplicata utilizando um Delineamento Central Composto, com cinco níveis, três fatores, 20 ensaios, com 6 repetições no ponto central e ensaio controle (Tabelas 10 e 11). Foi utilizada farinha de trigo (Bunge) (Anexo II), glúten vital (extraído do mesmo lote de farinha), fermento fresco, enzima alfa-amilase 4 FAU/g (Danisco) e água (ESTELLER *et al.*, 2005). Após pesagem estes ingredientes foram misturados por 1 minuto na velocidade de 60 rpm e por mais 4 minutos a 120 rpm em batedeira planetária 20-LA (Amádio, São Paulo) como mostrado na Tabela 12 e Figura 17a.

A massa obtida (esponja) foi fermentada por 4 horas em estufa a 25 °C e 60% umidade relativa até completo crescimento da massa. Após esse período foi

adicionado o restante dos ingredientes: farinha de trigo, açúcar refinado (União), sal (Cisne), gordura vegetal hidrogenada (Unilever), fermento (Itaiquara) e água e misturados por mais 5 minutos a 120 rpm até o completo desenvolvimento da massa (Figura 13).

A massa foi dividida manualmente em pedaços de 700 g e boleados, descansando por 30 minutos (fermentação secundária), modelados em cilindros e colocados em formas teflonadas com dimensões 300 mm x 115 mm x 100 mm sem tampa, e postos para crescer (fermentação final) em estufa a 45 °C, 75% de umidade relativa, por 60 minutos. Ao final do crescimento os pães foram assados em forno elétrico estacionário 4000 W, 220 V a 190 °C (teto), 220 °C (lastro) por 25 minutos e resfriados até a temperatura de 25 °C por 120 minutos em telas de aço inox e embalados individualmente em sacos de polietileno com fecho plástico. As amostras foram armazenadas em estufa BOD a 25 °C até o momento das análises (ESTELLER *et al.*, 2005).

4.4.1. Aquisição e análise de imagens

As amostras foram escaneadas utilizando-se *scanner* de mesa (*HP ScanJet 2400, Hewlett Packard, USA*). Fatias retiradas da parte central foram colocadas sobre a placa de vidro e cobertas com filme plástico negro, sem tampa, para evitar luz externa e amassamento das amostras. Foi selecionada da parte central do miolo uma área de 50 mm x 50 mm nos dois lados de cada fatia de 25 mm de espessura, analisando-se, no total, 12 fatias de cada ensaio, com definição de 200 dpi, ou seja, cada pixel corresponde a 10,6 µm da amostra original. As imagens de 24 *bits true color* foram armazenadas no formato BMP e analisadas com o *software Image-Pro Plus 4.5* (Media Cybernetics, Inc., USA) (BÁRCENAS e ROSELL, 2005, GANDIKOTA e MacRITCHIE, 2005). Os resultados foram obtidos pela conversão de *pixels* para milímetros e os parâmetros escolhidos foram: área dos alvéolos (mm²), diâmetro (mm), e perímetro (mm) (Figura 9).

4.4.2. Análise da textura

As análises do perfil de textura (TPA) foram efetuadas no segundo dia de armazenamento com 12 fatias de 25 mm retiradas da parte central de três pães do mesmo tratamento, em texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, UK) (Figura 7). Cada fatia foi colocada na base do texturômetro e efetuada dupla compressão. A calibração foi ajustada para: *measure force in compression; cycle until count; pretest speed 2.0 mm/s; distance 6.2 mm, trigger type auto; force 10 g; acquisition 200 pps, TA-3 1" acrylic cylinder probe*. Os parâmetros de textura escolhidos foram: firmeza (dureza), elasticidade, coesividade e mastigabilidade. A adesividade não foi incluída devido à resposta não adequada para este tipo de amostra (ESTELLER *et al.*, 2004).

4.4.3. Avaliação da cor

Os pães foram fatiados com lâmina de aço e regulador de espessura (25 mm), escolhendo-se as fatias centrais de três pães de cada tratamento. A cor da crosta e do miolo de cada fatia foi avaliada utilizando-se um espectrofotômetro (HunterLab, UltraScanXE) com o programa *Universal Software 4.10*, ajustado para reflectância, iluminante D65, e ângulo de 10 graus. Após calibração com padrão (placas de cerâmica branca e verde) cada amostra foi colocada com a parte central voltada para a abertura de 1" (Figura 10). Os valores CIE $L^*a^*b^*$ foram registrados, representando a média de 10 amostras de cada ensaio.

4.4.4. Propriedades físicas

As amostras foram pesadas (g) e o volume (mL) foi medido pelo método de sementes. O volume específico (mL/g) foi calculado. A umidade dos pães foi determinada pelo método 44-14A da AACC (2002) (Figura 11). Os dados registrados representam a média de quadruplicatas de cada tratamento. (ESTELLER *et al.*, 2005).

4.4.5. Análise estatística

O delineamento experimental e a análise dos resultados pelo método de superfície de resposta (RSM) foram realizados utilizando-se o *software Statistica 7.1/2005* (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

As Tabelas 10 e 11 mostram os níveis utilizados de X_1 , X_2 e X_3 determinados preliminarmente utilizando valores normais dos ingredientes nas formulações e valores extremos.

TABELA 10 Planejamento experimental (variáveis codificadas)

X1	água	X2	fermento	X3	farinha
-1,68	126	-1,68	43	-1,68	132
-1	140	-1	50	-1	200
0	160	0	60	0	300
1	180	1	70	1	400
1,68	194	1,68	77	1,68	470

TABELA 11 Planejamento experimental (valores reais)

formulação	água	água (g)	fermento	fermento (g)	cereal	farinha (g)
	X1	real	X2	real	X3	real
1	-1	140	-1	50	-1	200
2	-1	140	-1	50	1	400
3	-1	140	1	70	-1	200
4	-1	140	1	70	1	400
5	1	180	-1	50	-1	200
6	1	180	-1	50	1	400
7	1	180	1	70	-1	200
8	1	180	1	70	1	400
9	-1,68	126	0	60	0	300
10	1,68	194	0	80	0	300
11	0	160	-1,68	43	0	300
12	0	160	1,68	77	0	300
13	0	160	0	60	-1,68	132
14	0	160	0	60	1,68	470
15	0	160	0	60	0	300
16	0	160	0	60	0	300
17	0	160	0	60	0	300
18	0	160	0	60	0	300
19	0	160	0	60	0	300
20	0	160	0	60	0	300

TABELA12 Formulações utilizadas para o pão de forma

formulação	controle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-20
ingrediente (g)																
esponja																
farinha de trigo	700	800	600	800	600	800	600	800	600	700	700	700	700	868	530	700
glúten úmido	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
fermento	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
enzima	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
água*	350	400	300	400	300	400	400	300	400	350	350	350	350	450	250	350
massa																
farinha de trigo	300	200	400	200	400	200	400	200	400	300	300	300	300	132	470	300
sacarose	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
gordura	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
sal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
fermento	0	20	20	40	40	20	20	40	40	30	50	13	47	30	30	30
água	140	140	140	140	140	180	180	180	180	126	194	160	160	160	160	160
água/farinha (%)	49	54	44	54	44	58	58	48	58	47	55	51	51	69	42	51

*esponja 50% água (base cereal)

FIGURA 17a Fluxograma do processo esponja para a produção de pães

4.5. Resultados e discussão

4.5.1. Planejamento experimental

A Tabela 13 resume o planejamento experimental proposto com as respectivas respostas correspondendo à média de dez leituras de cada parâmetro, exceto volume específico e umidade correspondendo à média de quatro leituras. Os valores comparativos (controle), encontram-se descritos na primeira linha. O delineamento proposto é do tipo central composto rotacional, com seis repetições no ponto central com valor de $\alpha \pm 1,68$. A repetição no ponto central possibilita a estimativa da variação do erro experimental. Foi efetuada a aleatorização dos ensaios. Para o estudo de 3 fatores em 5 níveis o planejamento completo iria requerer $(3^5) = 125$ experimentos, mas utilizando o delineamento central bastaram 20 em cada planejamento (BARROS NETO, 2001; MYERS e MONTGOMERY, 2002; RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Na Tabela 14 são mostrados os coeficientes da Regressão Quadrática, modelo que melhor se ajustou, e os valores dos coeficientes de determinação (R^2). Os coeficientes não significativos ($p < 0,05$) não estão representados (APÊNDICE 2) (modelo ajustado) (MYERS & MONTGOMERY, 2002).

As características desejadas* foram:

- . maior porosidade do miolo (> área média dos alvéolos, diâmetro e perímetro);
- . menor firmeza (dureza) ou pães mais macios;
- . maior coesividade da massa ou menor propensão ao esfarelamento;
- . menor mastigabilidade (gasto de energia na mastigação);
- . maior elasticidade ou resistência às deformações durante o manuseio;

- . cor clara (altos valores de L^* e moderados para a^* e b^*);
- . volume específico máximo sem perda de simetria das fatias;
- . umidade adequada (30-40%).

* Por outro lado o modelo permite obter características opostas ou intermediárias, isto é, poderia ser desejado obter-se pães mais escuros e com maior necessidade de mastigação, para produtos com nichos específicos de mercado.

A Equação Geral dos efeitos pode ser representada por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + \beta_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + \beta_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + \beta_{11} \cdot X_1^2 + \beta_{22} \cdot X_2^2 + \beta_{33} \cdot X_3^2$$

Em que:

Y = estimativa dos efeitos

X = quantidade do ingrediente na formulação

β_i = coeficientes da regressão dos efeitos lineares (L)

β_{ik} = coeficientes da regressão das interações

β_{ii} = coeficientes da regressão dos efeitos quadráticos (Q)

TABELA 13 Respostas do planejamento experimental

formulação	X1 água	X2 fermento	X3 farinha	área média (mm²)	diâmetro médio (mm)	perímetro médio (mm)	firmeza (N)	coesividade	Mastigabilidade (N.m)	elasticidade	L* (miclo)	a* (miclo)	b* (miclo)	volume específico (mL/g)	umidade (%)
controle				0,51	0,35	1,21	1,24	0,71	0,62	0,88	70,50	0,30	7,68	3,64	33,45
1	-1	-1	-1	0,55	0,44	1,23	1,06	0,72	0,53	0,94	70,44	0,22	14,91	3,73	38,37
2	-1	-1	1	0,44	0,34	1,23	3,06	0,71	1,53	0,81	72,43	0,61	7,45	3,10	34,11
3	-1	1	-1	0,56	0,58	1,43	2,34	0,87	1,17	0,83	70,56	0,71	18,37	3,21	43,34
4	-1	1	1	0,44	0,33	1,23	3,05	0,64	1,54	0,85	72,44	0,77	18,46	3,04	34,13
5	1	-1	-1	0,60	0,55	1,45	1,24	0,80	0,61	0,93	70,29	0,46	17,26	4,04	41,98
6	1	-1	1	0,50	0,38	1,37	2,24	0,58	1,13	0,91	72,45	0,52	16,79	3,72	40,33
7	1	1	-1	0,62	0,62	1,46	1,27	0,73	0,64	0,93	69,60	0,14	14,26	4,25	42,73
8	1	1	1	0,50	0,37	1,31	2,43	0,65	1,20	0,84	71,49	0,45	16,60	3,78	40,56
9	-1,68	0	0	0,46	0,33	1,19	1,32	0,58	0,67	0,93	70,32	0,73	16,11	4,28	41,01
10	1,68	0	0	0,55	0,55	1,28	1,23	0,71	0,60	0,98	70,38	0,33	15,21	4,26	43,25
11	0	-1,68	0	0,48	0,39	1,21	1,23	0,57	1,24	0,84	72,43	0,33	16,62	2,76	41,23
12	0	1,68	0	0,53	0,49	1,37	2,43	0,77	1,20	0,83	72,49	0,59	17,43	2,86	42,54
13	0	0	-1,68	0,66	0,63	1,47	0,42	0,92	0,42	0,97	70,62	0,63	17,26	4,55	44,26
14	0	0	1,68	0,34	0,30	1,18	3,65	0,60	1,83	0,73	79,43	0,86	19,22	2,80	32,71
15	0	0	0	0,52	0,35	1,24	1,30	0,79	0,65	0,95	70,25	0,11	14,10	4,49	40,40
16	0	0	0	0,51	0,34	1,24	1,29	0,82	0,64	0,92	70,46	0,25	14,37	4,49	40,25
17	0	0	0	0,51	0,34	1,25	1,30	0,82	0,65	0,94	70,46	0,24	14,14	4,51	40,52
18	0	0	0	0,52	0,34	1,24	1,30	0,78	0,65	0,93	70,47	0,24	14,45	4,48	40,25
19	0	0	0	0,53	0,34	1,26	1,30	0,79	0,65	0,94	70,65	0,24	14,38	4,47	40,61
20	0	0	0	0,53	0,34	1,24	1,30	0,79	0,66	0,94	70,43	0,26	14,33	4,51	40,75

TABELA 14 Coeficientes da regressão e determinação (*) das equações.

	área média (mm ²)	diâmetro médio (mm)	perímetro médio (mm)	firmeza (N)	coesividade	mastigabilidade	elasticidade	L (miolo)	a(miolo)	b(miolo)	volume específico (mL)	umidade (%)
R ²	0,81	0,94	0,83	0,89	0,74	0,89	0,69	0,78	0,91	0,88	0,85	0,82
β_0	0,52	0,34	1,24	1,29	0,79	0,65	0,94	70,50	0,24	15,49	4,48	40,88
$\beta_1(L)$	0,03	-	0,04	-0,18	-	-0,10	0,02	-	0,16	-0,28	0,27	1,42
$\beta_2(L)$	0,01	0,03	0,03	0,26	0,03	0,05	-0,01	-	0,09	0,18	-	0,60
$\beta_3(L)$	-0,07	-0,10	-0,07	0,75	-0,08	0,35	-0,04	1,67	-0,17	0,95	-0,32	-2,69
$\beta_{11}(Q)$	-	-	0,01	0,06	-0,05	-	0,01	-0,36	0,08	-	-0,19	-
$\beta_{22}(Q)$	-	0,03	0,03	0,26	-0,04	0,21	-0,03	0,39	0,08	0,33	-0,45	-
$\beta_{33}(Q)$	-	0,04	0,04	0,33	-	0,17	-0,03	1,29	0,10	0,67	-0,26	-1,04
$\beta_{12}(L)$	-	-0,01	-0,03	-0,13	-	-0,07	-	-0,22	-0,05	-0,26	0,14	-0,50
$\beta_{13}(L)$	-	-0,01	-	-0,07	-	-0,04	-	-	-	-0,20	-	1,21
$\beta_{23}(L)$	-	-0,03	-0,03	-0,14	-	-0,07	0,01	-	-0,05	-	-	-0,68

(*) Modelo ajustado. No Apêndice 2 são mostrados todos os valores obtidos para a regressão.

O planejamento permitiu a obtenção de equações que se ajustaram ao comportamento dos dados observados em função da variação entre a proporção dos ingredientes e podem estimar as respostas quando outras proporções, diferentes daquelas usadas nos ensaios, forem sugeridas. Portanto a equação para cada parâmetro será dada por:

área média (mm²)

$$Y = 0,52 + 0,03X_1 + 0,01X_2 - 0,07X_3$$

diâmetro médio (mm)

$$Y = 0,34 + 0,03X_2 - 0,10X_3 - 0,01X_1X_2 - 0,01X_1X_3 - 0,03X_2X_3 + 0,03X_2^2 + 0,04X_3^2$$

perímetro médio (mm)

$$Y = 1,24 + 0,04X_1 + 0,03X_2 - 0,07X_3 - 0,03X_1X_2 - 0,03X_2X_3 + 0,01X_1^2 + 0,03X_2^2 + 0,04X_3^2$$

firmeza (N)

$$Y = 1,29 - 0,18X_1 + 0,26X_2 + 0,75X_3 - 0,13X_1X_2 - 0,07X_1X_3 - 0,14X_2X_3 + 0,06X_1^2 + 0,26X_2^2 + 0,33X_3^2$$

coesividade

$$Y = 0,79 + 0,03X_2 - 0,08X_3 - 0,05X_1^2 - 0,04X_2^2$$

mastigabilidade (N.m)

$$Y = 0,65 - 0,10X_1 + 0,05X_2 + 0,35X_3 - 0,07X_1X_2 - 0,04X_1X_3 - 0,07X_2X_3 + 0,21X_2^2 + 0,17X_3^2$$

elasticidade

$$Y = 0,94 + 0,02X_1 - 0,01X_2 - 0,04X_3 + 0,01X_2X_3 + 0,01X_1^2 - 0,03X_2^2 - 0,03X_3^2$$

L (miolo)

$$Y = 70,50 + 1,67X_3 - 0,22X_1X_2 - 0,36X_1^2 + 0,39X_2^2 + 1,29X_3^2$$

a* (miolo)

$$Y = 0,24 + 0,16X_1 + 0,09X_2 - 0,17X_3 - 0,05X_1X_2 - 0,05X_2X_3 + 0,08X_1^2 + 0,08X_2^2 + 0,10X_3^2$$

b* (miolo)

$$Y = 15,49 - 0,28X_1 + 0,18X_2 + 0,95X_3 - 0,26X_1X_2 - 0,20X_1X_3 + 0,33X_2^2 + 0,67X_3^2$$

volume específico (mL/g)

$$Y = 4,48 + 0,27X_1 - 0,32X_3 + 0,14X_1X_2 - 0,19X_1^2 - 0,45X_2^2 - 0,26X_3^2$$

umidade (%)

$$Y = 40,88 + 1,42X_1 + 0,60X_2 - 2,69X_3 - 0,50X_1X_2 + 1,21X_1X_3 - 0,68X_2X_3 - 1,04X_3^2$$

De acordo com MAGNUS *et al.* (1997), em geral, as curvas de resposta para cada variável independente vão se enquadrar em um dos três tipos: (a) exibem um

máximo como resultado de um efeito linear positivo e efeito quadrático negativo, (b) exibem um mínimo como resultado de um efeito linear negativo e efeito quadrático positivo, ou (c) não exibem um ponto estacionário porque ambos os efeitos são positivos ou negativos. Nas superfícies a seguir a quantidade de fermento foi fixada ($X_2 = 0$) plotando-se as respostas em função da quantidade de água (X_1) e quantidade de farinha (X_3) por mostrarem-se as mais significativas para a avaliação do modelo.

4.5.2. Porosidade

Da observação dos coeficientes da regressão e determinação (Tabela 14) $R^2 = 0,81$ para a área média, 0,94 para o diâmetro médio e 0,83 para o perímetro médio, o modelo apresenta boa correlação entre as variáveis independentes (quantidade de água, fermento e farinha) e as respostas obtidas para a porosidade dos pães, através das dimensões dos alvéolos do miolo.

Ocorreram efeitos positivos para β_1 (variação de água) e β_2 (variação de fermento) e negativos para β_3 (variação de farinha) indicando que o aumento de água e fermento ocasionou o amolecimento da massa e propiciou maior produção de bolhas e maior abertura dos alvéolos. Por outro lado, maior quantidade de farinha reduz essa relação, deixando a massa mais firme e com porosidade mais fechada. SAPIRSTEIN *et al.* (1994) relatam que a área média de miolos de pães de forma brancos produzidos pelo sistema Chorleywood variam de 0,45 a 0,48 mm². O processo esponja, portanto, produz pães com microestrutura mais aberta (0,55 mm²) valor médio (Tabela 13 e Figura 18).

Há grande correlação entre observações computacionais com a percepção humana na avaliação de imagens (QUEVEDO *et al.*, 2002). O processo de aeração ocorre em uma primeira etapa com a incorporação de grande quantidade de ar durante o batimento e posterior quebra em bolhas menores. O processo de coalescência ocorre pela colisão de bolhas, drenagem de líquido entre as superfícies e ruptura das membranas (JANG *et al.*, 2005). A formação da microestrutura do miolo é dependente dos ingredientes mas também do processo utilizado (Figura 18).

Nas Tabelas 15-17 verifica-se que para a análise da variância a regressão é significativa para os parâmetros de análise da porosidade: F_{calc} é bem maior que o

F_{tab} compensando a falta de ajuste que se mostrou também significativa. De qualquer modo, o modelo pode ser considerado preditivo, conforme mostrado nas Figuras 19-21 onde as regiões com superfície mais escura representam o máximo de porosidade obtida pela variação dos ingredientes.

FIGURA 18 Diferentes processos de fabricação de pães:

(a) contínuo; (b) esponja; (c) esponja + fermentação mista

TABELA 15 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **área média** dos alvéolos

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}} (5\%)$
Regressão	0,819	2	0,409	409	3,04
Resíduo (Falta de Ajuste)	0,195	196	0,001		
(Erro Puro)	0,075	11	0,007	7	1,84
Total	1,014	198	0,001		

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 19 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **área média** (mm^2)

TABELA 16 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **diâmetro médio**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado (5%)}}$
Regressão	2,256	8	0,282	402,8	1,99
Resíduo (Falta de Ajuste)	0,129	190	0,0007		
(Erro Puro)	0,049	5	0,0099	22,8	2,26
Total	2,385	198	0,0004		

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 20 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **diâmetro médio (mm)**

TABELA 17 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **perímetro médio**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	1,450	7	0,2071	138,07	2,06
Resíduo (Falta de Ajuste)	0,291	191	0,0015		
(Erro Puro)	0,202	6	0,0336	69,13	2,15
Total	0,090	185	0,0005		
	1,741	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 21 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **perímetro médio** (mm)

4.5.3. Textura

De acordo com FALCONE *et al.* (2004) as propriedades mecânicas de pães estão correlacionadas com sua microestrutura e embora existam vários modelos para avaliar a composição de materiais celulares, sua aplicação em produtos panificados requer avaliação mais detalhada da estrutura alveolar, cor e textura.

Os resultados estão de acordo com o relato de ELMEHDI (2001) afirmando que a estrutura da massa de pães é bastante complexa, e a não homogeneidade do miolo ocasiona diferenças nas propriedades mecânicas, não somente entre as amostras do mesmo tratamento, mas inclusive entre as fatias no mesmo pão avaliado (Figura 22 e Tabela 13)

FIGURA 22 Não homogeneidade na distribuição dos alvéolos das fatias dos pães.

A temperatura da massa no centro é maior que nas laterais propiciando maior expansão das bolhas durante a fermentação final e cocção, e menor expansão no fundo e laterais, devido ao confinamento da massa pelas paredes da assadeira. Grandes alvéolos são formados na parte superior de pães assados “sem tampa” (Figura 15).

Dos coeficientes da regressão e determinação (Tabela 14) observa-se efeito negativo para β_1 (quantidade de água) nos parâmetros firmeza e mastigabilidade, o que está coerente pois a redução de água na massa provoca aumento na firmeza (dureza) e nos valores de mastigabilidade dos pães. Para os parâmetros coesividade e elasticidade ocorreu efeito negativo para β_3 (quantidade de farinha), isto é, a

redução da farinha deixa a massa mais úmida aumentando a coesividade entre as partículas e provocando maior elasticidade da massa que, para pães, é bastante desejável.

A análise da variância (Tabelas 18-21) confirma um modelo consistente com F_{calc} bem superior ao F_{tab} e R^2 também elevado (Tabela 14) compensando a falta de ajuste que se mostrou significativa.

As Figuras 23 –26 indicam nas áreas escuras o valor máximo do parâmetro de textura analisado, confirmando a existência de um máximo e mínimo conforme descrito por MAGNUS *et al.* (1997)

TABELA 18 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **firmeza (dureza)**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	118,251	8	14,781	194,5	1,99
Resíduo	14,357	190	0,076		
(Falta de Ajuste)	13,864	5	2,773	1040,8	2,26
(Erro Puro)	0,493	185	0,0027		
Total	132,608	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 23 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro firmeza
firmeza (N)

TABELA 19 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **coesividade**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	1,501	3	0,500	185,2	2,65
Resíduo (Falta de Ajuste)	0,536	195	0,0027		
(Erro Puro)	0,458	10	0,0458	109,0	1,88
Total	2,037	198	0,0004		

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 24 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **coesividade**.

TABELA 20 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **elasticidade**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	0,668	6	0,111	74,0	2,15
Resíduo	0,297	192	0,0015		
(Falta de Ajuste)	0,131	7	0,0187	20,87	2,06
(Erro Puro)	0,166	185	0,0009		
Total	0,965	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 25 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **elasticidade**.

TABELA 21 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **mastigabilidade**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	29,364	7	4,19	214,9	2,06
Resíduo	3,734	191	0,0195		
(Falta de Ajuste)	1,919	6	0,3198	32,6	2,15
(Erro Puro)	1,815	185	0,0098		
Total	33,098	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 26 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **mastigabilidade** (N.m).

4.5.4. Cor

Há uma correlação bastante forte entre a variação dos ingredientes na massa e a cor $L^*a^*b^*$ obtida para o miolo dos pães (ESTELLER *et al.*, 2006). $R^2 = 0,78$ (L^*), 0,91 (a^*), 088 (b^*) e a análise da variância (Tabelas 22-24) dão suporte a um modelo preditivo.

A análise da Tabelas 13-14 mostra que miolo mais fechado (menor porosidade) ocasiona maior reflexão da luz, aumentando o brilho da massa ocasionando maiores valores de L^* e b^* (amarelo), que pode ser conseguido com maior proporção de farinha ou redução de água no sistema. O aumento da porosidade, por outro lado, absorve mais luz, elevando os valores de a^* (vermelho).

As regiões escuras nas representações das superfícies de resposta (Figuras 27-29) indicam os valores máximos alcançados para os parâmetros analisados quando é modificada a proporção água e farinha na massa, ingredientes mais relevantes nesta análise.

TABELA 22 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **L* miolo**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado (5%)}
Regressão	672,808	4	168,202	173,9	2,42
Resíduo (Falta de Ajuste)	187,621	194	0,9671		
(Erro Puro)	171,061	9	19,007	212,3	1,93
Total	16,560	185	0,0895		
	860,429	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 27 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor do miolo (brilho) **L***.

TABELA 23 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **a*** miolo

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	11,655	7	1,665	268,5	2,06
Resíduo (Falta de Ajuste)	1,183	191	0,0062		
(Erro Puro)	1,055	6	0,1758	253,24	2,15
Total	0,128	185	0,0007		
	12,838	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 28 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor **a*** do miolo.

TABELA 24 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **b* miolo**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado (5%)}
Regressão	221,958	6	36,993	227,5	2,15
Resíduo (Falta de Ajuste)	31,217	192	0,1626		
(Erro Puro)	14,745	7	2,1064	23,7	2,06
Total	16,472	185	0,0890		
	253,175	198			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 29 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro cor **b*** do miolo.

4.5.5. Volume específico

O volume específico depende diretamente da quantidade de material volátil produzida e da capacidade do sistema em retê-lo.

Da Tabela 13 observa-se que entre os menores valores do volume específico 2,76 mL/g - 4,55 mL/g ocorrem variações de até 65% de acordo com a formulação empregada.

Observando-se coeficiente de determinação $R^2 = 0,85$ (Tabela 14) e a análise da variância (Tabela 25) verificou-se que houve uma boa correlação entre a variação dos ingredientes e as respostas obtidas no modelo. O efeito linear negativo observado neste parâmetro (β_3) indica que a redução da farinha na massa (etapa de reforço) contribuiu para aumentar o volume específico (mL/g) das amostras, em razão da maior hidratação e extensibilidade durante a fermentação final e cocção dos pães (Figura 30). Observa-se na literatura, também, que os valores da densidade (g/mL) dos pães pode variar bastante em função da matéria-prima empregada, agentes oxidantes e processo (ZGHAL *et al.*, 2002).

TABELA 25 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **volume específico**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	25,553	5	5,111	82,7	2,34
Resíduo (Falta de Ajuste)	4,514	73	0,0618		
(Erro Puro)	3,296	8	0,412	22,0	2,08
Total	30,067	78	0,0187		

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 30 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **volume específico** (mL/g)

4.5.6. Umidade

A importância da água em produtos panificados é largamente difundida na literatura (GRAY e BEMILLER, 2003) e está relacionada com a hidratação dos ingredientes, extensibilidade da massa, textura e conservação dos pães.

De acordo com as Tabelas 13 e 14 o modelo também mostrou-se bem ajustado com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,82$ e efeito negativo para β_3 , indicando que a redução de farinha na massa aumenta a relação água/cereal, resultando em maior umidade das amostras. Na Figura 31 os pontos encontrados nas regiões mais escuras na superfície representam amostras com maior teor de umidade, possibilitando um controle adequado da água nas formulações.

TABELA 26 Análise da Variância (ANOVA) do parâmetro **umidade**

Fonte de Variação (FV)	Soma Quadrática (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F _{calculado}	F _{tabelado} (5%)
Regressão	657,831	6	109,638	54,6	2,23
Resíduo	144,466	72	2,006		
(Falta de Ajuste)	87,227	7	12,461	14,1	2,15
(Erro Puro)	57,239	65	0,881		
Total	802,297	78			

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Regressão significativa

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}} \rightarrow$ Falta de ajuste não é significativa

FIGURA 31 Efeito da variação de água e farinha na resposta do parâmetro **umidade** (%)

Figura 31a Efeito do fermento biológico nas respostas dos parâmetros: área média (mm^2), firmeza (N), brilho do miolo e volume específico (mL/g).

4.6. A influência do fermento no modelo

Nas figuras anteriores foi plotado a variação da porcentagem de farinha e a quantidade de água por serem as mais significativas para o modelo (Tabela 14), fixando-se a quantidade de fermento no ponto central. Por outro lado na Figura 31a é mostrado os efeitos do fermento, quando analisado em relação à variação de água e farinha separadamente.

Conforme discutido anteriormente, o aumento na quantidade de fermento e água deixa a massa mais plástica e possibilita maior desenvolvimento das células de leveduras e produção de gás carbônico. A volatilização de água e compostos produzidos durante a fermentação, na etapa de cocção, ocasiona maior expansão da massa e aumento do diâmetro dos alvéolos, aumentando a porosidade dos pães e volume específico, com a concomitante redução da luminosidade do miolo (L_{miolo}) e menor firmeza das amostras.

Por outro lado, aumento na quantidade de farinha ocasiona massa mais firme, com poros menores, aumento na reflexão de luz (maior brilho) e menor volume específico.

4.7 Conclusões

Dos parâmetros analisados para a obtenção de pães de forma produzidos pelo método de esponja, o modelo mostrou-se consistente e preditivo, possibilitando a otimização de formulações de acordo com as características desejadas de porosidade, textura, cor, volume específico e umidade. O processo esponja mostrou-se bastante tolerante às variações na concentração de farinha, água e fermento e permite a obtenção de amostras com excelentes propriedades sensoriais e mecânicas.

4.7. Referências bibliográficas

AACC AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, USA, 2002.

BÁRCENAS, M.E., ROSELL, C.M. Effect of HPMC addition on microstructure, quality and aging of wheat bread. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 1037-1043, 2005

BARROS NETO, B. SCARMINIO, I.S. e BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Ed. Unicamp. Campinas, 2001, 401p.

CAMPBELL, G.M.; RIELLY, C.D.; FRYER, P.J.; SADD, P. A. Aeration of bread dough during mixing: effect of mixing dough at reduced pressure. **Cereal Foods World**, v.43, n.3, p.163-167, 1998.

ELMEHDI, H. M. **An ultrasonic investigation of the effect of voids on the mechanical properties of bread dough and the role of gas cells in determining the cellular structure of freeze-dried breadcrumb**. PhD. Thesis. University of Manitoba, Winnipeg, 2001. 208p.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L, LANNES, S.C.S.. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 383-393, 2004 .

ESTELLER, M.S., ZANCANARO JR., O., PALMEIRA, C.N.S, LANNES, S.C.S. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. **European Food Research and Technology**, v. 222, p. 26-31, 2005.

ESTELLER, M.S., LIMA, A.C.O, LANNES, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **Lebensmittel-Untersuchungstechnologie LWT**, v. 39, p. 184-187, 2006.

FALCONE, P. M., BAIANO, A., ZANINI, F., MANCINI, L., TROMBA, G., MONTANARI, F., DEL NOBILE, M. A . A novel approach to the study of bread porous structure: phase-contrast X-ray microtomography. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 1, p. E38-E43, 2004.

GANDIKOTA, S, MacRITCHIE, F. Expansion capacity of doughs: methodology and applications. **Journal of Cereal Science**, v. 42, p.157-163, 2005.

GRAY, J.A., BEMILLER, J.N. Bread staling: molecular basis and control. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. v. 2, p. 1-21, 2003.

HARELAND, G.A., PUHR, D.P. Baking performance of durum and soft wheat flour in a sponge-dough breadmaking procedure. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 6, p. 830-835, 1998.

JANG, W., NIKOLOV A., WASAN, D.T., CHEN, K., CAMPBELL, B. Prediction of the bubble size distribution during aeration of food products. **Industry Engineering and Chemistry Research**, v. 44, p. 1296-1308, 2005.

KILBORN, R.H., NOMURA, S., PRESTON, K.R. Sponge-and-dough bread. I. Reduction of fermentation time and bromate requirement by the incorporation of salt in the sponge. **Cereal Chemistry**, v. 58, n. 6, p. 508-512, 1981.

LORENZ, K.J., KULP, K. **Handbook of cereal science and technology**. Marcel Dekker, New York, 1991, 882p.

MAGNUS, E.M., BRAHHEN, E., SAHLSTRÖM, S., FAERGESTAD, E.M., ELLEKJAER, M.R. Effects of wheat variety and processing conditions in experimental bread baking studied by univariate and multivariate analysis. **Journal of Cereal Science**, v. 25, p. 289-301, 1997.

MEUSER, F. Development of fermentation technology in modern bread factories. **Cereal Foods World**, v. 40, n.3, p. 114-122, 1995.

MYERS, R.H., MONTGOMERY, D.C. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. Wiley-Interscience Publication, USA, 2002. 798p.

PIZZINATTO, A., HOSENEY, R.C. Rheological changes in cracker sponges during fermentation. **Cereal Chemistry**, v. 57, n. 3, p. 185-188, 1980.

PRESTON, K.R., KILBOR, R.H. Sponge-and-dough bread: effects on fermentation time, bromate and sponge salt upon the baking and physical dough properties of a canadian red spring wheat. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1143-1148, 1982.

PYLER, E.J. **Baking science and technology**. 3.ed. Merrian:Sosland, 1988. v.1,2, 1300p.

QUEVEDO, R., CARLOS L.G., AGUILERA, J.M., CADOCHÉ, L. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 361-371, 2002.

RODRIGUES, M.I., IEMMA, A.F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas, Casa do Pão Editora, 2005. 325p.

SAPIRSTEIN, H.D., ROLLER, R., BUSHUK, W. Instrumental measurement of bread crumb by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 383-391, 1994.

VIAL, C., THAKUR, R.K., DJELVEH, G., PICGIRARD, L. Continuous manufacturing of a light-textured foamed fresh cheese by dispersion of a gas phase. I. Influence of process parameters. **Journal of Food Engineering**, 2006, in press

ZGHAL, M.C., SCANLON, M.G., SAPIRSTEIN, H.D. Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 167-176, 2002.

CAPÍTULO 5

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO COM CENTEIO ESCALDADO

5.1. Resumo

O escaldamento de cereais tem referências, em sua maioria, na produção artesanal e doméstica de pães. O escaldamento é utilizado para matar bactérias patogênicas, inativar enzimas, acelerar o processo de cocção, ajudar a fundir gorduras e dissolver açúcares mais facilmente. Além disso o processo de escaldamento pode modificar a cor de grãos e farinhas, viscosidade de massas, reações de Maillard e caramelização, umidade, volume específico e textura de pães. Neste trabalho foi utilizada a técnica de escaneamento e análise de imagens, análise instrumental de textura (TPA), determinação espectrofotométrica de cor ($L^*a^*b^*$), e análises físicas de umidade e volume específico, para avaliar os efeitos da adição de flocos e farinha de centeio, fermento biológico e água fervente em diferentes concentrações em pães de centeio produzidos pelo método de esponja. Os diferentes tratamentos modificaram de forma significativa ($p < 0,05$) a área dos alvéolos (mm^2), diâmetro (mm), perímetro (mm), parâmetros de textura e reflectância da luz ($L^*a^*b^*$). O processo de escaldamento pode ser utilizado para produzir novas texturas, sabor e cor em produtos panificados. Palavras-chave: pão, panificação, escaldamento, microestrutura, análise de imagens, análise de cor.

5.2. Abstract

Production and characterization of sponge-dough bread using scalded rye.

Scalded flours or cereals have few references mostly in artisan or home made bread production. Scalding serves to kill potentially harmful bacteria, to destroy enzymes, speed the cooking process, help melt fat, and dissolve sugar more easily. Besides these effects scalding process could change colour of grains and flours, dough viscosity, Maillard and caramelization reactions, moisture, and texture of breads. In

this work flatbed scanning (FBS), instrumental texture analysis (TPA), spectrophotometric colour determination ($L^*a^*b^*$), moisture, and specific volume measurements were used to evaluate the effects of the addition of rye flour or rye flakes, yeast and boiling water in different amounts in sponge-dough rye bread production. Different treatments changed significantly ($p < 0.05$) the crumb cell area (mm^2), cell diameter (mm), cell perimeter (mm), texture parameters, and light reflectance ($L^*a^*b^*$). Scalding process could be used to produce new textures, flavour and colour of baked products. Keywords: bread, baked products, bread microstructure, flatbed scanning image analysis, scalded dough, bakery products colour.

5.3. Introdução

O processo de escaldamento tem poucas referências, a maioria na produção doméstica e artesanal de pães, onde a uma pasta feita com farinha e água fria é adicionado água ou leite fervente mexendo-se até a formação de mistura viscosa. Esse tipo de pasta era frequentemente utilizado na produção de pães maltados escuros. O escaldamento serve para matar bactérias patogênicas, inativar enzimas que degradam os lipídios e conferem sabor desagradável, acelerar o tempo de cocção, ajudar a fundir gorduras e dissolver mais facilmente açúcares (DANIEL, 1971). Por outro lado, o processo de escaldamento melhora o paladar com a produção *in situ* de compostos orgânicos agradáveis de aroma e sabor (PETERSEN *et al.*, 2005), modifica a cor de grãos e farinhas, viscosidade de massas, textura, reações de Maillard e caramelização; e parâmetros físico-químicos como volume específico e umidade de pães.

O número de alimentos com maior valor agregado vem aumentando em função da procura por maior conveniência, busca por produtos saudáveis e com apelo “natural”. As pessoas querem experimentar uma grande gama de texturas e buscam soluções considerando a segurança de origem, muito sabor e preço justo (BOURNE, 2002; KAUKOVIRTA-NORJA *et al.*, 2005).

O delineamento de estrutura inclui a busca por novas texturas em produtos panificados (ESTELLER *et al.*, 2005). As características sensoriais dos pães são o resultado dos efeitos físico-químicos e bioquímicos alcançados nos produtos, que

são determinados pela escolha dos ingredientes e condições de processo de produção (SCHUBERT *et al.*, 2003). Correlações entre a percepção da textura e a estrutura do alimento tornam-se cada dia mais importantes para empresas que desejam produzir alimentos atrativos aos consumidores (WILKINSON *et al.*, 2000).

Grãos de cereais podem ser explorados de várias formas, conduzindo ao desenvolvimento de novas matérias-primas e alimentos visando públicos específicos (CHARALAMPOPOULOS *et al.*, 2002). Tratamentos térmicos de grãos, farinhas e farelos (secagem ou cocção por vapor) têm sido estudados na produção de cereais matinais (DOEHLERT, 1997; STAPLEY *et al.*, 1999; HORROBIN *et al.*, 2003) e produtos panificados (PRAKASH, 1999; KOCK *et al.*, 1999; GÉLINAS *et al.*, 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do processo de escaldamento na cor de pastas de cereais, alterações na porosidade e cor do miolo, mudanças de textura, volume específico e teor de umidade em pães de centeio, produzidos pelo método de esponja, variando-se a quantidade de farinha e flocos de centeio, fermento biológico e água fervente.

5.4. Material e métodos

5.4.1. Escaldamento e preparação dos pães

Testes preliminares foram executados escaldando-se farinhas e flocos de diferentes tipos de cereais (triplicatas). Em tubos de ensaio foram adicionados, 10 g de cada amostra e 20 g de água fervente, agitando-se com bastão de vidro até completa homogeneização da pasta formada e resfriamento até temperatura ambiente. As pastas foram transferidas para uma cubeta de quartzo e a cor ($L^*a^*b^*$) foi avaliada utilizando um espectrofotômetro como descrito para análise de pão a seguir.

As formulações de pães com centeio escaldado e controle sem escaldamento foram preparadas em triplicata utilizando um Delineamento Central Composto, com cinco níveis, três fatores, 20 ensaios, com 6 repetições no ponto central e ensaio controle. Os extremos foram determinados previamente ao planejamento final (ESTELLER *et al.*, 2005). Foi utilizada farinha de trigo (Bunge) (Anexo II), glúten vital (extraído do mesmo lote de farinha), fermento fresco, enzima alfa-amilase 4 FAU/g

(*Fungal Amylase Unit*) e água. Após pesagem estes ingredientes foram misturados por 1 minuto na velocidade de 60 rpm e por mais 4 minutos a 120 rpm em batedeira planetária 20-LA (Amádio, São Paulo) como mostrado nas Tabelas 27-28 e Figuras 32-33.

A massa obtida (esponja) foi fermentada por 4 horas em estufa a 25 °C e 60% de umidade relativa até completo crescimento da massa. Nesse período foi preparada a pasta escaldada (Figura 33c), formada pela farinha de centeio ou centeio em flocos (Yoki), sal (Cisne), sacarose (União), gordura vegetal (Lever) e água fervente. A mistura foi resfriada até a temperatura 25 °C e reservada. Após o período de fermentação, esponja e pasta foram transferidos para o tacho da batedeira e novamente misturados por 5 minutos a 120 rpm até o completo desenvolvimento da massa (Figura 13).

TABELA 27 Formulações utilizadas para pão com **farinha de centeio escaldada**

formulação	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-20
ingrediente (g)																
esponja																
farinha de trigo	700	800	600	800	600	800	600	800	600	700	700	700	700	868	530	700
glúten úmido	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
fermento	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
enzima	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
água*	350	400	300	400	300	400	400	300	400	350	350	350	350	434	250	350
massa																
farinha de centeio	300	200	400	200	400	200	400	200	400	300	300	300	300	132	470	300
sacarose	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
gordura	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
sal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
fermento	0	20	20	40	40	20	20	40	40	30	50	13	47	30	30	30
água	140	140	140	140	140	180	180	180	180	126	1940	160	160	160	160	160
água/cereal (%)	49	54	44	54	44	58	58	48	58	47	55	51	51	69	42	51

*esponja 50% água (base cereal); C = formulação controle

TABELA 28 Formulações utilizadas para pão com **flocos de centeio escaldados**

formulação	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-20
Ingrediente (g)																
esponja																
farinha trigo	700	800	600	800	600	800	600	800	600	700	700	700	700	868	530	700
glúten úmido	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
fermento	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
enzima	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
água*	350	400	300	400	300	400	400	300	400	350	350	350	350	434	250	350
massa																
flocos de centeio	300	200	400	200	400	200	400	200	400	300	300	300	300	132	470	300
sacarose	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
gordura	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
sal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
fermento	0	20	20	40	40	20	20	40	40	30	50	13	47	30	30	30
água	140	140	140	140	140	180	180	180	180	126	194	160	160	160	160	160
água/farinha (%)	49	54	44	54	44	58	58	48	58	47	55	51	51	69	42	51

*esponja 50% água (base cereal); C = formulação controle

FIGURA 32 Fluxograma do processo para obtenção dos pães

A massa foi posta para descansar, durante 30 minutos, dividida manualmente em pedaços de 700 g e boleados. Após novo descanso de 30 minutos a massa foi modelada em cilindros e colocada em formas teflonadas com dimensões 300 mm x 115 mm x 100 mm sem tampa, e postas para crescer em estufa a 45 °C, 75% de umidade relativa, por 60 minutos. Ao final do crescimento os pães foram assados em forno elétrico estacionário 4000 W, 220 V a 200 °C por 25 minutos e resfriados até a temperatura de 25 °C por 120 minutos, em tela de aço inox, e embalados individualmente em sacos de polietileno com fecho plástico. As amostras foram armazenadas em estufa BOD a 25 °C até o momento das análises (ESTELLER *et al.*, 2005).

FIGURA 33 Produção das amostras de pão escaldado no laboratório:
a) pesagem; b) esponja; c) escaldamento; d) massa; e) pão escaldado

5.4.2. Aquisição e análise de imagens

As amostras foram escaneadas utilizando-se *scanner* de mesa (*HP ScanJet 2400, Hewlett Packard, USA*). Fatias retiradas da parte central foram colocadas sobre a placa de vidro e cobertas com filme plástico negro, sem tampa, para evitar luz externa e amassamento das amostras. Foi selecionada da parte central do miolo uma área de 50 mm x 50 mm nos dois lados de cada fatia de 25 mm de espessura, analisando-se, no total, 12 fatias de cada ensaio, com definição de 200 dpi, ou seja, cada pixel corresponde a 10,6 μm da amostra original. As imagens de 24 *bits true color* foram armazenadas no formato BMP e analisadas com o *software Image-Pro Plus 4.5* (Media Cybernetics, Inc., USA) (BÁRCENAS & ROSELL, 2005, GANDIKOTA & MacRITCHIE, 2005). Os resultados foram obtidos pela conversão de *pixels* para milímetros e os parâmetros escolhidos foram: área dos alvéolos (mm^2), diâmetro (mm), e perímetro (mm) (Figura 9).

5.4.3. Análise da textura

As análises do perfil de textura (TPA) foram efetuadas no segundo dia de armazenamento com 12 fatias de 25 mm retiradas da parte central de três pães do mesmo tratamento, em texturômetro TA-XT2 texturometer (Stable Micro Systems, UK) (Figura 7). Cada fatia foi colocada na base do texturômetro e efetuada dupla compressão. A calibração foi ajustada para: *measure force in compression; cycle until count; pretest speed 2.0 mm/s; distance 6.2 mm, trigger type auto; force 10 g; acquisition 200 pps, TA-3 1" acrylic cylinder probe*. Os parâmetros de textura escolhidos foram: firmeza (dureza), elasticidade, coesividade e mastigabilidade. A adesividade não foi incluída devido à resposta não adequada para este tipo de amostra.

5.4.4. Avaliação da cor

Os pães foram fatiados com lâmina de aço e regulador de espessura (25 mm), escolhendo-se as fatias centrais de três pães de cada tratamento. A cor da crosta e do miolo de cada fatia foi avaliada utilizando-se um espectrofotômetro (HunterLab, UltraScanXE) com o programa *Universal Software 4.10*, ajustado para reflectância, iluminante D65, e ângulo de 10 graus. Após calibração com padrão (placas de

cerâmica branca e verde) cada amostra foi colocada com a parte central voltada para a abertura de 1" (Figura 10). Os valores CIE $L^*a^*b^*$ foram registrados, representando a média de 10 amostras de cada ensaio.

5.4.5. Propriedades físicas

As amostras foram pesadas (g) e o volume (mL) foi medido pelo método de sementes. O volume específico (mL/g) foi calculado. A umidade dos pães foi determinada pelo método 44-14A da AACC (2002) (Figura 10). Os dados registrados representam a média de quadruplicatas de cada tratamento. (ESTELLER *et al.*, 2005).

5.4.6. Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o *software Statistica 7.1/2005* (StatSoft, Tulsa, OK, USA) com teste de Fisher LSD, a 5% de significância para definição de diferenças entre os tratamentos.

5.5. Resultados e discussão

5.5.1. Cor das pastas de cereais escaldados

De acordo com HUTCHINGS (1999), é possível estabelecer correlações consistentes entre a matéria-prima e o produto acabado.

Com o escaldamento dos cereais (Figura 34b,c) houve formação de pasta ou gel, com as frações de proteínas, fibras e carboidratos competindo pela absorção da água. A gelatinização dos grânulos de amido ocasionou a liberação de amilose e amilopectina no meio, formando ligações entre as cadeias e consequente aumento da viscosidade (Figura 4). As pastas formadas possibilitaram simular as mudanças físico-químicas que ocorreram durante o tratamento térmico dos pães de centeio formulados com farinha ou flocos.

TABELA 29 Cor das pastas ($L^*a^*b^*$) obtidas a partir dos cereais escaldados

parâmetro	L^*	a^*	b^*
farinha de trigo integral	56,04±0,53 ^d	5,55±0,02 ^{a,c}	14,53±0,05 ^a
flocos de trigo integral	50,60±0,55 ^b	6,73±0,03 ^d	17,15±0,04 ^d
farelo de trigo	47,51±0,51 ^a	7,78±0,03 ^e	15,60±0,04 ^{b,c}
farinha de centeio integral	47,93±0,52 ^a	5,03±0,02 ^a	14,11±0,03 ^a
flocos de centeio integral	43,25±0,53 ^c	7,17±0,01 ^{d,e}	15,47±0,05 ^{b,c}
farinha de aveia integral	63,89±0,55 ^f	2,57±0,04 ^b	15,00±0,04 ^{a,b}
flocos de aveia integral	66,40±0,51 ^g	2,45±0,03 ^b	16,22±0,03 ^{c,d}
flocos de cevada integral	51,48±0,52 ^b	5,08±0,02 ^a	16,90±0,04 ^d
flocos de milho integral	60,98±0,56 ^e	5,98±0,01 ^c	30,68±0,05 ^e

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p < 0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos Tukey HSD

Na medida em que o cereal recebe o calor transferido da água em ebulição, parte da umidade é transformada em vapor e vai converter açúcares e aminoácidos em compostos que intensificam a cor escura (Tabela 29).

Os flocos integrais de centeio e a farinha, por apresentarem mais fortemente essa característica (L^* 43,25 – 47,93), foram escolhidos para a produção dos pães escuros. Os cereais aveia e milho (L^* = 61 – 67), no outro extremo, vão gerar produtos com miolo mais claro e mais amarelos (b^* = 30,68), como é de se esperar, para pães à base de milho.

5.5.2. Análise da porosidade do miolo

A microestrutura não uniforme do miolo do pão compreende uma grande distribuição de alvéolos com diferentes dimensões, interligados ou não. O processo de escaldamento influenciou o tamanho dos alvéolos, forma, área de distribuição e espessura da parede (Figura 34).

Os alvéolos centrais são maiores e redondos enquanto os das extremidades da fatia são menores e mais alongados e achatados. De acordo com SAPIRSTEIN *et al.*, (1994) alvéolos grandes podem ser definidos como aqueles que possuem área total maior que 4,0 mm².

Os resultados deste trabalho confirmam os relatos de KASSAMA (2003) que define um material poroso como aquele formado por uma grande rede com capilares separados por espaços vazios de várias dimensões e formas. A interconexão dos poros influencia na transferência de calor, e contribui para o transporte de fluídos através dos poros durante o processo de cocção. As mudanças na porosidade

afetam a densidade, a capacidade de retenção de água, e no produto acabado à maior capacidade de absorção de cremes, molhos e margarinas pelo aumento das dimensões dos alvéolos.

Nesta análise, o software de imagem conseguiu detectar mesmo as pequenas separações na estrutura celular, assegurando uma leitura das áreas contínuas e alvéolos isolados (Figura 34d). Para todas as formulações, valores iguais para a área mínima dos alvéolos ($0,016 \text{ mm}^2$), diâmetro mínimo ($0,06 \text{ mm}$) e perímetro mínimo ($0,13 \text{ mm}$) são devidos ao limite de detecção do programa (resultados não mostrados).

FIGURA 34 Imagem digital do miolo dos pães: a) pão com farinha de centeio sem escaldar (controle), b) pão com farinha de centeio escaldado; c) pão com flocos de centeio escaldado; d) imagem com tratamento digital

Os flocos de centeio, por possuírem maiores dimensões quando comparados com a farinha, causaram maior coalescência das bolhas produzindo miolo mais aberto com alvéolos de paredes mais espessas (Figura 34c) ao passo que a farinha

de centeio (Figura 34b) produziu abertura mais regular, com alvéolos menores e paredes mais finas.

Comparando-se com o controle ($60,07 \text{ mm}^2$ e $0,37 \text{ mm}^2$) um aumento na proporção de farinha de centeio escaldada (formulação 14) reduziu as dimensões da área máxima ($26,99 \text{ mm}^2$) e da área média ($0,27 \text{ mm}^2$) respectivamente (Tabela 30). Quando adicionada a mínima proporção de farinha de centeio escaldada em relação à farinha branca (formulação 13) e adição de mais água e fermento comparado ao controle, ocorre aumento da porosidade até a obtenção de área máxima em $132,53 \text{ mm}^2$ e área média para $0,47 \text{ mm}^2$. A relação da porcentagem de água na massa em relação à farinha na etapa de reforço pode ser vista nas Tabelas 27 e 28 (última linha) e afeta todos os parâmetros analisados. A formulação 13, com maior teor de água, apresenta resultados com maior porosidade do que a formulação 14, com menor teor. Mais água disponível facilita a absorção pelos grânulos de amido, proteínas e fibras. Dos resultados conclui-se que as fibras exercem efeito deletério, como relatado na literatura (POMERANZ *et al.*, 1977), reduzindo a força das ligações entre proteínas, o que permite maior fuga de compostos voláteis formados durante a fermentação reduzindo o volume das amostras.

TABELA 30 Área dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados.

	área máxima (mm ²)			área média (mm ²)		
	controle	mínimo	máximo	controle	mínimo	máximo
farinha escaldada	50,07±19,90 ^a	26,99±12,24 ^a	132,53±107,12 ^a	0,37±0,03 ^a	0,27±0,01 ^a	0,47±0,03 ^a
flocos escaldados	81,30±17,51 ^b	53,83±20,53 ^b	166,70±61,50 ^b	0,45±0,03 ^b	0,37±0,03 ^b	0,53±0,02 ^b

Letras diferentes na mesma coluna denotam (p<0,05) diferenças significativas entre os tratamentos (Teste de Tukey HSD).

Os valores representam a média de 10 amostras + / - desvio padrão

O mesmo comportamento pode ser observado nos demais parâmetros de porosidade: diâmetro máximo (6,06 a 13,98 mm), diâmetro médio (0,32 a 0,39 mm), perímetro máximo (53,34 a 119,66 mm) e perímetro médio (1,07 a 1,66 mm) (Tabelas 31 e 32).

Quando analisados os dados para os pães produzidos com flocos de centeio escaldados, o comportamento se mantém em relação aos efeitos relacionados ao maior tamanho das partículas, e causaram diferenças significativas com relação a uma estrutura mais aberta: área máxima (53,83 a 166,70 mm²), área média (0,37 a 0,55 mm²), diâmetro máximo (7,71 a 17,02 mm), diâmetro médio (0,31 a 0,39 mm), perímetro máximo (68,97 a 152,78 mm) e perímetro médio (1,36 a 1,94 mm).

TABELA 31 Diâmetro dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados

	diâmetro máximo (mm)			diâmetro médio (mm)		
	controle	mínimo	máximo	controle	mínimo	máximo
farinha escaldada	9,36±2,34 ^a	6,06±0,80 ^a	13,98±6,11 ^a	0,35±0,01 ^a	0,32±0,02 ^a	0,39±0,01 ^a
flocos escaldados	13,01±2,74 ^b	7,71±1,44 ^b	17,02±4,14 ^b	0,36±0,01 ^a	0,31±0,02 ^a	0,39±0,02 ^a

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p < 0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos (Teste de Tukey HSD)

Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão.

TABELA 32 Perímetro dos alvéolos das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados

	perímetro máximo (mm)			perímetro médio (mm)		
	controle	mínimo	máximo	controle	mínimo	máximo
farinha escaldada	78,69±20,54 ^a	53,34±4,46 ^a	119,66±59,52 ^a	1,27±0,04 ^a	1,07±0,16 ^a	1,66±0,37 ^a
flocos escaldados	90,65±11,93 ^b	68,97±15,62 ^b	152,78±23,52 ^b	1,33±0,08 ^b	1,36±0,09 ^b	1,94±0,03 ^b

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p < 0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos (Teste de Tukey HSD).

Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão.

5.5.3. Perfil de textura (TPA)

BOURNE (2002) relata que há um grande número de queixas com relação a produtos quebrados ou esfarelados e que há espaço para uma considerável melhora nas propriedades de textura de alimentos comercializados.

A avaliação instrumental da textura tem se mostrado, para produtos panificados, análoga à avaliação feita por consumidores não treinados e pode correlacionar, de forma aceitável, os parâmetros sensoriais de cada método (ESTELLER *et al.*, 2004).

Os diferentes tratamentos ocasionaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nas propriedades de textura quando comparados ao controle produzido com água à temperatura ambiente (não escaldado). Por outro lado, os parâmetros de textura foram influenciados de forma variada quando utilizado farinha ou flocos como matéria-prima (Tabelas 33 e 34).

TABELA 33 Firmeza e coesividade das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados

	firmeza (N)			coesividade		
	controle	escaldado		controle	escaldado	
		min	max		min	max
farinha	2,32±0,22 ^a	0,61±0,06 ^a	14,83±1,92 ^a	0,73±0,02 ^a	0,64±0,02 ^a	0,82±0,02 ^a
flocos	2,83±0,25 ^b	0,81±0,09 ^b	18,46±1,82 ^b	0,76±0,02 ^a	0,66±0,03 ^a	0,81±0,02 ^a

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p<0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos (Teste de Tukey HSD).
Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão.

TABELA 34 Mastigabilidade e elasticidade das amostras de pães produzidas com farinha escaldada e flocos escaldados

	mastigabilidade (N.m)			elasticidade		
	controle	escaldado		controle	escaldado	
		min	max		min	máx
farinha	1,46±0,14 ^a	0,49±0,06 ^a	7,48±1,16 ^a	0,87±0,03 ^a	0,78±0,03 ^a	0,98±0,01 ^a
flocos	1,39±0,18 ^a	0,65±0,06 ^b	9,84±0,82 ^b	0,91±0,03 ^b	0,81±0,02 ^b	0,99±0,01 ^a

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p<0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos (Teste de Tukey HSD).
Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão.

Nos tratamentos com farinha de centeio ou flocos houve aumento da firmeza entre os tratamento (0,61 - 14,83 N e 0,81 - 18,46 N), respectivamente mostrando que o processo de escaldamento atuou sobre as proteínas e fração amilácea da massa com maiores valores de firmeza nas formulações com menor teor de água em relação à farinha e maior teor de fibra (tratamento 14). O tamanho das partículas também influenciou de forma significativa ($p < 0,05$) o aumento da firmeza, sendo maior quando utilizado centeio em flocos.

Os valores de coesividade variaram menos entre os tratamentos e ao uso de farinha ou flocos de centeio (0,64 – 0,84 farinha e 0,66 – 0,81 flocos). A coesividade é um importante parâmetro para evitar-se o esfarelamento dos pães durante o fatiamento e embalagem, estocagem e manuseio no ponto de venda, consumo (espalhamento de cremes e margarinas nas fatias) e ingestão. Está associado às forças de coesão entre os componentes da massa e ao teor de água ligada, propiciando a formação de enlaces químicos que mantêm a estrutura proteína-amido estável.

Para a mastigabilidade (N.m) os valores foram de 0,49 até 7,48 (farinha) e 0,65 até 9,84 (flocos) N.m. Vários fatores contribuem para essas mudanças, cujo parâmetro está relacionado à energia gasta ou ao número de mastigações necessário antes da deglutição do pão:

- . quantidade de água em cada tratamento - que exerce efeito lubrificante na massa;
- . teor de fibras - as partículas maiores são mecanicamente mais difíceis de serem trituradas, funcionam como “isolante” entre as proteínas, impedindo ligações, competem com os grânulos de amido pela água e ficam mais enrijecidos quando desidratados;
- . a modificação das proteínas - que formam mais ligações internas e externamente com outras em um processo de polimerização, deixando a massa mais plástica, brilhante e um pouco “borrachuda” ao corte nos dentes.

ESTELLER *et al.*, (2005) relatam que esse efeito sobre as proteínas pode também ocorrer durante processos de fermentação mista.

A elasticidade está associada à capacidade do pão retornar à sua forma original após sofrer uma deformação e dessa forma importante durante o processo de fatiamento, embalagem, transporte, armazenamento, manipulação e ingestão. Os

resultados observados indicam oscilação menor em relação aos demais parâmetros de textura. Valores de 0,78 a 0,98 para a farinha escaldada e 0,81 a 0,99 para flocos escaldados não foram significativos ($p < 0,05$) quando comparadas às duas matérias-primas e poucas diferença com o controle não escaldado, indicando que o tratamento térmico exerceu pouca influência nesse parâmetro.

Comparando-se a literatura (AMR, 2005) e os resultados obtidos, o “processo esponja”, quando utilizado o escaldamento, pode melhorar a estabilidade da massa e a textura de pães com fibras.

5.5.4. Cor dos pães

A cor é uma importante característica em produtos panificados porque junto com a textura e aroma contribuem para a preferência dos consumidores. A cor depende das características físico-químicas da massa e do processo de fabricação (açúcares, teor de aminoácidos, temperatura do forno, umidade relativa). As reações químicas que causam escurecimento de produtos panificados incluem as reações de Maillard e caramelização. As reações de Maillard são favorecidas em produtos com teor de umidade intermediária, temperaturas acima de 50 °C e pH de 4 – 7. De acordo com WÄLBY (2002) a crosta age como uma barreira à transferência de energia e à perda de peso. O calor primeiro aquece a superfície e depois o interior. Pães sem casca perdem peso três vezes mais rápido durante aquecimento.

Durante o aquecimento, a porcentagem de água diminui rapidamente na superfície produzindo condições ótimas para a formação de produtos da reação. No interior da massa a temperatura é menor e a atividade de água se mantém relativamente alta. A caramelização requer temperaturas maiores que 120 °C, pH < 3 ou pH > 9. Um ponto a ser considerado seria que o processo de escaldamento pode evitar ou reduzir o uso de corantes, naturais ou não, na formulação de pães escuros. Por outro lado, a quantidade de ar incorporado na massa (batimento, fermentação) e posterior expansão no forno, reduz o efeito de escurecimento afetando a coloração final da crosta e miolo.

Maior adição de farinha ou flocos escaldados reduzem os valores de L^* (crosta) (resultados não mostrados) (Tabela 35). Os resultados para a cor podem sofrer

variação significativa dependendo da posição da amostra no forno, mesmo aquelas pertencentes ao mesmo lote, independente das condições externas de temperatura (200 - 220 °C). Os resultados para a cor do miolo: L* 52,68 (formulação 14) a 65,22 (formulação 13); a* 1,49 a 6,61; e b* 14,30 a 20,87 (farinha escaldada) e L* 62,89 (formulação 14) a 69,23, a* 1,11 a 5,37, e b* 13,87 a 18,45 (flocos escaldados), respectivamente, são dependentes da quantidades de ingredientes escaldados e incorporação de ar (porosidade).

Apesar de ESTELLER *et al.*, (2005) relatarem que pães mais porosos absorvem mais luz, o que reduz os valores de L*, as formulações com maior área média, diâmetro e perímetro neste trabalho, são também as que apresentam menor teor de fibras de centeio escaldado e portanto são as mais claras, e no outro extremo, aquelas com menor porosidade são as que apresentam maior teor de fibras e portanto mais escuras (Figura 34 b,c).

TABELA 35 Cor do miolo para pão de centeio com farinha e flocos

	controle				escaldado				
	L*	a*	b*	L*	mínimo a*	b*	L*	máximo a*	b*
farinha	58,65±1,00 ^a	5,42±0,16 ^a	20,21±0,25 ^a	52,68±1,19 ^a	1,49±0,16 ^a	14,30±0,46 ^a	65,22±1,61 ^a	6,61±0,13 ^a	20,87±0,26 ^a
flocos	66,52±1,36 ^b	3,10±0,45 ^b	15,60±0,49 ^b	62,89±1,52 ^b	1,11±0,30 ^b	13,87±0,66 ^a	69,23±1,52 ^b	5,37±0,29 ^b	18,45±0,20 ^b

Letras diferentes na mesma coluna denotam (p<0,05) diferenças significativas entre os tratamentos Tukey HSD
Os valores representam a média de 10 amostras +/- desvio padrão

5.5.5. Volume específico

O volume específico variou de 1,61 a 5,74 mL/g (farinha escaldada) e 2,08 a 7,50 mL/g (flocos escaldados) (Tabela 36). A adição de fibras, como mencionado, provoca desagregação da rede de glúten influenciando a retenção de gases. A Figura 34b mostra claramente o efeito de compactação da massa quando utilizada a farinha escaldada e na Figura 34c, a abertura da estrutura alveolar quando utilizado flocos escaldados, tornando a massa mais porosa, e, conseqüentemente aumentando o volume específico das amostras. Mais uma vez, pode ser observado que as formulações com maior teor de água, menor concentração de fibras e maior quantidade de fermento apresentaram maior volume específico e maior porosidade. Há necessidade de outros estudos invertendo a ordem de adição, isto é, colocar a quantidade máxima de fibras na etapa de esponja e o restante da farinha branca na etapa de massa (reforço).

TABELA 36 Volume específico e umidade de pães com farinha e flocos de centeio

	volume específico (mL/g)			umidade (%)		
	controle	mínimo	escaldado máximo	controle	mínimo	escaldado máximo
farinha	2,45±0,23 ^a	1,61±0,04 ^a	5,74±0,45 ^a	41,22±0,29 ^a	38,51±0,37 ^a	48,15±0,30 ^a
flocos	5,37±0,40 ^b	2,08±0,07 ^b	7,50±0,04 ^b	41,82±0,33 ^b	36,62±0,92 ^b	45,79±0,66 ^b

Letras diferentes na mesma coluna denotam ($p < 0,05$) diferenças significativas entre os tratamentos Tukey HSD
Os valores representam a média de 4 amostras + / - desvio padrão.

5.5.6. Umidade

A transferência de umidade entre os ingredientes ocorre desde a mistura até o envelhecimento do pão pronto. Diferenças na pressão de vapor entre a crosta e a região interna resulta em migração do miolo para a crosta. A quantidade de água perdida está correlacionada com a porosidade e em função do tempo de exposição da amostra ao ambiente. A adição de farinha e farelos de centeio modificaram a absorção de água, aumentando as interações entre grupos hidroxilas das fibras e ponte de hidrogênio (Tabela 36).

A umidade variou de 38,51 a 48,15% para formulações com farinha escaldada e de 36,62 a 45,79% para flocos. Dos resultados, conclui-se que pães produzidos com maior teor de fibras retêm maior quantidade de água após o assamento. O uso de farinha (maior área de contato) promove maior absorção de água, e ao final a umidade se mantém maior que nas amostras produzidas com flocos, que apresentaram, também, maior porosidade e permitiram maior fuga de água durante o processamento e manipulação.

Nos ensaios o tempo de cocção foi mantido constante (25 minutos) mas em processos industriais, muitas vezes, para melhor conservação e ajuste da coloração da crosta, reduz-se a umidade aumentando o tempo de assamento. Essa atitude pode provocar o espessamento da crosta, redução da coesividade da massa levando ao esfarelamento precoce, e formação de compostos amargos indesejáveis ao sabor. É frequente a queixa dos consumidores relatando que pães ricos em fibras apresentam-se “secos” ou “queimados”.

5.6. Conclusões

Como resultado deste estudo, concluiu-se que o escaldamento de farinhas e flocos de cereais modifica a cor de pastas de cereais e que sua utilização como ingrediente de pães modificou a aparência, textura, cor, umidade e volume específico das amostras; e o processo pode ser utilizado para a criação de novas texturas e sabores. O escaldamento do centeio modificou, de forma significativa, ($p < 0,05$) a área dos alvéolos (mm^2), diâmetro (mm) e perímetro (mm), ocasionando redução no brilho L^* e aumento nos valores de a^*b^* , deixando as amostras mais escuras. As técnicas de escaneamento e espectrofotometria mostraram-se

tecnologicamente relevantes para a avaliação da qualidade de pães, fornecendo dados que podem ser interpretados diretamente. O método de escaneamento, além disso, representa uma metodologia de baixo custo, rápido e com boa acuidade,.

5.7. Referências bibliográficas

AACC AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, USA, 2002

AMR, A., AJO, R. Production of two types of pocket-forming flat bread by the sponge and dough method. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 5, p. 499-503, 2005.

BÁRCENAS, M.E., ROSELL, C.M. Effect of HPMC addition on microstructure, quality and aging of wheat bread. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 1037-1043, 2005

BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. Academic Press, Geneva, 2002. 400p.

CHARALAMPOPOULOS, D., WANG, R., PANDIELLA, S.S., WEBB C. Application of cereal and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 79, p. 131-141, 2002.

DANIEL A.R. **The Baker's Dictionary**. Elsevier, Amsterdam, 1971. 254p

DOEHLERT, D.C.. Influence of heat pretreatments of oat grain on the viscosity of flour slurries. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 74, p.125-131, 1997.

ESTELLER, M.S., AMARAL, R.L, LANNES, S.C.S.. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 383-393, 2004 .

ESTELLER, M.S., ZANCANARO JR., O., PALMEIRA, C.N.S, LANNES, S.C.S. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. **European Food Research and Technology**, v. 222, p. 26-31, 2005.

GANDIKOTA, S, MacRITCHIE, F. Expansion capacity of doughs: methodology and applications. **Journal of Cereal Science**, v. 42, p.157-163, 2005.

GÉLINAS, McKINNON, C.M, RODRIGUES, MONTPETIIT, D. Heating conditions and bread-making potential of substandard flour. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 4, p. 627-632, 2001.

HORROBIN, D.J, LANDMAN, K.A, RYDER, L. Interior and surface colour development during wheat grain steaming. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 33-43, 2003.

HUTCHINGS, J.B. **Food color and appearance**. Chapman & Hall, Gaithersburg, Maryland, 1999. 610p.

KAUKOVIRTA-NORJA, A., KUOKKA, A, POUTANEN, K. **Tailored technologies for future foods**. Report 2001-2004. VTT Technical Research Centre of Finland. Otamedia Ou, Espoo 2005, Research Notes 2298, Finland, 2005. 73p

KASSAMA, L.S. **Pore development in food during deep-fat frying**. PhD. Thesis. McGill University, Quebec, Canada, 2003. 266p.

KOCK, S, TAYLOR, J, TAYLOR, J.R.N. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. **Lebensmittel.-Wiss.u-Technology**, v. 32, p. 349-356, 1999.

McKEVITH, B. **Nutritional aspects of cereals**. British Nutrition Foundation Bulletin, v. 29, p. 111-142, 2004.

PETERSEN, M.A, HANSEN, Å.S, VENSKAITYTE, A., JUODEIKIENE, G, SVENTICKAITE, A. Flavor of rye bread made with scalded flour. **International ICC Cereal & Bread Congress**, Storbritannien, DK., 2005.

POMERANZ, Y., SHOGREN, M., FINNEY, K.F., BECHTEL, D.B. Fiber in breadmaking -effects on functional properties. **Cereal Chemistry**, v. 54, p.25-41, 1977.

PRAKASH, M, RAO, P.H. Effect of steaming on the rheological characteristics of wheat flour dough. **European Food Research and Technology**, v. 209, p. 122-125, 1999.

SAPIRSTEIN, H.D, ROLLER, R, BUSHUK, W. Instrumental measurement of bread crumb grain by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v.71, n.4, p. 383-391, 1994.

SCHUBERT, H., AX, K., BEHREND, O. Product engineering of dispersed systems. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, p. 9-16, 2003.

STAPLEY, A.G.F, LANDMAN, K.A, PLEASE, C.P, FRYER, P.J. Modelling the steaming of whole wheat grains. **Chemical Engineering Science**, v. 54, v. 8, p. 965-975. 1999.

WÄLBY, U., SKJÖLDEBRAND, C. Reheating characteristics of crust formed on buns, and crust formation. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 177-184, 2002.

WILKINSON, C., DIJKSTERHUIS, G.B., MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science and Technology**, v.11, p. 442-450, 2000.

6. Conclusão geral e sugestões para novos trabalhos

Retomando-se o diagrama geral de processo (abaixo) concluiu-se com este trabalho que é viável a modificação da microestrutura dos pães por processos alternativos de fabricação (método esponja), através de fermentação biológica combinada (fermentação mista), e tratamento térmico de cereais (escaldamento), obtendo-se produtos com características de textura e cor diferenciadas.

Para futuros trabalhos deverá ser pesquisada a modificação das matérias-primas por processos de digestão enzimática ou fracionamento mecânico dos cereais e sua aplicação em produtos panificados.

Diagrama geral de processo

APÊNDICE 1

I

Termos equivalentes

Tendo em vista a existência de muitos regionalismos, adaptação de termos estrangeiros e não uniformidade vocabular entre os profissionais da área, a lista abaixo apresenta alguns termos que são utilizados neste texto e seus equivalentes encontrados na literatura.

alvéolo = célula

batedeira = misturador = amassadeira

batimento = mistura = amassamento

cocção = assamento = cozimento =
forneamento

conservador = conservante = inibidor
da flora

cor = coloração

crescimento = fermentação final

crosta = casca

descanso = fermentação secundária =
fermentação intermediária

energético = calórico

estufa = câmara de fermentação =
cabine de fermentação = provador

fermentação mista = “fermento natural”

forma = assadeira

lipídio = lipídeo

lote = batelada

modelar = moldar = moldagem

porosidade = granuloseidade

prensada = comprimida

APÊNDICE 2

FIGURAS E TABELAS COMPLEMENTARES

Capítulo 4 - Complemento da Tabela 14 - Coeficientes da regressão e determinação

Regr. Coefficients; Var.: área média; R-sqr=.80941; Adj.:.80038 (F 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.0010172 DV: área média						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,519424	0,004113	126,2767	0,000000	0,511311	0,527538
(1)X1 (L)	0,027530	0,002729	10,0882	0,000000	0,022147	0,032913
X1 (Q)	-0,000139	0,002656	-0,0523	0,958329	-0,005378	0,005101
(2)X2 (L)	0,008370	0,002729	3,0673	0,002476	0,002987	0,013753
X2 (Q)	-0,001023	0,002656	-0,3850	0,700671	-0,006262	0,004217
(3)X3 (L)	-0,071892	0,002729	-26,3441	0,000000	-0,077275	-0,066509
X3 (Q)	-0,001730	0,002656	-0,6511	0,515744	-0,006969	0,003510
1L by 2L	0,000500	0,003566	0,1402	0,888633	-0,006534	0,007534
1L by 3L	0,002000	0,003566	0,5609	0,575533	-0,005034	0,009034
2L by 3L	-0,003250	0,003566	-0,9114	0,363215	-0,010284	0,003784

Regr. Coefficients; Var.: diâmetro médio; R-sqr=.94558; Adj.:.9430 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.000683 DV: diâmetro médio						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,338449	0,003371	100,4108	0,000000	0,331800	0,345098
(1)X1 (L)	0,042947	0,002236	19,2054	0,000000	0,038536	0,047358
X1 (Q)	0,034824	0,002177	15,9994	0,000000	0,030531	0,039118
(2)X2 (L)	0,025856	0,002236	11,5626	0,000000	0,021445	0,030267
X2 (Q)	0,033941	0,002177	15,5934	0,000000	0,029647	0,038234
(3)X3 (L)	-0,097847	0,002236	-43,7559	0,000000	-0,102258	-0,093436
X3 (Q)	0,044721	0,002177	20,5464	0,000000	0,040428	0,049015
1L by 2L	-0,009000	0,002922	-3,0802	0,002376	-0,014764	-0,003236
1L by 3L	-0,009500	0,002922	-3,2513	0,001359	-0,015264	-0,003736
2L by 3L	-0,028000	0,002922	-9,5828	0,000000	-0,033764	-0,022236

Regr. Coefficients; Var.: perímetro médio; R-sqr=.83327; Adj.:.825 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.0015277 DV: perímetro médio						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	1,243356	0,005041	246,6448	0,000000	1,233412	1,253299
(1)X1 (L)	0,042320	0,003344	12,6537	0,000000	0,035723	0,048917
X1 (Q)	0,010104	0,003255	3,1038	0,002202	0,003683	0,016525
(2)X2 (L)	0,030197	0,003344	9,0290	0,000000	0,023600	0,036794
X2 (Q)	0,026894	0,003255	8,2615	0,000000	0,020472	0,033315
(3)X3 (L)	-0,067808	0,003344	-20,2749	0,000000	-0,074405	-0,061211
X3 (Q)	0,037674	0,003255	11,5732	0,000000	0,031253	0,044095
1L by 2L	-0,030375	0,004370	-6,9509	0,000000	-0,038995	-0,021755
1L by 3L	-0,003875	0,004370	-0,8867	0,376341	-0,012495	0,004745
2L by 3L	-0,034125	0,004370	-7,8090	0,000000	-0,042745	-0,025505

Regr. Coefficients; Var.: firmeza; R-sqr=.89174; Adj.:.88561 (PAO 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.075561 DV: firmeza						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	1.286596	0.035453	36.29036	0.000000	1.216665	1.356528
(1)X1 (L)	-0.181430	0.023521	-7.71361	0.000000	-0.227825	-0.135035
X1 (Q)	0.064927	0.022894	2.83601	0.005063	0.019768	0.110086
(2)X2 (L)	0.257286	0.023521	10.93870	0.000000	0.210891	0.303682
X2 (Q)	0.260571	0.022894	11.38172	0.000000	0.215412	0.305729
(3)X3 (L)	0.753893	0.023521	32.05225	0.000000	0.707498	0.800289
X3 (Q)	0.334622	0.022894	14.61627	0.000000	0.289463	0.379780
1L by 2L	-0.132750	0.030733	-4.31947	0.000025	-0.193372	-0.072128
1L by 3L	-0.069000	0.030733	-2.24515	0.025911	-0.129622	-0.008378
2L by 3L	-0.142000	0.030733	-4.62045	0.000007	-0.202622	-0.081378

Regr. Coefficients; Var.: coesividade; R-sqr=.75075; Adj.:.73895 (PAO 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.0026724 DV: coesividade						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0.796087	0.006667	119.4007	0.000000	0.782935	0.809238
(1)X1 (L)	0.002699	0.004423	0.6103	0.542410	-0.006026	0.011425
X1 (Q)	-0.048889	0.004305	-11.3550	0.000000	-0.057381	-0.040396
(2)X2 (L)	0.031029	0.004423	7.0148	0.000000	0.022304	0.039754
X2 (Q)	-0.039097	0.004305	-9.0809	0.000000	-0.047590	-0.030605
(3)X3 (L)	-0.079346	0.004423	-17.9378	0.000000	-0.088071	-0.070620
X3 (Q)	-0.008473	0.004305	-1.9033	0.134414	-0.014965	0.002020
1L by 2L	-0.008500	0.005780	-1.4707	0.143037	-0.019901	0.002901
1L by 3L	-0.008975	0.005780	-1.5528	0.122124	-0.020376	0.002426
2L by 3L	-0.010750	0.005780	-1.8600	0.064438	-0.022151	0.000651

Regr. Coefficients; Var.: mastigabilidade; R-sqr=.88718; Adj.:.8813 3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.0196537 DV: mastigabilidade						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0.649098	0.018081	35.89928	0.000000	0.613433	0.684764
(1)X1 (L)	-0.097133	0.011996	-8.09737	0.000000	-0.120795	-0.073472
X1 (Q)	0.000799	0.011676	0.06839	0.945548	-0.022233	0.023830
(2)X2 (L)	0.049435	0.011996	4.12105	0.000056	0.025773	0.073097
X2 (Q)	0.207629	0.011676	17.78269	0.000000	0.184598	0.230660
(3)X3 (L)	0.352699	0.011996	29.40219	0.000000	0.329038	0.376361
X3 (Q)	0.174757	0.011676	14.96729	0.000000	0.151726	0.197788
1L by 2L	-0.067375	0.015674	-4.29854	0.000027	-0.098292	-0.036458
1L by 3L	-0.038050	0.015674	-2.42760	0.016132	-0.068967	-0.007133
2L by 3L	-0.073425	0.015674	-4.68453	0.000005	-0.104342	-0.042508

Regr. Coefficients; Var.:elasticidade; R-sqr=.69184; Adj.:.67725 (3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.0015648 DV: elasticidade						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0.936488	0.005102	183.5590	0.000000	0.926424	0.946551
(1)X1 (L)	0.019410	0.003385	5.7345	0.000000	0.012733	0.026086
X1 (Q)	0.006692	0.003295	2.0313	0.043622	0.000193	0.013191
(2)X2 (L)	-0.012142	0.003385	-3.5872	0.000425	-0.018818	-0.005465
X2 (Q)	-0.034734	0.003295	-10.5430	0.000000	-0.041233	-0.028236
(3)X3 (L)	-0.045509	0.003385	-13.4454	0.000000	-0.052186	-0.038833
X3 (Q)	-0.030652	0.003295	-9.3038	0.000000	-0.037150	-0.024153
1L by 2L	0.001113	0.004423	0.2515	0.801662	-0.007611	0.009836
1L by 3L	0.000088	0.004423	0.0198	0.984236	-0.008636	0.008811
2L by 3L	0.009962	0.004423	2.2526	0.025426	0.001239	0.018686

3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.9636947 DV: Lmiolo						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	70.49952	0.126611	556.8193	0.000000	70.24978	70.74927
(1)X1 (L)	-0.14241	0.083999	-1.6954	0.091647	-0.30810	0.02328
X1 (Q)	-0.35792	0.081760	-4.3777	0.000020	-0.51919	-0.19665
(2)X2 (L)	-0.10544	0.083999	-1.2552	0.210941	-0.27113	0.06025
X2 (Q)	0.38665	0.081760	4.7292	0.000004	0.22538	0.54793
(3)X3 (L)	1.66616	0.083999	19.8355	0.000000	1.50047	1.83185
X3 (Q)	1.29542	0.081760	15.8442	0.000000	1.13414	1.45669
1L by 2L	-0.21937	0.109755	-1.9988	0.047059	-0.43587	-0.00288
1L by 3L	0.02062	0.109755	0.1879	0.851141	-0.19587	0.23712
2L by 3L	-0.04962	0.109755	-0.4521	0.651682	-0.26612	0.16687

3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.1642451 DV: bmiolo						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	15.49979	0.052270	296.5359	0.000000	15.39668	15.60289
(1)X1 (L)	-0.28027	0.034678	-8.0822	0.000000	-0.34867	-0.21187
X1 (Q)	-0.00868	0.033753	-0.2565	0.797874	-0.07524	0.05792
(2)X2 (L)	0.17755	0.034678	5.1200	0.000001	0.10915	0.24595
X2 (Q)	0.33350	0.033753	9.8805	0.000000	0.26692	0.40008
(3)X3 (L)	0.94647	0.034678	27.2933	0.000000	0.87806	1.01487
X3 (Q)	0.66805	0.033753	19.7923	0.000000	0.60148	0.73463
1L by 2L	-0.25600	0.045311	-5.6499	0.000000	-0.34538	-0.16662
1L by 3L	-0.19900	0.045311	-4.3919	0.000019	-0.28838	-0.10962
2L by 3L	-0.00025	0.045311	-0.0055	0.995604	-0.08963	0.08913

3 factors, 1 Blocks, 200 Runs; MS Residual=.006151 DV: amiolo						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(190)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0.242685	0.010115	23.9921	0.000000	0.222733	0.262638
(1)X1 (L)	0.156092	0.006711	23.2597	0.000000	0.142854	0.169329
X1 (Q)	0.077518	0.006532	11.8676	0.000000	0.064634	0.090403
(2)X2 (L)	0.095945	0.006711	14.2970	0.000000	0.082708	0.109182
X2 (Q)	0.078755	0.006532	12.0570	0.000000	0.065871	0.091640
(3)X3 (L)	-0.170240	0.006711	-25.3680	0.000000	-0.183477	-0.157003
X3 (Q)	0.101907	0.006532	15.6014	0.000000	0.089023	0.114792
1L by 2L	-0.050750	0.008769	-5.7877	0.000000	-0.068046	-0.033454
1L by 3L	-0.013500	0.008769	-1.5396	0.125324	-0.030796	0.003796
2L by 3L	-0.046500	0.008769	-5.3030	0.000000	-0.063796	-0.029204

Regr. Coefficients, Var.-vol espec; R-sqr=.85498; Adj=.83631 (P2 3 factors, 1 Blocks, 80 Runs; MS Residual=.0623009 DV: vol espec						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(70)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	4,484954	0,050900	88,1127	0,000000	4,383436	4,586471
(1)X1 (L)	0,272947	0,033769	8,0827	0,000000	0,205596	0,340297
X1 (Q)	-0,188063	0,032869	-5,7216	0,000000	-0,253618	-0,122508
(2)X2 (L)	0,050679	0,033769	1,5007	0,137921	-0,016672	0,118029
X2 (Q)	-0,451837	0,032869	-13,7466	0,000000	-0,517392	-0,386282
(3)X3 (L)	-0,318887	0,033769	-9,4432	0,000000	-0,386237	-0,251536
X3 (Q)	-0,258756	0,032869	-7,8724	0,000000	-0,324311	-0,193201
1L by 2L	0,135938	0,044124	3,0808	0,002950	0,047936	0,223939
1L by 3L	-0,016562	0,044124	-0,3754	0,708524	-0,104564	0,071439
2L by 3L	0,010937	0,044124	0,2479	0,804951	-0,077064	0,098939

3 factors, 1 Blocks, 80 Runs; MS Residual=1,967968 DV: umidade						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(70)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	40,50790	0,286076	141,5985	0,000000	39,93734	41,07846
(1)X1 (L)	1,42186	0,189794	7,4916	0,000000	1,04333	1,80040
X1 (Q)	0,29247	0,184734	1,5832	0,117881	-0,07597	0,66091
(2)X2 (L)	0,59683	0,189794	3,1447	0,002440	0,21830	0,97537
X2 (Q)	0,20366	0,184734	1,1025	0,274031	-0,16478	0,57211
(3)X3 (L)	-2,68772	0,189794	-14,1613	0,000000	-3,06626	-2,30919
X3 (Q)	-0,99680	0,184734	-5,3958	0,000001	-1,36524	-0,62835
1L by 2L	-0,50031	0,247990	-2,0175	0,047482	-0,99491	-0,00571
1L by 3L	1,20656	0,247990	4,8654	0,000007	0,71196	1,70116
2L by 3L	-0,68344	0,247990	-2,7559	0,007456	-1,17804	-0,18884

Capítulo 4 - Complemento da Tabela 14 - Gráficos de Pareto

Capítulo 4 - Complemento da Tabela 14 - Valores previstos x observados

ANEXO I LEGISLAÇÃO

RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 263, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005.

A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, no uso da atribuição que lhe confere o art. 11 inciso IV do Regulamento da ANVISA aprovado pelo Decreto 3.029, de 16 de abril de 1999, c/c do Art. 111, inciso I, alínea "b" § 1º do Regimento Interno aprovado pela Portaria nº 593, de 25 de agosto de 2000, republicada no DOU de 22 de dezembro de 2000, em reunião realizada em 29, de agosto de 2005, considerando a necessidade de constante aperfeiçoamento das ações de controle sanitário na área de alimentos, visando a proteção à saúde da população; considerando a necessidade de atualização da legislação sanitária de alimentos, com base no enfoque da avaliação de risco e da prevenção do dano à saúde da população; considerando que os regulamentos técnicos da ANVISA de padrões de identidade e qualidade de alimentos devem priorizar os parâmetros sanitários; considerando que o foco da ação de vigilância sanitária é a inspeção do processo de produção visando a qualidade do produto final; adota a seguinte Resolução de Diretoria Colegiada e eu, Diretor-Presidente, determino a sua publicação:

Art. 1º Aprovar o "REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS E FARELOS", constante do Anexo desta Resolução.

Art. 2º As empresas têm o prazo de 01 (um) ano a contar da data da publicação deste Regulamento para adequarem seus produtos.

Art. 3º O descumprimento aos termos desta Resolução constitui infração sanitária sujeitando os infratores às penalidades previstas na Lei nº. 6.437, de 20 de agosto de 1977 e demais disposições aplicáveis.

Art. 4º Revogam-se as disposições em contrário, em especial, a Resolução CNNPA nº. 12/78, itens referentes a Biscoitos e Bolachas, Cereais e Derivados, Amidos e Féculas, Malte e Derivados, Farinhas; Portaria SVS/MS nº. 354/96; Portaria SVS/MS nº. 132/99; Resolução ANVISA/MS RDC nº. 53/00; Resolução ANVISA/MS RDC nº. 90/00 e Resolução ANVISA/MS RDC nº. 93/00.

Art. 5º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

DIRCEU RAPOSO DE MELLO

ANEXO

REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS E FARELOS

1. ALCANCE

Fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer os Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Exclui-se deste Regulamento a Farinha Desengordurada de Soja.

2. DEFINIÇÃO

2.1. Produtos de Cereais: são os produtos obtidos a partir de partes comestíveis de cereais, podendo ser submetidos a processos de maceração, moagem, extração, tratamento térmico e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos.

2.1.1. Massas Alimentícias: são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação.

2.1.1.1. As Massas Alimentícias podem ser adicionadas de outros ingredientes, acompanhadas de complementos isolados ou misturados à massa, desde que não descaracterizem o produto. Os produtos podem ser apresentados secos, frescos, pré-cozidos, instantâneos ou prontos para o consumo, em diferentes formatos e recheios.

2.1.2. Pães: são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

2.1.3. Biscoitos ou Bolachas: são os produtos obtidos pela mistura de farinha(s), amido(s) e ou fécula(s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

2.1.4. Cereais processados: são os produtos obtidos a partir de cereais laminados, cilindrados, rolados, inflados, flocados, extrudados, pré-cozidos e ou por outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos, podendo conter outros ingredientes desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, formato e textura diversos.

2.2. Farinhas: são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos.

2.3. Amidos: são os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas.

2.4. Farelos: são os produtos resultantes do processamento de grãos de cereais e ou leguminosas, constituídos principalmente de casca e ou gérmen, podendo conter partes do endosperma.

3. DESIGNAÇÃO

Os produtos podem ser designados conforme o item 2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.2; 2.3 e 2.4 ou por denominações consagradas pelo uso, podendo ser acrescida de expressões relativas ao ingrediente que caracteriza o produto, processo de obtenção, forma de apresentação, finalidade de uso e ou característica específica.

3.1. A massa alimentícia, quando obtida, exclusivamente, de farinha de trigo (gênero *Triticum*) pode ser designada de "Macarrão".

3.1.1. A massa alimentícia, quando obtida, exclusivamente, de derivados de farinha de trigo durum (*Triticum durum* L.), pode utilizar a expressão "de trigo durum" na designação.

3.1.2. A massa alimentícia, quando obtida a partir da substituição parcial da farinha de trigo deve ser acrescentada à designação a expressão "mista".

3.2. A designação das farinhas, amidos, féculas e farelos deve ser seguida do(s) nome(s) comum(ns) da(s) espécie(s) vegetal(is) utilizada(s).

3.2.1. Os amidos extraídos de tubérculos, raízes e rizomas podem ser designados de fécula.

3.3. A mistura de farelos deve ser designada de "Mistura de Farelos", seguida dos nomes comuns das espécies vegetais utilizadas.

3.4. A mistura de farelo(s) com outro(s) ingrediente(s) deve ser designada de "Mistura à Base de Farelo(s)".

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4.1. BRASIL. Decreto nº. 55.871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 abr. 1965. Seção 1.

4.2. BRASIL. Decreto - Lei nº. 986, de 21 de outubro de 1969. Institui normas básicas sobre alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 out. 1969. Seção 1.

4.3. BRASIL. Resolução nº 4, de 24 de novembro de 1988. Aprova revisão das Tabelas I, III, IV e V referente a Aditivos Intencionais, bem como os anexos I, II, III e VII, todos do Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 dez. 1988. Seção 1.

4.4. BRASIL. Portaria Interministerial nº 224 - MS/MA, de 05 de abril de 1989. Permite o uso de derivados de cereais, leguminosas e tubérculos destinados ao consumo humano, em substituição parcial ou total à farinha de trigo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 abr. 1989. Seção 1.

4.5. BRASIL. Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 set. 1990. Suplemento.

4.6. BRASIL. Portaria SVS/MS nº. 1428, de 26 de novembro de 1993. Regulamento Técnico para Inspeção Sanitária de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 dez. 1993. Seção 1.

4.7. BRASIL. Portaria SVS/MS nº. 326, de 30 de julho de 1997. Regulamento Técnico sobre as Condições Higiênico-sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos.

Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 ago. 1997. Seção 1.

4.8. BRASIL. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 out. 1997. Seção 1.

4.9. BRASIL. Portaria SVS/MS nº. 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jan. 1998. Seção 1.

4.10. BRASIL. Portaria SVS/MS nº. 29, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente a Alimentos para Fins Especiais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jan. 1998. Seção 1.

4.11. BRASIL. Portaria SVS/MS nº. 685, de 27 de agosto de 1998. Regulamento Técnico de Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos e seu Anexo: Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 ago. 1998. Seção 1.

4.12. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 16, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico de Procedimento para Registro de alimentos e ou novos ingredientes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 mai. 1999. Seção 1.

4.13. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 17, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico que estabelece as Diretrizes Básicas para a Avaliação de Risco e Segurança dos Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 mai. 2004. Seção 1.

4.14. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 383, de 05 de agosto de 1999. Regulamento técnico que aprova o uso de Aditivos Alimentares, estabelecendo suas Funções e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 7 - Produtos de Panificação e Biscoitos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 ago. 1999. Seção 1.

4.15. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº 385, de 05 de agosto de 1999. Regulamento técnico que aprova o uso de Aditivos Alimentares, estabelecendo suas Funções e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 6 - Cereais e Produtos de ou a Base de Cereais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 ago. 1999. Seção 1.

4.16. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 386 de 05 de agosto de 1999. Regulamento Técnico que aprova o uso de Aditivos Alimentares segundo as Boas Práticas de Fabricação e suas funções. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 ago. 1999. Seção 1.

4.17. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 22, de 15 de março de 2000. Procedimentos de Registro e Dispensa da Obrigatoriedade de Registro de Produtos Importados Pertinentes à Área de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mar. 2000. Seção 1.

4.18. BRASIL. Resolução ANVS/MS nº. 23, de 15 de março de 2000. Manual de Procedimentos Básicos para Registro e Dispensa da Obrigatoriedade de Registro de Produtos Pertinentes à Área de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 16 mar. 2000. Seção 1.

4.19. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. 2001. Seção 1.

4.20. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 234, de 19 de agosto de 2002. Regulamento Técnico sobre aditivos utilizados segundo as Boas Práticas de Fabricação e suas Funções. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 ago. 2002. Seção 1.

4.21. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 259, de 20 de setembro de 2002. Regulamento Técnico para Rotulagem de Alimentos Embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2002. Seção 1.

4.22. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 275, de 21 de outubro de 2002. Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 nov. 2002. Seção 1.

4.23. BRASIL. Lei nº 10.674, de 16 de maio de 2003. Obriga a que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 mai. 2003. Seção 1.

4.24. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 175, de 08 de julho de 2003. Regulamento Técnico de Avaliação de Matérias Macroscópicas e Microscópicas Prejudiciais à Saúde Humana em Alimentos Embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jul. 2003. Seção 1.

4.25. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 359, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Seção 1.

4.26. BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Seção 1.

4.27. BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 8, de 3 de junho de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 jun. 2005. Seção 1.

4.28. INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Food and Nutrition Board. FOOD CHEMICALS CODEX. 5th ed. National Academy of Sciences, Washington D.C., 2004. xxxiv + 998p.

5. REQUISITOS ESPECÍFICOS

- Farinhas, amido de cereais e farelos: umidade máxima 15,0 % (g /100 g)

- Amido ou fécula de batata: umidade máxima 21,0 % (g/100g)

- Amido ou fécula de mandioca: umidade máxima 18,0 % (g/100g)

6. REQUISITOS GERAIS

6.1. Os produtos devem ser obtidos, processados, embalados, armazenados, transportados e conservados em condições que não produzam, desenvolvam e ou agreguem substâncias físicas, químicas ou biológicas que coloquem em risco a saúde do consumidor. Deve ser obedecida a legislação vigente de Boas Práticas de Fabricação.

6.2. Os Produtos devem atender aos Regulamentos Técnicos específicos de Aditivos Alimentares e Coadjuvantes de Tecnologia de Fabricação; Contaminantes; Características Macroscópicas, Microscópicas e Microbiológicas; Rotulagem de Alimentos Embalados; Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados; Informação Nutricional Complementar, quando houver e outras legislações pertinentes.

6.3. A utilização de espécie vegetal, parte de vegetal ou de produto que não são usados tradicionalmente como alimento, pode ser autorizada desde que seja comprovada a segurança de uso, em atendimento ao Regulamento Técnico específico.

7. REQUISITOS ADICIONAIS DE ROTULAGEM

7.1. Misturas à Base de Farelos:

a) deve constar, obrigatoriamente, a seguinte advertência, em destaque e em negrito: "O Ministério da Saúde adverte: não existem evidências científicas de que este produto previna, trate ou cure doenças"; e

b) é vedada a indicação do produto para suprir deficiências nutricionais.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - SEPN 515, Bl.B, Ed.Ômega - Brasília (DF) CEP 70770-502 - Tel: (61) 3448-1000
Disque Saúde: 0 800 61 1997

ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES DE MATÉRIA-PRIMA

Ingrediente	Farinha de Trigo
Umidade (%)	14,0
Cinzas (%)	0,5
Absorção de água (%)	58,0
Tempo de desenvolvimento (min)	4,8
Estabilidade (min)	6,0
Índice de tolerância (UB) *	70,0
Resistência à extensão (UE) **	216
Extensibilidade (mm)	210
Tempo de queda (s)	285
*UB = Unidades Brabender	
**EU = Unidades Extensográficas	