



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

Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa e sua aplicação em bolo tipo pão de ló

ISABELA BASTOS CARDOSO
Engenheira de Alimentos

PROF^a DR^a FERNANDA PAULA COLLARES QUEIROZ
Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos, da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do título de
Mestre em Tecnologia de Alimentos

Campinas-SP
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

C239t Cardoso, Isabela Bastos
Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de
quinoa e sua aplicação em bolo tipo pão de ló / Isabela Bastos
Cardoso. – Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Fernanda Paula Collares Queiroz
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Farinha de trigo. 2. Quinoa. 3. Tratamento térmico. 4.
Pão de ló. 5. Bolos. I. Queiroz, Fernanda Paula Collares. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
de Alimentos. III. Título.

(ckn/fea)

Titulo em ingles: Thermal treatment of wheat and quinoa flour mixtures and their use in
sponge cakes

Palavras-chave em inglês (Keywords): Wheat flour, Quinoa, Heat treatment, Sponge
cake, Cakes

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares Queiroz

Caroline Joy Steel

Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici

Célia Maria Landi Franco

Data de defesa: 13/07/2007

Programa de Pós-Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora

Prof^a. Dr^a. Fernanda Paula Collares Queiroz

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Caroline Joy Steel

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Prof^a. Dr^a. Célia Maria Landi Franco

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos– IBILCE/UNESP

Membro

Dedico

À Tia Leila, por despertar em mim a vontade de ser cientista quando criança.

Aos meus pais, que tornaram possível a minha evolução através do conhecimento.

Agradecimentos

À Fernanda, pela intensa orientação no desenvolvimento do trabalho, pelo incentivo e ajuda nos momentos difíceis. Muito obrigada!

Ao Kenzi e Eliseu, pela oportunidade que me proporcionaram de realizar este projeto em conjunto com o trabalho desenvolvido na Emulzint. Obrigada por acreditarem em mim e também pelos ensinamentos técnicos e pessoais, que levarei para a vida toda.

Aos membros da banca, Caroline, Teresa e Célia, pelas valiosas sugestões que contribuíram para adequação e enriquecimento do trabalho.

À Michele, pela ajuda e apoio incondicional dentro e fora da Emulzint. Obrigada!

À Emeli, por ajudar nos momentos difíceis e contribuir na manutenção do meu equilíbrio.

Ao Augusto, pelo apoio e às meninas da Emulzint, Vanina, Vanessinha e Camila, companheiras do dia a dia no trabalho e no estudo, que compartilharam disciplinas, idéias, sofrimentos e alegrias. Valeu!

Ao pessoal do Controle de Qualidade da Emulzint, Odirlei, Paulo, Juliana, Carol e principalmente ao Régis, que contribuíram com a realização de parte das análises de composição centesimal das matérias-primas.

Aos técnicos do Desenvolvimento de Produtos da Emulzint, Tonhão, Valdemir, Gilberto e Alexandre, pela companhia e ajuda em meus momentos duros de “confeiteira”.

À Sandra e Alessandra, pela contribuição na realização das análises reológicas e de composição centesimal no Laboratório de Cereais. Obrigada!

Ao Matheus, Lara, Ricardo, Reinaldo, Gabi, pela companhia nas disciplinas e apoio. Em especial, agradeço à Cris pelas dicas sobre a dissertação e pelo curso “Desvende o Tukey e o Statistica em 5 minutos”. Valeu!

À professora Bel, pela ajuda na interpretação dos resultados obtidos com o planejamento experimental. Muito obrigada!

Ao Herman (Zeelandia), Sebastião (Cargill) e Emerson (Emulzint), pelo esclarecimento de dúvidas técnicas e ajuda na obtenção das matérias-primas utilizadas no trabalho.

À Emulzint, pela doação dos recursos necessários para o desenvolvimento do projeto, relacionados às matérias-primas e disponibilização de equipamentos.

Finalmente, agradeço aos meus pais, Gilberto e Edna; ao Beto, Rúbia e aos amigos de um modo geral, pela compreensão por terem ouvido tanto “Esse final de semana eu não posso, pois vou trabalhar nas coisas do mestrado!”. Concluir este trabalho foi muito gratificante. Valeu pelo apoio!

Índice

Lista de figuras	xii
Lista de tabelas.....	xiv
Resumo	xvii
Abstract	xxi
1. Introdução	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Revisão bibliográfica	5
3.1. Farinha de trigo	5
3.1.1. Composição do grão de trigo.....	6
3.1.2. Propriedades tecnológicas e reológicas da farinha de trigo	7
3.1.3. Aplicações do trigo	8
3.2. Processos de modificação da farinha de trigo	10
3.2.1. Processos químicos	10
3.2.2. Processos físicos.....	13
3.3. Farinha de quinoa	17
3.3.1. Composição química do grão de quinoa.....	18
3.3.2. Propriedades reológicas do amido e farinha de quinoa.....	20
3.3.3. Aplicações da farinha de quinoa.....	21
3.4. Bolos <i>high ratio</i>	22
4. Materiais e métodos.....	25
4.1. Materiais	25

4.1.1. Matérias-primas.....	25
4.1.2. Equipamentos	26
4.2. Métodos	26
4.2.1. Caracterização química, físico-química e reológica das farinhas de trigo e de quinoa	26
4.2.1.1. Composição centesimal.....	26
4.2.1.2. Análises físicas e químicas	28
4.2.1.3. Análises reológicas	30
4.2.2. Caracterização reológica das misturas de farinhas de trigo e de quinoa .	33
4.2.3. Testes preliminares para a produção de farinhas tratadas por extrusão e forno de convecção	33
4.2.3.1. Tratamento térmico das farinhas de trigo e de quinoa	33
4.2.3.2. Aplicação das farinhas de trigo e de quinoa tratadas termicamente em bolo “pão de ló”	35
4.2.4. Planejamento experimental	35
4.2.4.1. Tratamento térmico das farinhas de trigo A e B	36
4.2.4.2. Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa.....	38
4.2.5. Aplicação das farinhas de trigo e misturas com farinha de quinoa tratadas termicamente em bolo e sua caracterização	39
4.2.5.1. Aplicação das farinhas em bolo <i>high ratio</i> tipo pão de ló.....	39
4.2.5.2. Caracterização dos bolos.....	41
5. Resultados e discussão	45
5.1. Caracterização das matérias-primas	45
5.1.1. Composição centesimal.....	45
5.1.2. Análises físicas e químicas.....	46

5.2. Caracterização reológica das farinhas de trigo e de quinoa e suas misturas....	51
5.3. Testes preliminares para produção de farinhas tratadas por extrusão e forno de convecção e sua aplicação em bolo pão de ló	59
5.4. Tratamento térmico das farinhas de trigo A e B.....	62
5.4.1. Farinha de trigo A	62
5.4.2. Farinha de trigo B	67
5.5. Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa	72
6. Conclusões	85
7. Referências Bibliográficas	91
APÊNDICE A - Perfis de viscosidade das amostras de farinha de trigo e de quinoa e suas misturas (triplicata).....	103
APÊNDICE B - Farinogramas das amostras de farinha de trigo e de suas misturas com farinha de quinoa	109

Lista de figuras

Figura 5.1. Perfil de viscosidade das amostras (triplicata) da mistura extrudada (70% farinha de trigo e 30% farinha de quinoa).....	62
Figura 5.2. Estrutura do miolo dos pães de ló feitos com as farinhas de trigo padrão, forte e fraca sem tratamento, forte e fraca tratadas com 0% de farinha de quinoa.....	81
Figura 5.3. Estrutura do miolo dos pães de ló feitos com as farinhas de trigo forte e fraca tratadas com 10, 20 e 30% de farinha de quinoa	82
Figura A.1. Perfil de viscosidade da farinha de trigo padrão.....	103
Figura A.2. Perfil de viscosidade da farinha de quinoa.....	103
Figura A.3. Perfil de viscosidade da farinha de trigo A.....	104
Figura A.4. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (90%) e farinha de quinoa (10%).....	104
Figura A.5. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (80%) e farinha de quinoa (20%).....	105
Figura A.6. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (70%) e farinha de quinoa (30%).....	105
Figura A.7. Perfil de viscosidade da farinha de trigo B.....	106
Figura A.8. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (90%) e farinha de quinoa (10%).....	106
Figura A.9. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (80%) e farinha de quinoa (20%).....	107
Figura A.10. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (70%) e farinha de quinoa (30%).....	107
Figura B.1. Farinograma da farinha de trigo padrão.....	109
Figura B.2. Farinograma da farinha de trigo A.....	109
Figura B.3. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (90%) com farinha de quinoa (10%).....	110

Figura B.4. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (80%) com farinha de quinoa (20%).....	110
Figura B.5. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (70%) com farinha de quinoa (30%).....	111
Figura B.6. Farinograma da farinha de trigo B.....	111
Figura B.7. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (90%) com farinha de quinoa (10%).....	112
Figura B.8. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (80%) com farinha de quinoa (20%).....	112
Figura B.9. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (70%) com farinha de quinoa (30%).....	113

Lista de tabelas

Tabela 3.1. Composição química das diferentes partes do grão de trigo (porcentagem em base seca).....	6
Tabela 3.2. Mudanças no amido e proteína durante a extrusão de farinha de trigo a 30% de umidade em diferentes temperaturas.....	16
Tabela 3.3. Composição química aproximada dos grãos de quinoa.	19
Tabela 3.4. Formulações de bolos <i>high-ratio</i>	23
Tabela 4.1. Parâmetros de operação do RVA na programação Standard 1 (Manual do Equipamento)..	30
Tabela 4.2. Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento experimental.	36
Tabela 4.3. Matriz do planejamento experimental com os valores codificados das variáveis independentes.	37
Tabela 4.4. Ensaios de tratamento térmico de misturas de farinha de trigo A ou B e farinha de quinoa.....	38
Tabela 4.5. Formulação de bolo <i>high ratio</i> tipo pão de ló.....	40
Tabela 5.1. Composição centesimal das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa... ..	46
Tabela 5.2. Cor das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa.....	47
Tabela 5.3. Teor de glúten das farinhas de trigo (A e B).	48
Tabela 5.4. Número de queda das farinhas de trigo padrão, A e B.....	49
Tabela 5.5. Granulometria (% de retenção) das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa.....	50
Tabela 5.6. Perfil de viscosidade das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa.	53

Tabela 5.7. Classificação de farinhas de trigo quanto à força, de acordo com suas características farinográficas.	54
Tabela 5.8. Características farinográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa.	55
Tabela 5.9. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (45 minutos)	57
Tabela 5.10. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (90 minutos)	58
Tabela 5.11. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (135 minutos).....	58
Tabela 5.12. Valores de peso específico e altura do bolo “pão de ló” obtidos nos testes preliminares.	60
Tabela 5.13. Perfil de viscosidade obtido em RVA para a mistura extrudada.	61
Tabela 5.14. Peso específico, altura e dureza instrumental do bolo “pão de ló” obtido com as farinhas tratadas do planejamento experimental (farinha A) e sua comparação com as farinhas padrão e sem tratamento.	64
Tabela 5.15. Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,846$).	65
Tabela 5.16. Análise dos efeitos das variáveis independentes da altura para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,753$).	65
Tabela 5.17. Análise dos efeitos das variáveis independentes da dureza para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,502$).	66
Tabela 5.18. Peso específico, altura e dureza instrumental do bolo “pão de ló” obtidos com as farinhas tratadas no planejamento experimental para farinha B e sua comparação com as farinhas padrão e sem tratamento.....	69
Tabela 5.19. Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,664$).	70
Tabela 5.20. Análise dos efeitos das variáveis independentes na altura para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,525$).	70

Tabela 5.21. Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,393$).	70
Tabela 5.22. Peso específico, altura, encolhimento e dureza instrumental dos bolos elaborados com as farinhas de trigo (padrão, A e B) e os misturas com quinoa, obtidos no segundo planejamento.....	73
Tabela 5.23. Parâmetros de cor dos bolos elaborados com as farinhas de trigo (padrão, A e B) e as misturas com quinoa, obtidos no segundo planejamento.....	78

Resumo

O tratamento com gás cloro (*chlorination*) é um processo de modificação aplicado à farinhas de trigo para utilização na produção de bolos com altas quantidades de açúcar e líquidos (bolo *high ratio*), melhorando consideravelmente suas propriedades de panificação e características sensoriais. Porém, o uso do gás cloro para o tratamento da farinha não é considerado seguro e outras formas de modificação têm sido testadas para a substituição da cloração, sendo que o processo mais avaliado tem sido o tratamento térmico da farinha de trigo.

A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um pseudo-cereal da família das *Amaranthaceae*, que apresenta um potencial agrônômico importante, sendo uma das fontes mais ricas de proteína entre os grãos, com altos níveis de lisina e metionina.

Neste trabalho, foram avaliados: (i) o tratamento térmico de duas farinhas de trigo com diferentes forças de glúten (designadas pelas letras A e B) e misturas destas com farinha de quinoa (10, 20 e 30%, em peso) e (ii) a viabilidade de sua aplicação na produção de bolos *high ratio* tipo pão de ló, visando melhoria das suas propriedades tecnológicas e agregando-lhes valor nutricional.

Inicialmente, as farinhas de trigo utilizadas, farinha de quinoa e suas misturas foram analisadas quanto às suas características químicas e reológicas. Foram utilizadas duas farinhas com força de glúten diferentes com o intuito de se avaliar o efeito do tratamento térmico em matérias-primas com qualidades tecnológicas distintas.

Posteriormente, testes exploratórios foram conduzidos para definir o tipo de equipamento mais adequado (extrusor termoplástico ou forno de convecção) para ser utilizado na execução dos tratamentos térmicos. Estas farinhas tratadas foram aplicadas

em pão de ló e comparadas com as farinhas A e B sem tratamento e farinha padrão (farinha comercial tratada termicamente).

Para avaliar o efeito do processo térmico nas propriedades tecnológicas das farinhas de trigo utilizadas (A e B), foram realizados dois planejamentos experimentais aplicados à metodologia de superfície de resposta. Um terceiro experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos do tratamento térmico nas propriedades das misturas de farinha de trigo (A e B) e farinha de quinoa (10%, 20% e 30%, em peso). As farinhas foram aplicadas em bolo *high ratio* tipo pão de ló e comparadas com as farinhas padrão e sem tratamento (A e B).

Os resultados do planejamento experimental aplicado à metodologia de superfície de resposta para a farinha de trigo pura (A e B) não permitiram a obtenção de um modelo, indicando que não houve diferença significativa entre os tratamentos térmicos nas faixas de variáveis independentes estudadas (tempo e temperatura de tratamento e umidade da farinha). Aplicando teste de Tukey, os tratamentos com melhor resultado de peso específico da massa, altura do bolo e dureza instrumental foram escolhidos para teste de substituição parcial da farinha de trigo por farinha de quinoa em dosagens de 10, 20 e 30%. Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre os tratamentos para o peso específico da massa, porém a variação não interferiu na altura do bolo. Tanto o volume quanto o encolhimento lateral do pão de ló não foram afetados pelo tratamento térmico e inclusão de farinha de quinoa. A inclusão de quinoa diminuiu a dureza do miolo para a farinha B. Esta resposta não foi afetada pelo tratamento térmico. A cor do miolo escureceu conforme o aumento da concentração da farinha de quinoa em substituição à farinha de trigo, porém não houve diferença entre as farinhas de trigo puras tratadas e sem tratamento. A estrutura do miolo apresentou tendência a permanecer mais aberta com o aumento da quantidade de farinha de quinoa incorporada.

Palavras-chave: farinha de trigo, farinha de quinoa, tratamento térmico, pão de ló, bolo *high ratio*.

Abstract

Chlorination is a process applied to wheat flour to produce modified flour that is used in cakes with high levels of sugar and liquids, improving their baking properties and sensorial characteristics. However, the use of chlorine gas for flour modification is not considered safe and alternative treatments have been tested to replace chlorination. Among the options, heat treated wheat flour has been used very often as an alternative to chlorination.

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is a pseudo-cereal from the *Amaranthaceae* family, with an important agronomic potential. It is one of the most rich sources of protein among grains, with high lysine and methionine levels.

This work evaluated: (i) the heat treatment of two wheat flour types with different gluten strength (designated of A and B) and their blends with quinoa flour (10, 20 and 30%, per weigh) and (ii) the viability of their application in sponge cake production, to improve its technological properties and nutritional value

First, the wheat and quinoa flour and their blends were analysed regarding chemical and reological characteristics. Two wheat flour types with different gluten strength were tested to evaluate the heat treatment effects in raw materials with distinct technological properties.

Next, tests were conducted to define the most appropriate equipment (termoplastic extruder or convection oven) to make the thermal treatments. These treated flours were used in a sponge cake recipe and compared with non treated A and B flours and with a standard wheat flour (heat treated commercial flour).

To evaluate the thermal process effects in wheat flours (A and B) technological properties, two experiments were conducted using a response surface methodology. Another experiment was carried out to verify the heat treatment effects in wheat flour (A and B) and quinoa flour mixtures (10%, 20% and 30%, per weigh). The treated flours were used in a sponge cake recipe and compared with non treated A and B flours and with a standard wheat flour.

The results of the experiments based on the response surface methodology for the pure wheat flours have not validated any statistically significant model. They showed that there was no difference between the processes for the variables considered (treatment time, temperature and wheat flour moisture content). Thus, we have resorted Tukey tests to discriminate the treatments with best results of batter density, cake height and crumb hardness. The selected treatments were used in additional tests where the wheat flour was replaced by quinoa flour in percentages of 10, 20 and 30%. There were differences between the treatments regarding batter density, but this variation did not change the sponge cake height. It was concluded that the thermal treatment and quinoa flour adding did not interfere in cake height and lateral shrinkage. Quinoa flour inclusion resulted in a crumb hardness decrease for wheat flour B. This response did not change between treated and non treated wheat flour. The cake crumb became dark as the quinoa flour percentage raised, but there was no difference between treated and non treated wheat flours. The crumb grain was more open in sponge cakes with higher amount of quinoa flour.

Keywords: wheat flour, quinoa flour, heat treatment, sponge cake, *high ratio cake*

1. Introdução

O trigo é um dos cereais mais importantes do mundo, contribuindo com 28,5% (em peso) do total da produção mundial (DENDY e DOBRASZCZYK, 2001). Sua importância está relacionada às propriedades apresentadas por suas proteínas, que dão à massa produzida com a farinha deste cereal a característica única de viscoelasticidade, essencial para a retenção dos gases produzidos durante a fermentação da massa e fornecimento de produtos de panificação (EL-DASH, 1990). Isto permite que aproximadamente 70% da produção mundial de trigo seja usada como alimento, predominantemente na forma de farinha em pães, bolos, biscoitos (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001), cereais matinais e massas alimentícias (CORNELL e HOVELING, 1998).

Além de ser amplamente utilizada em sua forma natural, a farinha de trigo pode sofrer modificações que permitem aplicações ainda mais variadas, de acordo com as necessidades tecnológicas.

O tratamento com gás cloro (*chlorination*) é um processo de modificação, introduzido nos anos 30, geralmente aplicado em farinhas de trigo mole para utilização em bolos (PYLER, 1988). Este tratamento permite o desenvolvimento de formulações de bolos ricos, ou seja, com altas quantidades de açúcar e líquidos, conhecidos como “*high-ratio cakes*”, comuns na Austrália, América, Canadá e Reino Unido (CATTERALL, 2001). O processo melhora consideravelmente as propriedades de panificação e características sensoriais de bolos (PYLER, 1988). Porém, o uso do gás cloro para o tratamento da farinha não é considerado seguro e, além disso, os consumidores demonstram resistência ao uso de certos produtos químicos no processamento de alimentos (THOMASSON, MILLER e HOSENEY, 1995). Trabalhos têm sido realizados para investigar a toxicidade

da farinha clorada, porém, há pouco interesse da indústria em custear as pesquisas e o tratamento de farinhas com cloro não está sendo mais aceito pelos países da União Européia desde novembro de 2000 (CATTERALL, 2001). Por isso, outras formas de modificação têm sido testadas para a substituição do tratamento com cloro, sendo que o processo mais avaliado tem sido o tratamento térmico da farinha de trigo.

Embora alguns autores (THOMASSON, MILLER e HOSENEY, 1995; RUSSO e DOE, 1970; KIM e ROTTIER, 1980) tenham reportado o uso de tratamento térmico da farinha de trigo em extrusor, tambores rotativos e forno de convecção para substituir o processo de cloração, informações específicas sobre o uso destes processos são limitadas.

A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um pseudo-cereal da família das *Amaranthaceae*, resistente à estiagem, ao gelo e pode ser cultivada em solos pobres e a altas altitudes, por isso apresenta um potencial agrônômico importante (WILSON, 1985). Suas sementes são uma das fontes mais ricas de proteína entre os grãos, contendo cerca de 12 a 19%. Adicionalmente, sua proteína possui um balanço de aminoácidos excepcionalmente atrativo para a nutrição humana, devido aos seus altos níveis de lisina e metionina (LORENZ, 1990). Além disso, contém mais riboflavina, ácido fólico, α -tocoferol, cálcio, fósforo, magnésio, ferro, zinco, potássio e cobre em relação aos outros grãos (KOZIOL, 1990; RUALES e NAIR, 1993).

A quinoa pode ser utilizada em combinação com outros cereais para melhorar o valor nutricional de alguns produtos (WEBER, 1978; BEAN e FELLERS, 1982). Macarrão, biscoitos, pães e bolos de alto teor protéico podem ser produzidos utilizando-se farinha de quinoa em combinação com a farinha de trigo (COULTER e LORENZ, 1990). Informações sobre o comportamento tecnológico de misturas de farinha de trigo e farinha de quinoa tratadas termicamente em produtos de panificação são ainda escassas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e quinoa em forno de convecção e sua aplicação em bolos *high ratio* tipo “pão de ló”, visando melhoria das suas propriedades tecnológicas e agregando-lhes valor nutricional.

2.2. Objetivos específicos

- Estudo das características químicas e reológicas das duas farinhas de trigo utilizadas (designadas pelas letras A e B), farinha de quinoa e suas misturas;
- Efeito do tratamento térmico nas propriedades tecnológicas das farinhas de trigo utilizadas (A e B);
- Avaliação da qualidade de bolo “pão-de-ló” elaborado com farinhas de trigo (A e B) modificadas;
- Efeito do tratamento térmico nas propriedades tecnológicas das misturas de farinha de trigo (A e B) e farinha de quinoa;
- Avaliação da qualidade de bolo “pão-de-ló” elaborado com misturas de farinha de trigo (A e B) e farinha de quinoa.

3. Revisão bibliográfica

3.1. Farinha de trigo

O trigo é um cereal, da família Gramineae, nativo dos países áridos do oeste da Ásia. Seu uso como alimento data da Idade da Pedra (CORNELL e HOVELING, 1998), sendo considerado, hoje, um dos cereais mais importantes, contribuindo com 28,5% (em peso) do total da produção mundial (DENDY e DOBRASZCZYK, 2001).

É cultivado, no mundo, em várias espécies botânicas distintas. No entanto, sem dúvida, a mais importante é a *Triticum aestivum*, ou trigo comum, que representa cerca de 90% do total de trigo produzido nos Estados Unidos, um dos maiores produtores mundiais (PYLER, 1988). As outras espécies são *Triticum durum*, *Triticum compactum*, *Triticum turgidum*, *Triticum dicoccum*, *Triticum spelta* e *Triticum polonicum* (PYLER, 1988; CORNELL e HOVELING, 1998).

As diferenças entre as variedades envolvem fatores como: (i) presença ou ausência de barba; (ii) pigmentação; (iii) dureza ou maciez da estrutura do grão; (iv) resistência ao frio, seca e pragas; (v) força da palha; (vi) tempo de maturação; (vii) qualidade de moagem e (viii) qualidade de panificação (PYLER, 1988).

Para fins comerciais, o trigo comum é geralmente classificado em duro ou mole, vermelho ou branco e de primavera ou de inverno (CORNELL e HOVELING, 1998).

3.1.1. Composição do grão de trigo

A composição do grão faz do trigo um alimento palatável de alto valor energético (MacMASTERS, HINTON e BRADBUTY, 1971). O grão de trigo pode ser dividido morfológicamente em três partes distintas: (i) o endosperma, que representa a maior parte do grão; (ii) o farelo, que é a camada que envolve o grão e o (iii) gérmen, que contém o embrião e o escutelo (DENDY e DOBRASZCZYK, 2001). A composição química média das diferentes partes do grão de trigo é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Composição química das diferentes partes do grão de trigo (porcentagem em base seca).

Componentes	% Peso	Amido (%)	Proteína (%)	Lipídios (%)	Pentosanas (%)	Minerais (%)
Grão de trigo	100	60-70	10-14	1,5-2,5	5-8	1,6-2,0
Endosperma	82-85	70-85	8-13	1-1,6	0,5-3,0	0,3-0,8
Farelo	15	0	7-8	1-5	30-40	3-10
Gérmen	3	20	35-40	15	20	5-6

Fonte: Dendy e Dobraszczyk (2001).

Embora sejam considerados principalmente como fonte de carboidratos, os produtos de trigo também são importantes fontes de proteínas, vitaminas e sais minerais, quando consumidos como elementos básicos da dieta (MacMASTERS, HINTON e BRADBUTY, 1971).

A proteína do endosperma representa 80% da proteína total do grão e consiste basicamente em gliadina (solúvel em álcool) e glutenina (solúvel em ácido), presentes em proporções aproximadamente iguais no glúten (PYLER, 1988).

3.1.2. Propriedades tecnológicas e reológicas da farinha de trigo

A grande importância atribuída ao trigo, em todo o mundo, está relacionada às propriedades apresentadas por suas proteínas, que dão à massa produzida com a farinha deste cereal a característica única de viscoelasticidade, essencial para a retenção dos gases produzidos durante a fermentação da massa e forneamento do pão (EL-DASH, 1990).

Quando se adiciona água à farinha de trigo e mistura-se até obter uma massa, ocorre a formação do glúten. As características do glúten dependem fundamentalmente das suas proteínas formadoras, a gliadina e a glutenina (GOTTSCHALD, 1996).

As proteínas do trigo, particularmente o glúten, têm sido objeto de vários estudos devido à sua grande contribuição para a qualidade tecnológica do trigo e de sua farinha. Estas proteínas podem ser fracionadas em dois grandes grupos: proteínas solúveis e insolúveis (EL-DASH, 1990).

As proteínas solúveis consistem de albuminas e globulinas e representam cerca de 15% da quantidade total de proteínas do trigo (EL-DASH, 1990). São consideradas não formadoras de glúten, já que a albumina e a globulina presentes na farinha parecem ter pouca (SCHOFIELD e BOOTH, 1983) ou nenhuma (MacRITCHIE, 1984) influência sobre a qualidade de panificação.

As proteínas formadoras de glúten são as insolúveis em água, sendo a gliadina solúvel em etanol a 70%, enquanto que a glutenina é solúvel somente em soluções de ácido ou álcali (EL-DASH, 1990).

Um glúten de boa qualidade permite expansão suficiente e boa distribuição das células de gás dentro da massa, resultando em um pão volumoso e de boa textura. As proteínas do glúten diferem em sua contribuição a estas propriedades (MacRITCHIE, 1984). Quando completamente hidratada, a glutenina forma uma massa extremamente rígida e elástica, enquanto que a gliadina produz uma massa fluida e viscosa. A gliadina é coesiva e apresenta alta extensibilidade e baixa elasticidade. Em outras palavras, é altamente capaz de ser esticada com a aplicação de uma força, porém apresenta capacidade limitada de retornar à forma inicial após a supressão da força. A glutenina, por outro lado, apesar de também ser coesiva, apresenta uma baixa extensibilidade e alta elasticidade. É capaz de ser esticada até um certo limite, mas retorna rapidamente à sua forma original com a remoção da força. O glúten, portanto, apresenta propriedades viscoelásticas que combinam os dois componentes (EL-DASH, 1990).

As principais características do glúten que afetam a qualidade de panificação são a quantidade, a proporção dos grupos das proteínas e o tipo de proteínas presentes no glúten. Farinhas com quantidades iguais de proteína podem diferir em qualidade, em função de diferenças nas proporções e nas características das frações da proteína do glúten (MacRITCHIE, 1987; JANSSEN et al., 1990).

3.1.4. Aplicações do trigo

Aproximadamente 70% da produção mundial de trigo é usada como alimento, predominantemente na forma de farinha em pães, bolos, biscoitos (DENDY e

DOBRASZCZYC, 2001), cereais matinais e massas alimentícias (CORNELL e HOVELING, 1998).

Sua aplicação pode variar de acordo com a variedade. O trigo duro, por exemplo, produz farinhas com altos teores de amido danificado, desejável para aplicação em pães, resultando em partículas relativamente angulares, que fluem facilmente. A farinha de trigo mole é geralmente utilizada em bolos por apresentar partículas de tamanho pequeno e baixos níveis de amido danificado (DENDY e DOBRASZCZYC, 2001).

As farinhas de trigo destinadas à produção de bolos, geralmente, são moídas a partir das variedades de trigo vermelho mole de inverno ou branco mole de inverno. Estas variedades permitem teores de proteína de $8,5 \pm 0,5\%$, cinzas de $0,36 \pm 0,04\%$ e tamanho de partícula de $10 \pm 0,5 \mu\text{m}$. A característica principal da farinha para bolo é um baixo teor de proteína com características de força moderada. A absorção de água desejada, neste caso, está relacionada à alta capacidade da farinha carregar líquidos e é mais influenciada pelo tamanho e uniformidade das partículas obtidas na moagem e tratamento aplicado à farinha, como a cloração, do que pelo conteúdo de proteína presente (PYLER, 1988).

O trigo pode ser usado também como matéria-prima para a produção de amido e glúten vital. O amido possui várias aplicações tanto na indústria de alimentos, como em outras, como a indústria têxtil, siderúrgica, papel, farmacêutica e plástica (CIACCO e CRUZ, 1982). O glúten é utilizado para: (i) aumentar o teor de proteínas de um alimento, tornando-o mais nutritivo e (ii) na indústria de panificação, para melhorar as propriedades reológicas da massa.

A farinha de trigo e o glúten têm sido utilizados, por muitos anos, em produtos cárneos embutidos, adicionados em pequenas quantidades, com o objetivo de melhorar a

textura. Porém, a legislação de vários países os tem considerado como adulterantes para esses tipos de produtos.

Outra aplicação é o malte de trigo, obtido através da germinação parcial do grão. É aplicado em cervejas e produtos de panificação devido a sua atividade enzimática, sendo também utilizado como agente flavorizante (CORNELL e HOVELING, 1998).

O trigo também pode ser utilizado como fonte de fibras pela adição da sua farinha integral ou farelo em alimentos como pães, bolos e cereais matinais (CORNELL e HOVELING, 1998).

3.2. Processos de modificação de farinha de trigo

3.2.1. Processos químicos

Além de ser amplamente utilizada em sua forma natural, a farinha de trigo pode sofrer modificações que permitam aplicações ainda mais variadas, de acordo com as necessidades tecnológicas. Farinhas de trigo podem ser modificadas por ácidos para aplicação na indústria têxtil e papeleira (RANKIN et al., 1972; 1973). Nos países orientais, a farinha de trigo é adicionada de um sal alcalino para a obtenção de massa para macarrão, conhecida como "*noodles*" (SHIAU e YEH, 2004).

Com o objetivo de tornar a farinha de trigo mais clara, uma modificação comumente utilizada é o processo de branqueamento, que consiste na remoção de cor pela oxidação dos componentes responsáveis pelos pigmentos amarelos da farinha. Esta modificação é geralmente realizada no moinho, logo após a obtenção da farinha. O agente oxidante mais utilizado é o peróxido de benzoíla, que atua em compostos como

xantofilas, caroteno, flavonas, entre outros, causando a perda de coloração (PYLER, 1988).

O branqueamento, muitas vezes, é realizado em conjunto com outros tratamentos que aceleram o processo de maturação da farinha, melhorando também suas propriedades de panificação. A cloração (*chlorination*) é um desses processos, geralmente aplicada em farinhas de trigo mole que serão utilizadas em bolos. Este tratamento foi introduzido nos anos 30 (PYLER, 1988) e permitiu o desenvolvimento de formulações de bolos ricos, ou seja, com altas quantidades de açúcar e líquidos. Estes bolos, conhecidos como “*high-ratio cakes*”, tornaram-se muito comuns na Austrália, América, Canadá e Reino Unido (CATTERALL, 2001).

O processo envolve o tratamento da farinha com gás cloro, causando redução do pH de uma faixa de 5,8 a 6,1 para 4,6 a 5,1; melhorando consideravelmente as propriedades de panificação e características sensoriais de bolos (PYLER, 1988).

A farinha tratada com cloro (*chlorinated flour*) melhora o volume, a textura do miolo e a palatabilidade de bolos, quando comparada com a farinha comum (KIM e ROTTIER, 1980).

Essencialmente, todos os componentes da farinha (glúten, amido, solúveis em água e pentosanas) são modificados quimicamente durante a reação de cloração (STAUFFER, 1990).

O tratamento com cloro causa alterações nos lipídios presentes na farinha, que permitem maior expansão da massa durante o forneamento (CLEMENTS e DONELSON, 1982a; 1982b).

Também altera a fração de amido presente na farinha, reduzindo sua temperatura de pasta (RUSSO e DOE, 1970) e aumentando sua absorção de água no farinógrafo (CONFORTI e JOHNSON, 1992). Esta maior capacidade de hidratação do amido confere

ao bolo maior estabilidade no forneamento e melhor manutenção da estrutura da massa expandida, evitando o encolhimento do bolo durante o resfriamento.

Esta combinação resulta em bolos com maior volume e melhor textura, quando comparados à farinha não tratada (KISSELL, DONELSON e CLEMENTS, 1979).

Os valores obtidos no farinógrafo dependem das características da matéria-prima utilizada para a obtenção da farinha clorada. Para farinhas de trigo com teor de proteína entre 8,2 e 8,6%, Conforti e Johnson (1992) obtiveram os seguintes resultados: (i) tempo de pico entre 1,0 e 4,5 minutos; (ii) estabilidade entre 6,25 e 10,5 minutos; e (iii) índice de tolerância à mistura entre 30 e 70 unidades farinográficas.

Apesar dos benefícios que a farinha clorada proporciona às características dos bolos, o uso do gás cloro para o tratamento da farinha não é considerado seguro e os consumidores têm se mostrado resistentes ao uso de certos produtos químicos em processamento de alimentos (THOMASSON, MILLER e HOSENEY, 1995).

Trabalhos têm sido realizados para investigar a toxicidade da farinha clorada. Daniels et al. (1963) não observou reações adversas quando ratos foram alimentados com bolos feitos de farinha de trigo clorada em quantidades equivalentes aos níveis consumidos na dieta humana. Porém, em níveis superiores, os autores observaram efeitos na lactação das fêmeas e na textura dos pelos dos machos. Cunningham, Lawrence e Tryphonas (1977) observaram a redução da taxa de crescimento de ratos e aumento no peso do fígado em animais alimentados com farinha clorada em altas quantidades. Já, Ginocchio et al. (1983) verificaram que dietas com altos níveis de farinha tratada aumentaram o peso do coração e fígado e diminuíram o peso de ovários de camundongos, indicando potencial carcinogênico.

Devido à resistência da indústria em custear mais pesquisas, o tratamento de farinhas com cloro não é mais aceitável em países da União Européia desde novembro de

2000 (CATTERALL, 2001). O cuidado com a toxicidade da farinha clorada tem conduzido vários fabricantes a considerarem possíveis alternativas para este tratamento, sendo que os tratamentos térmicos em extrusor, tambor rotativo e forno de convecção têm sido os mais testados (CATTERALL, 2001).

3.2.2. Processos físicos

Dentre as modificações ocasionadas por processos físicos, a obtenção de farinhas pré-gelatinizadas é uma das mais comumente difundidas. As farinhas pré-gelatinizadas podem ser obtidas em escala industrial por processo de extrusão termoplástica, tambores rotativos ou em atomizadores.

A utilização de atomizadores é economicamente limitada, uma vez que pastas de amido têm alta viscosidade e exigem secagem a baixo teor de sólidos (CHIANG e JOHNSON, 1977).

Os tambores rotativos são simples e comumente usados, mas apresentam a desvantagem do alto custo dos produtos, devido à baixa eficiência, baixa produção, dificuldade de operação, necessidade constante de manutenção e ajuste dos tambores (GREENWOOD e EWART, 1975).

O processo de extrusão é um dos mais vantajosos para a produção de farinha tratada termicamente, apresentando as seguintes vantagens: versatilidade, alta produtividade, baixo custo e controle mais rigoroso do grau de gelatinização desejado, sendo que pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais (CLERICI, 1997; EL-DASH, 1982).

Vários estudos mostram a possibilidade de substituição do processo de cloração através da modificação da farinha utilizando tambores rotativos (*rotating drum*) (RUSSO e

DOE, 1970), extrusor (KIM e ROTTIER, 1980) ou ainda forno de convecção (THOMASSON, MILLER e HOSENEY, 1995).

Russo e Doe (1970) estudaram o uso de tambores rotativos (*rotating drum*) com este objetivo. Aplicaram o tratamento primeiramente ao amido e avaliaram suas características de viscosidade. Observaram que a temperatura de pasta do amido caiu com o aumento da temperatura, passando de 80°C (amido sem tratamento) para 77,5°C (amido tratado a 180°C). Porém, este efeito não é tão intenso quanto o observado com a cloração. Nesses estudos, a farinha de trigo clorada apresentou temperatura de pasta de 74°C.

Ao aplicar o tratamento térmico em farinhas de trigo, os mesmos autores observaram que este não ocasionou efeito satisfatório em farinhas convencionais moídas em moinho de rolos. Quando o tratamento foi aplicado a uma farinha moída em moinho turbo e classificada por ar (*air classifying*) com o objetivo de reduzir seu teor protéico, houve ligeira queda na temperatura de pasta e a performance na aplicação em bolo *high ratio* (*white layer cake*) foi quase igual à farinha clorada.

O processo de classificação por ar (*air classifying*) é aplicado a farinhas em que se deseja reduzir ou aumentar o teor protéico (BENNION e BAMFORD, 1973; PYLER, 1988). O trigo moído é colocado sobre um disco rotacional e submetido a uma força centrífuga, ao mesmo tempo em que é aplicada uma corrente de ar em sentido contrário. Em velocidades de rotação do disco e fluxo de ar específicos, é possível separar porções de diferentes granulometrias. As partículas maiores resistem ao fluxo de ar e são jogadas para fora do disco, enquanto que as partículas menores são arrastadas pelo ar e recolhidas no interior do disco (PYLER, 1988). De acordo com Bennion e Bamford (1973), as frações do grão de trigo após a moagem que apresentam tamanho de partícula grande (acima de 40 µm) possuem composição bem próxima do endosperma puro e menor teor

protéico quando comparadas às partículas de tamanho menor. Partindo-se de um grão com 12,2% de proteína, é possível se chegar a teores de proteína de 6,9 a 25,8%.

Russo e Doe (1970) afirmaram também que o fato da temperatura de pasta obtida para a farinha tratada termicamente não ter sido tão baixa quanto à da farinha clorada (78,5 e 74°C, respectivamente), possivelmente explica a facilidade do miolo do bolo, obtido com esta farinha, esfarelar.

Relataram por fim que o tratamento térmico da farinha de trigo em tambores rotativos (*rotating drum*) melhorou a estabilidade ao forno e textura do miolo de bolos *high ratio*, quando comparados aos bolos obtidos de farinha sem tratamento. As condições ótimas obtidas foram: (i) temperatura de 120°C e (ii) umidade da farinha inferior a 7%. Afirmaram que o tempo de tratamento não era crítico, sendo que testaram por no máximo 30 minutos. Tratamentos com temperaturas superiores a 130°C ocasionaram um efeito prejudicial na textura e sabor do bolo.

Apesar de melhorar a qualidade dos bolos nas condições ótimas, estes ainda apresentaram características inferiores aos produzidos com a farinha tratada com cloro.

Kim e Rottier (1980) obtiveram bolo “pão de ló” de excelente qualidade utilizando farinha de trigo pré-gelatinizada em extrusor de rosca única com 30% de umidade e temperatura de 60°C. O produto obtido foi melhor que o bolo “pão de ló” preparado com a farinha tratada com cloro, levando-se em consideração três aspectos: melhor palatabilidade, retrogradação mais lenta e melhor aparência da crosta (geralmente prejudicada em bolos com agentes emulsificantes).

Estes mesmos autores avaliaram a porcentagem de amido danificado e a solubilidade de carboidratos a diferentes temperaturas de extrusão da farinha de trigo a 30% de umidade, conforme mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Mudanças no amido e proteína durante a extrusão de farinha de trigo a 30% de umidade em diferentes temperaturas.

Temperatura de extrusão (°C)	Amido danificado (%)	Material solúvel em água (%)		
		Total	Carboidrato	Proteína
Não extrudado	14	7,0	2,9	3,5
60	29	8,2	4,2	2,3
125	78	10,2	8,1	1,5
150	82	13,6	12,5	0,3
190	88	15,2	14,2	0,6

Fonte: Kim e Rotier (1980).

À temperatura de 60°C, a porcentagem de amido danificado dobrou, enquanto que a 125°C a quantidade foi multiplicada por 6. Esse valor, associado ao leve aumento na solubilidade de carboidratos, indicam que a gelatinização do amido não pode ser muito drástica para se obter um bom resultado na aplicação de farinha de trigo extrudada em bolo *high ratio*.

Johnson e Hosney (1980) estudaram os efeitos do aquecimento em forno de convecção e do tempo de armazenagem nas qualidades funcionais da farinha de trigo. Farinhas sem tratamento estocadas a temperatura ambiente por 2 meses resultaram em bolos *high ratio* com melhor volume e miolo. Essas alterações relacionadas à idade da farinha foram aceleradas pelo calor. O tratamento térmico de farinhas recém moídas melhorou a textura do miolo e eliminou o colapso durante o forneamento.

Thomasson, Miller e Hosney (1995) estudaram o tratamento térmico de farinha de trigo em forno de convecção em temperaturas de 80 a 200°C e avaliaram sua aplicação em bolo *high ratio* (*white layer cake*). Os resultados indicaram que o tratamento térmico da farinha a níveis normais de umidade (ao redor de 13%) melhorou o volume do bolo, mas reduziu a qualidade do miolo. Os melhores resultados foram obtidos em tratamentos entre 100 e 150°C e com níveis de umidade iniciais da farinha de 2 a 3%, condições em que obtiveram melhora no volume e estrutura do miolo do bolo. Tratamentos a 200°C queimaram a farinha, tornando-a inapropriada para aplicação em bolo.

Estes mesmos autores também avaliaram o ganho de altura e viscosidade da massa dos bolos produzidos com os diferentes tipos de farinha: (i) controle; (ii) clorada e (iii) tratada termicamente, durante o forneamento. A farinha tratada termicamente apresentou desempenho intermediário entre as farinhas clorada e controle.

Embora o tratamento a níveis reduzidos de umidade tenha melhorado o volume e miolo do bolo, ainda não resultou em um bolo com a mesma qualidade do produzido com a farinha clorada. Por isso, estes autores avaliaram, por fim, a adição de goma xantana (0,12%) e L-cisteína (200 ppm) à farinha tratada termicamente em forno de convecção (7% de umidade, 120°C por 30 minutos) e obtiveram volume, textura e cor de bolos *high ratio* equivalentes aos obtidos com a farinha tratada com cloro.

3.3. Farinha de quinoa

A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é uma planta indígena da família das *Amaranthaceae*, originária das regiões montanhosas da América do Sul, tradicional da região dos Andes (DINI et al., 1992; RUALES e NAIR, 1993), presente na Argentina,

Chile, Bolívia, Peru, Equador e Colômbia (CARMEN, 1984). O grão é considerado um pseudo-cereal resistente à estiagem, ao gelo e pode ser cultivado em solos pobres e a elevadas altitudes, por isso apresenta um potencial agrônômico importante.

Pseudo-cereais são um grupo de plantas que produzem sementes ricas em amido, porém botanicamente são dicotiledôneas. Nutricionalmente e no processamento de alimentos, são utilizados como os cereais (WILSON, 1985).

3.3.1. Composição química do grão de quinoa

A composição química do grão de quinoa pode variar, em alguma extensão, dependendo de sua variedade (RUALES e NAIR, 1992). A Tabela 3.3 apresenta a composição química aproximada do grão de quinoa, de acordo com diversos autores.

Em comparação ao trigo, a quinoa é, de um modo geral, superior em teor de proteína, gordura, cinzas e fibras. As sementes contêm cerca de 12 a 19% de proteína e são uma das fontes mais ricas entre grãos como trigo, milho, cevada e arroz. Adicionalmente, sua proteína possui um balanço de aminoácidos excepcionalmente atrativo para a nutrição humana, devido aos seus altos níveis de lisina e metionina (LORENZ, 1990).

É importante destacar que, do ponto de vista nutricional, a quinoa deve ser utilizada como farinha integral, já que a maior parte da proteína encontra-se na casca, correspondendo a cerca de 70% do total de proteínas (ASCHERI, RAMIREZ-ASQUIERI e CARVALHO, 1998).

Tabela 3.3. Composição química aproximada dos grãos de quinoa.

Componentes	Conteúdo (%)
Umidade	7,8 – 14,7
Proteínas	11,2 – 15,6
Lipídios	4,6 – 12,4
Cinzas	2,3 – 3,0
Carboidratos	55,3 – 61,2
Fibras	2,2 - 4,9

Fonte: Gonzáles et al. (1989), Dini et al. (1992), Ruales e Nair (1992), Ranhotra et al. (1993), Chauhan, Eskin e Tkachuk (1992).

A quinoa contém quantidade de fibras similar aos valores apresentados por cereais comuns e sementes de leguminosas, porém não é fonte significativa de fibras solúveis (RANHOTRA et al., 1993).

Contém mais riboflavina, ácido fólico e α -tocoferol que os cereais comuns, tais como trigo, cevada, aveia, centeio, arroz e milho (KOZIOL, 1990; RUALES e NAIR, 1993). Contêm também grandes quantidades de cálcio, fósforo, magnésio, ferro, zinco, potássio e cobre em relação aos outros grãos (RUALES e NAIR, 1993).

Reichert, Tatarynovich e Tyler (1986) identificaram o amargor da saponina como o fator limitante para o uso da quinoa. Chauhan, Eskin e Tkachuk (1992) mostraram que 34% do total de saponinas está localizado na casca, que pode ser removida facilmente. A quantidade remanescente de saponinas após o descascamento é considerada inferior à reportada para outros cereais. Mas apesar da remoção da casca ser positiva para o sabor do produto, resulta em perda considerável no teor nutritivo, já que, conforme citado

anteriormente, grande parte das proteínas do grão estão na casca (ASCHERI, RAMIREZ-ASQUIERI e CARVALHO, 1998).

3.3.2. Propriedades reológicas do amido e farinha de quinoa

As características funcionais do amido de quinoa são significativamente afetadas pelo baixo conteúdo de amilose e tamanho dos grânulos, 11% (ATWELL et al., 1983) e 0,6 a 2,0 μm (LORENZ, 1990; KOZIOL, 1990), respectivamente.

Lorenz (1990) estudou as propriedades físico-químicas e características funcionais do amido de quinoa e comparou com amidos extraídos de outras fontes. O autor observou maior intumescimento nos amidos com teores de amilose mais baixos: quinoa, amaranto e arroz selvagem, indicando que a amilose reforça a rede interna dentro do grânulo e, portanto, restringe o intumescimento. Amidos com grânulos de tamanho pequeno (quinoa, amaranto e arroz selvagem) mostraram maior susceptibilidade a enzimas que os amidos de trigo, cevada e batata. A estrutura do grânulo de amido, quando reforçada por amilose, torna-se mais resistente à hidrólise enzimática (LORENZ, 1990). Segundo Ruales e Nair (1992), o amido de quinoa é envolvido por uma matriz protéica, o que reduz a taxa de hidrólise enzimática do amido.

Com relação ao poder espessante, Lorenz (1990) verificou que os amidos com grânulos de menor tamanho – entre eles a quinoa – produziram constante aumento na viscosidade durante a estocagem, até 5 dias, como resultado da lenta hidratação dos grânulos. O mesmo autor observou que os amidos com menor teor de amilose apresentaram temperaturas de gelatinização finais mais altas, sendo que a do amido de

quinoa foi levemente mais alta que a do trigo e cevada. Atwell et al. (1983) relataram uma temperatura de gelatinização na faixa de 57 a 64°C para o amido de quinoa.

O amilograma característico de amido de quinoa apresenta viscosidade substancialmente diferente comparada à dos amidos de trigo e cevada, considerando-se as mesmas concentrações de amido (ATWELL et al., 1983). Em um mesmo ponto de referência, o amido de quinoa exibe viscosidade muito mais alta que o amido das fontes citadas acima (LORENZ, 1990; ATWELL et al., 1983).

3.3.3. Aplicações da farinha de quinoa

A quinoa pode ser consumida tanto em grãos, como na forma de farinha, podendo ser utilizada em combinação com outros cereais para melhorar o valor nutricional de alguns produtos. Como grão, pode ser incorporado em sopas ou, então, cozido e servido de forma similar ao arroz (WEBER, 1978; BEAN e FELLERS, 1982). Macarrão, biscoitos, pães e bolos de alto teor protéico podem ser produzidos utilizando-se farinha de quinoa em combinação com a farinha de trigo (COULTER e LORENZ, 1990).

Bean (1981 apud LORENZ e COULTER, 1991) obteve macarrão sem alterações sensoriais usando 40% de farinha de quinoa. Já, Caperuto (1999) adicionou farinha de quinoa à farinha de milho para obtenção de massa de macarrão sem glúten, obtendo boa aceitação pelos provadores na dosagem de 10%.

Lorenz *et al.* (1990) aplicaram diferentes porcentagens de farinha de quinoa em pães, bolos e biscoitos, em substituição à farinha de trigo. Foram obtidos resultados satisfatórios nas porcentagens entre 5 e 10%. A utilização de farinha de trigo com até 20% de farinha de quinoa não alterou o volume de bolos testados pelo mesmo autor. Com

30% de substituição, houve um decréscimo no volume. O miolo dos bolos ficou mais aberto com o aumento da dosagem de quinoa e sua textura ficou menos macia com porcentagens acima de 5%. Entretanto, substituições entre 5 e 10% melhoraram o sabor dos bolos, descrito pelos provadores como agradável e com sabor de nozes em comparação ao controle (100% farinha de trigo), que foi considerado muito doce. Porém, o uso de 20 ou 30% de quinoa resultou em um leve sabor amargo detectado pelos provadores. O autor também observou que o miolo dos bolos ficou levemente mais escuro com o aumento da porcentagem de quinoa.

3.4. Bolos *high ratio*

As formulações de bolos *high-ratio* surgiram nos Estados Unidos após o desenvolvimento e aplicação do tratamento da farinha de trigo mole com cloro que permitiu a produção de bolos com formulações mais ricas, ou seja, com quantidades de açúcar e líquidos superiores à quantidade de farinha. Atualmente, são muito comuns na Austrália, América, Canadá e Reino Unido (ANSTIS, 1999; CATTERALL, 2001).

Este tipo de bolo conta com propriedades específicas da farinha clorada, sendo que dentre elas, a principal é a capacidade de sustentar a estrutura do bolo com altos níveis de açúcar e líquidos. A farinha clorada permite a produção de bolo mais claro, de textura mais fina, com miolo leve e sabor bastante doce, características que agradam os consumidores. Além disso, proporcionam uma redução de custo para o fabricante, que pode aumentar a quantidade de água adicionada à massa (ANSTIS, 1999).

Bolos *high-ratio* têm a vantagem de apresentar longa vida útil, pois os níveis de açúcar normalmente empregados permitem que a água presente na massa permaneça

ligada à estrutura do bolo, reduzindo o desenvolvimento de bolores e mantendo a umidade do miolo, o que dá uma percepção de produto fresco ao consumidor (ANSTIS, 1999).

Existem vários tipos de bolos *high-ratio*, na Tabela 3.4 encontram-se alguns exemplos de formulações.

Tabela 3.4. Formulações de bolos *high-ratio*.

Componentes	Proporção (% em relação à farinha)			
	<i>High-ratio yellow cake</i> ¹	<i>Layer cake</i> ²	<i>Pound cake</i> ² (bolo inglês)	<i>Sponge cake</i> ² (pão de ló)
Farinha de trigo	100	100	100	100
Açúcar	130	145	125	100
Gordura e emulsificante	75	60	100	--
Leite	85	--	--	100
Leite em pó desnatado	--	15	--	--
Ovos	75	70	100	166
Água	--	55	25	--
Sal	2	4	3	3
Fermento químico	5	6	2	3

Fonte: ¹Cauvain e Gough (1975); ²Prejean (2005).

4. Materiais e métodos

4.1. Materiais

4.1.1. Matérias-primas

- Farinha de trigo Cargill Plus (farinha A) e Cargill Biscoito (farinha B), fornecida pela Cargill Agrícola S/A. De acordo com o fabricante, a farinha A é proveniente da moagem de trigo mole, enquanto que a farinha B, de trigo duro. Inicialmente, o objetivo era trabalhar apenas com uma farinha fraca, porém a farinha B demonstrou características de farinha forte, conforme resultados que serão apresentados, posteriormente, nos itens 5.2.2 e 5.2.3. Portanto, optou-se por utilizar também a farinha A, que esperava-se que fosse fraca, mas isto também não se confirmou.
- Farinha integral de quinoa, fornecida pela Quinoa Real Brasil Ltda.
- Farinha de trigo tratada termicamente *Top Flight Snowdown* (farinha padrão), de origem inglesa, fornecida pela Zeelandia H. J. Doeleman b.v..
- Açúcar Cristal, fornecido pela Usina São João Açúcar e Álcool S/A.
- Emulsificantes Emulpals 110 e Emulpals 115, fornecidos pela Palsgaard AS.
Emulpals 110 é composto de amido, poliglicerol ésteres de ácidos graxos e mono e diglicerídios de ácidos graxos.
Emulpals 115 é composto dos mesmos ingredientes, acrescidos de polisorbato 80.
- Leite em pó, marca La Sereníssima.
- Bicarbonato de sódio, fornecido pela Plury Química Ltda.

- Pirofosfato ácido de sódio, fornecido pela Astaris Brasil Ltda.
- Ovos Pupo, tamanho médio.
- Desmoldante Carlo, fornecido pela Emulzint Ltda.

4.1.2. Equipamentos

- Forno de convecção (estufa de ar forçado), marca Nova Ética, modelo 400 ND (Vargem Grande Paulista, Brasil).
- Batedeira Amadio Tipo 20, Série LA (São Paulo, Brasil).
- Forno elétrico de teto e lastro Perfecta modelo Modulare (Curitiba, Brasil).

4.2. Métodos

4.2.1. Caracterização química, físico-química e reológica das farinhas de trigo e de quinoa

4.2.1.1. Composição centesimal

4.2.1.1.1. Umidade

O teor de umidade foi determinado por secagem da amostra, em triplicata, em estufa a 130°C por uma hora, segundo o método nº 44 -15A da AACC (1995).

4.2.1.1.2. Proteínas

O nitrogênio total foi determinado pela técnica de micro-Kjeldahl, segundo o método nº 46-13 da AACC (1995). Para a farinha de trigo, foi utilizado um fator igual a 5,7 para a conversão de nitrogênio em proteína, enquanto que para a farinha de quinoa, o fator foi de 6,25. As análises foram realizadas em triplicata.

4.2.1.1.3. Lipídios

A determinação de extrato etéreo foi realizada, em triplicata, de acordo com o método de Soxhlet (GURR, 1984).

4.2.1.1.4. Cinzas

A porcentagem de cinzas foi determinada, em triplicata, segundo o método nº 08-01 da AACC (1995), através de calcinação da amostra em mufla a 550°C até massa constante.

4.2.1.1.5. Fibra bruta

O teor de fibras totais foi determinado, em triplicata, pelo método ADF (*Acid Detergent Fibre*) (NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

4.2.1.1.6. Carboidratos

Foi calculado por diferença, não considerando o teor de fibra bruta.

4.2.1.2. Análises físicas e químicas

4.2.1.2.1. Cor

Foi determinada segundo o método de triestímulos (XYZ) com o sistema **L* a* b*** (MINOLTA, 1994), utilizando-se o espectrofotômetro *Color Quest II Hunterlab*. Os parâmetros significam: (i) **L**, medida da luminosidade de um material e varia do zero (para o preto) até o 100 (para o branco); (ii) **a**, medida do vermelho (**a** positivo) ou do verde (**a** negativo); (iii) **b**, medida do amarelo (**b** positivo) e do azul (**b** negativo).

4.2.1.2.2. Teor de glúten

Foi utilizado o equipamento *Glutomatic 2200 Perten Instruments* para a determinação da quantidade de glúten, de acordo com a metodologia descrita pelo fabricante. Foi determinado o teor de glúten úmido, que corresponde ao peso (%) da massa viscoelástica desenvolvida a partir de 10 g de farinha e 4,8 mL de solução salina (NaCl a 2%) e lavada com esta mesma solução, para a retirada do amido, proteínas solúveis, fibras e minerais. Em seguida, foi determinado o teor de glúten seco, correspondente ao peso (%) da massa lavada após sua secagem entre duas placas

aquecidas do *secador Glutork 2020*, a 150°C por 4 minutos. A proporção esperada de glúten úmido em relação ao glúten seco é de aproximadamente 3:1.

4.2.1.2.3. Número de queda

Foi determinado utilizando-se o aparelho *Falling Number Perten Instruments*, segundo o método nº 56-81B da AACC (1995), utilizando-se 7 g de amostra (corrigida para 14% de umidade), adicionada de 25 mL de água destilada, seguido de agitação vigorosa antes do início do teste.

4.2.1.2.4. Análise granulométrica

A distribuição granulometria das amostras foi determinada em um conjunto de peneiras vibratórias, marca PRODUTEST, seguindo-se o método oficial da AOAC nº 965.22 (1995), com modificações. A amostra (30 g) foi submetida ao equipamento com intensidade de vibração igual a 10 por 5 minutos. Foram utilizadas peneiras de aço inoxidável (5 X 2") de malhas com as seguintes aberturas: 1,70 mm (*mesh* 10); 0,85 mm (*mesh* 20); 0,60 mm (*mesh* 28); 0,42 mm (*mesh* 35); 0,21 mm (*mesh* 70) e 0,30 mm (*mesh* 100).

4.2.1.3. Análises reológicas

4.2.1.3.1. Perfil de viscosidade

As propriedades de pasta foram determinadas utilizando-se o *Rapid Visco Analyser* (RVA-3D+, Newport Scientific Pty. Ltda., Sidney, Austrália), com auxílio do programa *Thermocline for Windows*, segundo método descrito no manual do fabricante. As medidas de RVA foram realizadas utilizando-se 3 g de farinha (em base seca) suspensa em 25 mL de água. As misturas foram agitadas a 960 rpm por 10 segundos, e a 160 rpm durante o restante do teste. Os testes foram realizados em triplicata.

A seguir, na Tabela 4.1, é apresentado o programa de perfil de temperatura durante as análises no RVA.

Tabela 4.1. Parâmetros de operação do RVA na programação Standard 1 (Manual do Equipamento).

Tempo (min)	Variáveis (temperatura ou velocidade)	Valores (°C ou rpm)
00:00:00	Temperatura	50
00:00:00	Velocidade	960
00:00:10	Velocidade	160
00:01:00	Temperatura	50
00:04:42	Temperatura	95
00:07:12	Temperatura	95
00:11:00	Temperatura	50
Tempo total de ensaio		13 minutos

Foram analisados os seguintes parâmetros:

- *Temperatura de Pasta*: é a temperatura na qual a viscosidade aumenta pelo menos 2 RVU durante um período de 20 segundos, quando utilizado o programa *Standard 1*, dado pelo fabricante;

- *Viscosidade Máxima*: representa a viscosidade máxima atingida no primeiro pico da curva (cP);

- *Viscosidade Mínima a 95°C*: é o menor valor de viscosidade obtido após a viscosidade máxima (cP);

- *Retrogradação*: é a diferença entre as viscosidades final e mínima, estando ligado à retrogradação do amido (cP);

- *Viscosidade de Quebra*: é a diferença entre o valor das viscosidades máxima e mínima e está relacionada à resistência dos grânulos de amido ao cisalhamento (cP);

- *Viscosidade final (50°C)*: é a viscosidade no final do teste (cP).

4.2.1.3.2. Características farinográficas

As características farinográficas foram avaliadas de acordo com o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se Farinógrafo Brabender.

A partir do farinograma, foram analisados os seguintes parâmetros:

- *Absorção de água*: definida como a quantidade de água requerida (g/100g de farinha) para que a massa atinja a consistência ótima de 500 UF no ponto máximo (o centro da banda deve coincidir com a linha de 500 UF no pico da curva);

- *Tempo de chegada*: definido como o tempo em minutos requerido para que o topo da banda alcance a linha de 500 UF, a partir do início da adição de água;

- *Tempo de desenvolvimento*: definido como o tempo em minutos que a massa leva para atingir o ponto de máxima consistência, representado pelo pico máximo da curva;

- *Tempo de saída*: definido como o tempo em minutos requerido para que o topo da banda deixe a linha de 500 UF, a partir do início da adição de água.

- *Estabilidade*: definido como o intervalo de tempo, em minutos, no qual o topo da banda permanece acima da linha dos 500 UF.

- *Índice de tolerância à mistura*: calculado através da diferença em UF entre o pico máximo da curva e o topo da curva após 4 minutos da mesma ter atingido o pico máximo. Quanto maior essa diferença, menor a tolerância à mistura.

4.2.1.3.3. Características extensográficas

Foram determinadas as propriedades extensográficas das matérias-primas segundo o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender.

A partir do extensograma, foram analisados os seguintes parâmetros:

- *Resistência à extensão ou elasticidade (R)*: definida como a altura da curva em UE (Unidades Extensográficas) a 50 mm do seu início;

- *Resistência Máxima (R_m)*: corresponde à altura máxima da curva em UE;

- *Extensibilidade (E)*: definida como o comprimento em mm do início ao fim da curva;

- *Número Proporcional (D)*: calculado a partir da razão R_m/E.

4.2.2. Caracterização reológica das misturas de farinha de trigo e de quinoa

As misturas de cada uma das farinhas de trigo (farinha A e B) com 10, 20 ou 30% de farinha de quinoa (combinações definidas de acordo com o segundo planejamento que será apresentado, posteriormente, no item 4.2.4.2, Tabela 4.4) foram caracterizadas reologicamente de acordo com os procedimentos descritos anteriormente no item 4.2.1.3.

4.2.3. Testes preliminares para a produção de farinhas tratadas por extrusão e forno de convecção

4.2.3.1. Tratamento térmico das farinhas de trigo e de quinoa

Com o objetivo de avaliar previamente a influência de diferentes tratamentos térmicos, foram realizados testes utilizando dois diferentes equipamentos: (i) extrusor termoplástico e (ii) forno de convecção, para as farinhas de trigo e as misturas com a farinha de quinoa.

Foi realizado o pré-condicionamento das matérias-primas, adicionando-se água destilada sob agitação para se atingir a umidade desejada em cada ensaio. A amostra permaneceu por 24 horas sob refrigeração para a estabilização da umidade. Após este período, foi realizada uma nova determinação de umidade para se efetuar ajustes quando necessário.

4.2.3.1.1. Tratamento térmico por extrusão

Uma amostra da farinha B com 18% de umidade e 30% de farinha de quinoa foi extrudada em extrusor INBRAMAQ Labor PQ 30, de parafuso simples e com cinco zonas de aquecimento.

Os valores dos parâmetros de operação do extrusor foram:

- Rosca cônica de 2 entradas;
- Velocidade de rotação do parafuso: 50% (amperagem de 12 a 12,5);
- Vazão de alimentação: 80 g/min (calha em 50%);
- Matriz: 1 orifício de 3,1 mm;
- Submatriz: 23 orifícios de 4,9 mm;
- Temperatura da 1ª zona: 20 °C;
- Temperatura da 2ª zona: 50 °C;
- Temperatura da 3ª zona: 80 °C;
- Temperatura da 4ª zona: 100 °C;
- Temperatura da 5ª zona: 120 °C.

Após o processo de extrusão, a mistura de farinha de trigo e de quinoa extrudado foi seco em estufa com circulação e renovação de ar (TECNAL TE 394/2) a 50 °C até atingir conteúdo de umidade entre 8 e 12% (MIRANDA, 1998).

A amostra seca foi desintegrada em moinho de martelos (marca Tigre, modelo CV2) e, em seguida, moída em moinho de rolos Brabender Sênior, para redução e padronização da granulometria da farinha.

4.2.3.1.2. Tratamento térmico em forno de convecção

As amostras de farinha A e B com 14% de umidade foram distribuídas em bandejas de alumínio de 31 x 44 cm de modo a formar uma camada de farinha de aproximadamente 1 cm e, a seguir, sofreram tratamento térmico em forno de convecção a 150°C por 10 minutos (THOMASSON, MILLER e HOSENEY; 1995).

4.2.3.2. Aplicação das farinhas de trigo e quinoa tratadas termicamente em bolo “pão de ló”

As farinhas tratadas por extrusão e forno de convecção foram aplicadas em bolo “pão de ló” de acordo com o procedimento descrito posteriormente no item 4.2.5 e comparadas com as farinhas sem tratamento e farinha padrão (farinha *Top Flight Snowdown*).

Foram avaliadas como respostas: (i) peso específico da massa e (ii) altura do bolo “pão de ló”, de acordo com a metodologia que será descrita posteriormente no item 4.2.5.2.

4.2.4. Planejamento experimental

Com base na avaliação dos testes preliminares, decidiu-se trabalhar somente com o tratamento em forno de convecção, pois os resultados apresentados para a aplicação da mistura extrudada em bolo “pão de ló” foi inferior aos resultados das farinhas tratadas

em forno de convecção (conforme apresentado posteriormente nos resultados dos testes preliminares, item 5.3).

4.2.4.1. Tratamento térmico das farinhas de trigo A e B

O estudo dos parâmetros que afetam as propriedades das farinhas tratadas termicamente foi realizado utilizando-se planejamento experimental aplicado à metodologia de superfície de resposta.

Com o objetivo de avaliar os efeitos do tratamento térmico na farinha de trigo, foram realizados primeiramente dois planejamentos, um com a farinha A e o outro com a farinha B. Os planejamentos foram do tipo composto central rotacional 2^3 .

As variáveis independentes foram estabelecidas em 3 níveis codificados (-1; 0 e +1). Os valores reais correspondentes a estes níveis são apresentados na Tabela 4.2 e os valores codificados na Tabela 4.3.

Para cada tipo de farinha, foram realizados no total 18 tratamentos, sendo 8 pontos fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), 4 axiais (- α e + α) e 4 repetições no ponto central (0).

Tabela 4.2. Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento experimental.

Variáveis	Níveis de variação				
	- α	-1	0	+1	+ α
X ₁ - Tempo (minutos)	6,6	10	15	20	23,4
X ₂ - Temperatura (°C)	83	100	125	150	167
X ₃ - Umidade (% p/p)	8	9,6	12	14,4	16

Onde: $|\pm\alpha| = 1,68$

Tabela 4.3. Matriz do planejamento experimental com os valores codificados das variáveis independentes.

Ensaio	Variáveis independentes		
	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	$-\alpha$	0	0
10	$+\alpha$	0	0
11	0	$-\alpha$	0
12	0	$+\alpha$	0
13	0	0	$-\alpha$
14	0	0	$+\alpha$
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

Sendo: x_1 = Tempo de tratamento (minutos); x_2 = Temperatura da estufa (°C); x_3 = Umidade inicial da amostra (% p/p); $|\pm\alpha| = 1,68$

As farinhas foram aplicadas em bolo *high ratio* tipo pão de ló, conforme descrito posteriormente no item 4.2.5 e comparadas com as farinhas padrão e sem tratamento A e B.

As seguintes variáveis dependentes foram avaliadas: (i) peso específico da massa (g/mL); (ii) altura do bolo “pão de ló” (mm) e (iii) dureza instrumental (gf), de acordo com a metodologia descrita a seguir no item 4.2.5.2.

4.2.4.2. Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa

Misturas de farinha de trigo e de quinoa foram obtidos com a incorporação de 10, 20 e 30% de quinoa (em peso). A partir dos resultados do planejamento experimental (item 4.2.4.1), foram selecionadas as melhores condições de tratamento térmico para as farinhas A e B obtidas. Novos ensaios foram executados nestas condições utilizando as misturas e as farinhas de trigo (A e B), conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Ensaios de tratamento térmico de misturas de farinha de trigo A ou B e farinha de quinoa.

Ensaio	Tipo de Farinha	Condições de tratamento				Quinoa em substituição ao trigo (%)
		Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Umidade da mistura (%)		
1	A	0	150	--	0	
2	A	20	150	14,4	0	
3	A	20	150	14,4	10	
4	A	20	150	14,4	20	
5	A	20	150	14,4	30	
6	B	0	167	--	0	
7	B	15	167	12	0	
8	B	15	167	12	10	
9	B	15	167	12	20	
10	B	15	167	12	30	

As misturas tratadas foram aplicadas em bolo “pão de ló”, conforme descrito a seguir no item 4.2.5, e comparadas com a farinha de trigo padrão e as farinhas de trigo A e B não tratadas, de acordo com a metodologia que será descrita, posteriormente, no item 4.2.5.2.

As seguintes variáveis dependentes foram avaliadas: (i) peso específico da massa (g/mL); (ii) altura do bolo “pão de ló” (mm); (iii) encolhimento lateral do bolo; (iv) dureza instrumental (gf); (v) cor do miolo e (vi) estrutura do miolo.

4.2.5. Aplicação das farinhas de trigo e misturas com farinha de quinoa tratadas termicamente em bolo e sua caracterização

4.2.5.1. Aplicação das farinhas em bolo *high ratio* tipo pão de ló

As farinhas tratadas termicamente, obtidas nos testes preliminares e nos ensaios com planejamento experimental, foram aplicadas em bolo “pão de ló” de acordo com a formulação apresentada na Tabela 4.5. Em todos os testes, foi aplicada paralelamente uma farinha padrão, importada e tratada termicamente, específica para aplicação em bolo *high ratio* (*Top Flight Snowdown*). A formulação utilizada encontra-se na Tabela 4.5 e foi indicada pelo fornecedor da farinha padrão.

Primeiramente, foi determinada a quantidade de água das farinhas e misturas em balança de umidade Sartorius modelo MA 45. Durante a dosagem dos ingredientes, a quantidade de água adicionada foi corrigida com o objetivo de padronizar a umidade das farinhas para 14%.

Todos os ingredientes foram adicionados em batedeira planetária (marca Amadio, Tipo 20, Série LA (São Paulo, Brasil) e misturados na velocidade 1 (lenta) por 1 minuto, utilizando batedor tipo globo. Em seguida, a massa foi batida por 10 minutos na velocidade 3 (rápida) e por mais 1 minuto na velocidade 1.

Tabela 4.5. Formulação de bolo *high ratio* tipo pão de ló.

Ingredientes	Formulação*
Farinha de trigo (ou mistura tratada)	100
Açúcar	84,4
Leite em pó	2,9
Emulsificante Emulpals 110	10,8
Emulsificante Emulpals 115	2,7
Bicarbonato de sódio	1,1
Pirofosfato ácido de sódio	1,5
Ovos	142,2
Água	61,2

* % com relação à massa de farinha.

Foram distribuídos 400 g de massa por forma redonda de alumínio de 25 cm de diâmetro e 150 g por forma de 15 cm, todas untadas com desmoldante Carlo.

O forneamento foi realizado a 180°C por 35 minutos em forno elétrico de lastro e teto (marca Perfecta, modelo Modulare – Curitiba, Brasil).

4.2.5.2. Caracterização dos bolos

Após resfriamento e desenformagem, os bolos feitos em formas de 25 cm foram utilizados para as análises de altura, encolhimento e estrutura do miolo. Já, os feitos em formas de 15 cm foram utilizados para as análises de dureza instrumental e cor.

4.2.5.2.1. Peso específico da massa

O peso específico da massa de bolo foi determinado em triplicata de acordo com o procedimento nº 72-10 da AACC (1995).

4.2.5.2.2. Altura do bolo “pão de ló”

A altura do bolo foi medida, após resfriamento, cortando-o ao meio e sobrepondo uma metade sobre a outra, utilizando uma régua de 50 cm. Para cada bolo, foi calculada a média de 3 medidas: uma no centro e nas duas extremidades (AACC nº10-15, com modificações). As análises foram determinadas em triplicata (3 bolos).

4.2.5.2.3. Encolhimento lateral do bolo “pão de ló”

Foi determinado em triplicata pela razão do diâmetro do bolo, medido utilizando uma régua, pelo diâmetro da assadeira (25 cm).

4.2.5.2.4. Dureza instrumental do miolo

Os bolos foram previamente cortados em fatias de 1,25 cm cada, com um fatiador manual, composto de duas serras paralelas presas horizontalmente em um arco.

A dureza dos bolos foi avaliada em um texturômetro TA XT Plus *Texture Analyser* (marca *Stable Micro Systems*, Inglaterra) utilizando-se o método *AACC Cake Compression* - PAN1_P36R.PRJ, com célula sensor *probe* de alumínio P 36/R e com os seguintes parâmetros de operação: velocidade pré-teste = 1,0 m/s, velocidade de teste = 1,7 m/s, velocidade pós-teste = 10,0 m/s, força = 5 g, ciclo de contagem = 5 segundos e com medida de força em compressão.

Esta análise foi realizada utilizando duas fatias centrais sobrepostas. As análises foram realizadas em 8 replicatas.

4.2.5.2.5. Cor do miolo

Foi determinada em triplicata, segundo o método de triestímulos (XYZ) com o sistema $L^* a^* b^*$ (MINOLTA, 1994), descrito anteriormente.

4.2.5.2.6. Estrutura do miolo

Com o objetivo de ilustrar o comportamento da estrutura do miolo dos pães de ló, foram feitas fotografias de fatias centrais de 2 cm, cortadas em fatiador composto de duas serras paralelas presas horizontalmente em um arco.

Foi utilizada câmera digital Sony W5 5.1 mega pixels, no modo automático, com macro e sem flash. A câmera foi colocada em um suporte de modo que as fatias ficassem a 9 cm da lente.

5. Resultados e discussão

5.1. Caracterização das matérias-primas

5.1.1. Composição centesimal

Os resultados obtidos relativos à composição centesimal das farinhas estudadas encontram-se na Tabela 5.1.

Os valores obtidos para os teores dos diferentes componentes químicos das farinhas A e B estão de acordo com os encontrados na literatura (DENDY e DOBRASCZYK, 2001). A farinha padrão apresentou um teor protéico cerca de 22% inferior às demais farinhas de trigo estudadas. Conforme informado pelo fornecedor, a farinha padrão é submetida a um tratamento (*air classification*) que reduz a quantidade protéica da mesma antes da modificação física. O laudo encaminhado em conjunto com a farinha apresenta teor protéico de 8,2%, o que corresponde a um valor 13% inferior ao apresentado na Tabela 5.1 (ZEELANDIA, 2006). Os demais valores apresentados no laudo são: 1,5% de lipídios, 79,9% de carboidratos (incluindo 3,3% de fibras), 0,1% de minerais e 7,0% de umidade.

Os valores de composição centesimal da farinha de quinoa estão de acordo com os encontrados na literatura para o grão, com exceção das proteínas e fibras (GONZALEZ et al., 1989; DINI et al., 1992; RUALES e NAIR, 1992; RANHOTRA et al., 1993; CHAUHAN, ESKIN e TKACHUK, 1992). O teor protéico apresentado, igual a 9,46%, é inferior ao mínimo detectado para o grão por esses autores (11,2%), provavelmente, o processamento do grão para a obtenção da farinha ocasionou perdas neste componente.

Chauan, Zillman e Eskin (1992) observaram perda de até 62% no teor de proteínas do grão de quinoa após a remoção da casca e obtenção de farinha. O mesmo pode ser observado para o teor de fibras, que foi de 0,92% para a farinha estudada e a literatura estabelece um mínimo de 2,2% para o grão.

Tabela 5.1. Composição centesimal das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa**.

Componente	Farinha de trigo			Farinha de quinoa
	Padrão	A	B	
Umidade (%)	10,72 ± 0,01 ^c	12,84 ± 0,03 ^a	12,59 ± 0,03 ^b	10,21 ± 0,01 ^d
Proteínas (%)	9,28 ± 0,10 ^b	11,80 ± 0,38 ^a	12,14 ± 0,41 ^a	9,46 ± 0,80 ^b
Lipídios (%)	0,52 ± 0,02 ^c	1,37 ± 0,38 ^b	0,77 ± 0,04 ^{bc}	6,96 ± 0,04 ^a
Cinzas (%)	0,36 ± 0,07 ^d	0,93 ± 0,03 ^b	0,71 ± 0,00 ^c	2,22 ± 0,02 ^a
Fibras (%)	0,09 ± 0,03 ^c	0,50 ± 0,11 ^b	0,20 ± 0,05 ^c	0,92 ± 0,05 ^a
Carboidratos(%)	79,12	73,06	73,79	71,15

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-d} Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

5.1.2. Análises físicas e químicas

5.1.2.1. Cor

A Tabela 5.2 apresenta os resultados de cor para as farinhas utilizadas no projeto. A farinha padrão apresentou-se significativamente mais clara que as demais (L^* de 94,50) e a quinoa significativamente mais escura (L^* de 83,19). As farinhas A e B apresentaram valores intermediários aos anteriores (L^* de 90,74 e 90,31, respectivamente) e não diferiram entre si.

A farinha padrão apresentou leve coloração esverdeada, conforme o resultado negativo obtido para o parâmetro a^* , diferindo significativamente das demais. Estas apresentaram a^* positivo (vermelho) e não diferiram entre si.

Todas as farinhas apresentaram coloração amarelada, já que os resultados obtidos para o parâmetro b^* foram todos positivos. Porém, todas as amostras diferiram entre si, sendo que a quinoa foi a farinha que apresentou coloração mais amarela. Em seguida, foram as farinhas A, B e, por fim, a farinha padrão, que apresentou o menor valor para o parâmetro b^* .

Os resultados de cor obtidos para as farinhas de trigo ficaram dentro da faixa de valores encontrados na literatura.

Ibanoglu (2002) encontrou o valor de 97,3 para L^* , 1,1 para a^* e 5,3 para b^* , utilizando sistema Hunter $L^*a^*b^*$. Gökmen e Senyuva (2005) obtiveram resultados ao redor de 90, 0 (zero) e 8 para L^* , a^* e b^* , respectivamente, ao analisar a cor da farinha de trigo utilizando o sistema CIE $L^*a^*b^*$.

Tabela 5.2. Cor das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa**.

Parâmetros de Cor	Farinha de trigo			Farinha de quinoa
	Padrão	A	B	
L^*	$94,50 \pm 0,01^a$	$90,74 \pm 0,01^b$	$90,31 \pm 0,10^b$	$83,19 \pm 0,90^c$
a^*	$-0,28 \pm 0,00^b$	$0,61 \pm 0,01^a$	$0,58 \pm 0,03^a$	$0,89 \pm 0,36^a$
b^*	$7,50 \pm 0,02^d$	$10,15 \pm 0,03^b$	$9,11 \pm 0,13^c$	$19,19 \pm 0,70^a$

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-d} Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

5.1.2.2. Teor de glúten

Como pode ser observado na Tabela 5.3, todas as amostras apresentaram diferença significativa entre si com relação ao teor de glúten úmido, sendo que a farinha B obteve valor 40% superior à farinha padrão. Já, com relação ao glúten seco, a farinha A não apresentou diferença significativa da farinha B e ambas apresentaram valores aproximadamente 48% superiores à farinha padrão.

De acordo com Biondi (2003), a farinha de trigo destinada à produção de pão (farinha forte) deve conter no mínimo 11% de proteína de boa qualidade, valores próximos aos obtidos para o teor de glúten das farinhas A e B. Em farinhas para bolo, o percentual indicado é de 8% (BENNION e BAMFORD, 1973).

Tabela 5.3. Teor de glúten das farinhas de trigo (A e B)**.

Propriedades	Farinha de trigo		
	Padrão	A	B
Glúten úmido (%)	22,3 ± 0,8 ^c	27,5 ± 0,5 ^b	31,3 ± 0,5 ^a
Glúten seco (%)	7,5 ± 0,5 ^b	11,1 ± 0,6 ^a	11,2 ± 0,3 ^a

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-c} Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

5.1.2.3. Número de queda

Conforme apresentado na Tabela 5.4, as farinhas de trigo estudadas apresentaram valores significativamente diferentes para o número de queda, sendo que a farinha B apresentou a maior atividade enzimática e a farinha padrão a menor.

O alto valor apresentado pela farinha padrão (388 s) se deve provavelmente à inativação enzimática ocorrida durante sua modificação por tratamento térmico.

As farinhas padrão e A apresentaram valor de número de queda superiores a 300, o que indica que precisariam da adição de enzima α -amilase caso fossem utilizadas em panificação. Já, a farinha B apresentou valor entre 200 e 300 s, faixa considerada ideal para aplicação em pães (BIONDI, 2003). Para aplicações em processos que não envolvem fermentação biológica, o valor do número de queda não é importante. Na produção de bolos, geralmente, a atividade enzimática não apresenta efeito devido ao curto tempo entre as etapas de batimento da massa e forneamento (PYLER, 1988).

Ibanoglu (2002), em pesquisa realizada na Turquia, encontrou o valor de 223 s para farinha de trigo mole e 285 s para farinha de trigo duro, valores que indicam atividade enzimática mais próxima da farinha B.

Tabela 5.4. Número de queda das farinhas de trigo padrão, A e B**.

Parâmetro	Farinha de trigo		
	Padrão	A	B
Número de Queda (s)	388,7 \pm 10,1 ^a	304,5 \pm 7,3 ^b	214,0 \pm 5,2 ^c

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-c} Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

5.1.2.4. Análise granulométrica

Pela Tabela 5.5, pode ser observado que as farinhas A e B possuem o mesmo perfil granulométrico, não apresentando diferença significativa em nenhuma das malhas utilizadas. Os resultados mostraram maior percentual de retenção até a peneira de malha

de 0,21 mm (aproximadamente 93%) e não foram observadas partículas com diâmetros superiores a 0,85 mm.

Tabela 5.5. Granulometria (% de retenção) das farinhas de trigo (padrão, A e B) e de quinoa**.

	Padrão	A	B	Quinoa
Mesh 10 (1,70 mm)	0,00 ± 0,00 ^{ns}			
Mesh 20 (0,85 mm)	20,47 ± 0,91 ^a	0,00 ± 0,00 ^c	0,00 ± 0,00 ^c	5,71 ± 1,59 ^b
Mesh 28 (0,60 mm)	31,10 ± 0,94 ^a	1,28 ± 0,93 ^b	4,14 ± 4,10 ^b	1,08 ± 0,17 ^b
Mesh 35 (0,42 mm)	3,71 ± 0,21 ^a	1,41 ± 0,17 ^b	2,57 ± 0,77 ^{ab}	2,47 ± 0,41 ^{ab}
Mesh 70 (0,21mm)	35,22 ± 0,86 ^c	90,10 ± 4,26 ^a	86,41 ± 3,97 ^a	47,70 ± 2,40 ^b
Mesh 100 (0,03 mm)	9,81 ± 1,15 ^b	3,28 ± 1,71 ^b	2,86 ± 0,45 ^b	47,40 ± 8,04 ^a
Fundo	0,00 ± 0,00 ^a	5,61 ± 4,03 ^a	3,37 ± 1,01 ^a	6,44 ± 1,38 ^a

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-c} Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey. ^{ns} Não significativo.

A farinha padrão apresentou perfil de granulometria com faixa de distribuição mais ampla e presença de maior quantidade de partículas de tamanhos superiores às encontradas para as farinhas A e B. Cerca de 90% das partículas apresentaram tamanho superior a 0,21 mm, valor bem próximo ao obtido para as farinhas A e B, porém cerca de 20% possuem tamanho superior a 0,85 mm.

Já, a farinha de quinoa apresentou maior retenção de partículas nas peneiras de 0,21 e 0,03 mm, indicando presença de maior número de partículas de diâmetro menor do que as obtidas para as farinhas A e B. Este fato, provavelmente, está relacionado ao

menor tamanho dos grânulos do amido de quinoa e menor tendência de formação de conglomerados (LORENZ, 1990).

Nenhuma das farinhas analisadas apresentou partículas de diâmetro superior a 1,70 mm.

5.2. Caracterização reológica das farinhas de trigo e de quinoa e suas misturas

5.2.1. Perfil de viscosidade

Os gráficos com os perfis de viscosidade das farinhas utilizadas neste trabalho podem ser encontrados no Apêndice A.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.6, pôde ser observado que os resultados de viscosidade máxima variaram de 388 a 1082 cP. As farinhas padrão, A e a mistura da farinha A com 10% de quinoa apresentaram as maiores viscosidades máximas, enquanto que a farinha B e suas misturas com quinoa apresentaram os menores valores (40 a 60% inferiores ao padrão). A farinha de quinoa apresentou um valor intermediário, não diferindo significativamente da farinha B. Isto significa que a incorporação de farinha de quinoa à farinha de trigo não altera significativamente sua viscosidade máxima.

O valor de viscosidade de quebra está relacionado à resistência dos grânulos de amido ao cisalhamento, sendo que quanto maior é o seu valor, menos resistente é o amido. Os valores encontrados mostram que a farinha A apresentou o maior valor (706 cP), enquanto que a farinha de quinoa apresentou o menor (33 cP). As farinhas B e

padrão apresentaram valores intermediários, porém diferentes entre si (561 e 457 cP, respectivamente). A incorporação da quinoa na farinha de trigo proporcionou uma melhora na resistência ao cisalhamento das farinhas de trigo, sendo que este efeito foi maior na farinha B, apresentando redução de 53% em média no valor da viscosidade de quebra. Para a farinha A, esta redução foi de aproximadamente 23%.

As farinhas padrão, A e suas misturas apresentaram os maiores valores de retrogradação, aproximadamente 65% maior que o amido da farinha B e suas misturas. Mais uma vez, a farinha de quinoa apresentou um resultado melhor, já que a retrogradação é indesejável em bolos. Seu valor foi de 153 cP.

Os valores de temperatura de pasta variaram entre 72,3 e 88,3°C, porém não apresentaram diferença significativa entre si. Takeda (2004) encontrou valor próximo para a temperatura de pasta de farinha de trigo (74°C), obtido em viscoamilógrafo Brabender.

Atwell et al. (1983) relataram uma temperatura de pasta na faixa de 57 a 64°C para o amido de quinoa, faixa diferente do valor encontrado para a farinha de quinoa utilizada nos testes. Estes autores ainda afirmaram que o amilograma característico de amido de quinoa apresenta viscosidade substancialmente diferente comparada à dos amidos de trigo e cevada (ATWELL et al., 1983), o que só foi observado comparando-se a farinha de quinoa com a farinha A. A farinha B apresentou maiores valores de viscosidade.

Tabela 5.6. Perfil de viscosidade das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa**.

Amostras	Viscosidade	Viscosidade	Viscosidade de	Retrogradação	Viscosidade	Temperatura de
	Máxima (cP)	Mínima (cP)	Quebra (cP)	(cP)	Final (cP)	Pasta (°C)
Padrão	1082 ± 16 ^a	625 ± 9 ^a	457 ± 25 ^d	574 ± 30 ^a	1198 ± 22 ^a	83,8 ± 0,7 ^a
Quinoa	714 ± 47 ^d	681 ± 45 ^a	33 ± 4 ^g	153 ± 5 ^d	834 ± 49 ^c	83,9 ± 0,7 ^a
Farinha A	1036 ± 7 ^{abc}	330 ± 7 ^d	706 ± 8 ^a	558 ± 5 ^a	888 ± 8 ^c	73,1 ± 6,4 ^a
Farinha A + 10% Quinoa	1057 ± 16 ^{ab}	450 ± 14 ^c	607 ± 6 ^b	561 ± 28 ^a	1011 ± 42 ^b	82,9 ± 0,8 ^a
Farinha A + 20% Quinoa	970 ± 17 ^c	423 ± 16 ^c	547 ± 7 ^c	568 ± 7 ^a	991 ± 21 ^b	72,4 ± 7,1 ^a
Farinha A + 30% Quinoa	997 ± 32 ^{bc}	527 ± 45 ^b	470 ± 15 ^d	594 ± 16 ^a	1121 ± 30 ^a	79,9 ± 6,9 ^a
Farinha B	653 ± 11 ^d	92 ± 2 ^e	561 ± 11 ^c	258 ± 6 ^b	350 ± 7 ^d	79,4 ± 0,3 ^a
Farinha B + 10% Quinoa	416 ± 9 ^e	134 ± 4 ^e	282 ± 6 ^e	156 ± 8 ^d	290 ± 12 ^d	86,2 ± 0,5 ^a
Farinha B + 20% Quinoa	388 ± 16 ^e	116 ± 1 ^e	272 ± 16 ^{ef}	192 ± 7 ^{cd}	308 ± 7 ^d	82,8 ± 7,9 ^a
Farinha B + 30% Quinoa	388 ± 5 ^e	151 ± 4 ^e	237 ± 3 ^f	214 ± 13 ^{bc}	365 ± 14 ^d	88,3 ± 0,9 ^a

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-g} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de p≤0,05; de acordo com o Teste de Tukey.

5.2.2. Características farinográficas

A classificação de farinhas de trigo quanto à força do glúten (BIONDI, 2003) é apresentada na Tabela 5.7. Os farinogramas estão apresentados no Apêndice B.

Tabela 5.7. Classificação de farinhas de trigo quanto à força, de acordo com suas características farinográficas.

Farinha	Absorção de Água (%)	Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	ITM (UF)
Fraca	<55	<2,5	<3	>100
Média	54-60	2,5-40	3-8	60-100
Forte	>58	4,0-8,0	8-15	15-50
Muito Forte	>58	>10,0	>15	<10

Fonte: Biondi (2003). UF = Unidades Farinográficas.

Os resultados obtidos na análise farinográfica para as farinhas de trigo (padrão, A e B) e misturas com quinoa podem ser encontrados na Tabela 5.8. e mostram que as farinhas de trigo estudadas são classificadas como fortes.

Com relação ao tempo de desenvolvimento, as farinhas padrão, A e B não diferiram entre si, apresentando valores entre 7,5 e 8,0 minutos. Porém, a farinha A apresentou alta tolerância ao batimento, conforme pôde ser observado pelos valores de ITM (índice de tolerância à mistura), indicando que é mais forte que a farinha B e padrão.

Tabela 5.8. Características farinográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa**.

Amostras	Absorção de Água (%)	Tempo de Chegada (min)	Tempo de Desenvolvimento (min)	Tempo de Saída (min)	Estabilidade (min)	ITM (UF)
Padrão	64,0	1,5 ± 0,0 ^a	7,5 ± 0,4 ^{cd}	10,2 ± 0,2 ^e	8,7 ± 0,2 ^d	23,3 ± 0,4 ^{ef}
Farinha A	65,6	1,0 ± 0,0 ^c	8,0 ± 0,8 ^{bc}	17,8 ± 0,6 ^a	16,8 ± 0,6 ^a	6,7 ± 4,7 ^f
Farinha A + 10% Quinoa	66,7	1,3 ± 0,1 ^{ab}	9,8 ± 0,1 ^a	15,2 ± 0,5 ^b	13,8 ± 0,4 ^b	36,7 ± 4,7 ^{de}
Farinha A + 20% Quinoa	68,8	1,0 ± 0,2 ^c	9,0 ± 0,0 ^{ab}	11,8 ± 0,2 ^{cd}	10,8 ± 0,4 ^c	50,0 ± 0,0 ^{cd}
Farinha A + 30% Quinoa	70,0	1,2 ± 0,1 ^{bc}	8,5 ± 0,0 ^{bc}	10,7 ± 0,2 ^{de}	9,5 ± 0,4 ^d	66,7 ± 4,7 ^c
Farinha B	63,5	1,5 ± 0,0 ^{ab}	8,0 ± 0,0 ^{bc}	12,8 ± 0,2 ^c	11,4 ± 0,3 ^c	36,7 ± 0,0 ^{de}
Farinha B + 10% Quinoa	65,0	1,5 ± 0,0 ^a	6,5 ± 0,4 ^{de}	10,0 ± 0,4 ^e	8,5 ± 0,4 ^d	60,0 ± 0,4 ^c
Farinha B + 20% Quinoa	66,5	1,5 ± 0,0 ^a	5,9 ± 0,1 ^e	8,5 ± 0,0 ^f	7,0 ± 0,0 ^e	86,7 ± 0,1 ^b
Farinha B + 30% Quinoa	68,2	1,5 ± 0,0 ^{ab}	5,5 ± 0,4 ^e	7,3 ± 0,2 ^g	5,8 ± 0,2 ^e	106,7 ± 0,4 ^a

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-g} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey. UF = Unidades Farinográficas.

Foi observado o aumento da absorção de água da farinha de trigo com a incorporação da farinha de quinoa, aumentando cerca de 5% nas misturas com 30% de quinoa em comparação com a farinha de trigo pura. Isto, provavelmente, se deve ao maior teor de fibras presente na farinha de quinoa, como pôde ser observado para os resultados de composição centesimal (Tabela 5.1) e, adicionalmente, ao maior teor de amido danificado em relação à farinha de trigo (Chauhan, Zillman e Eskim, 1992).

Para a farinha A, a incorporação de quinoa aumentou o tempo de desenvolvimento em até 23% (com 10% de quinoa). Já, para a farinha B, o tempo de desenvolvimento sofreu uma queda de até 31% (com 30% de quinoa). Uma hipótese para esta diferença é o fato da farinha A apresentar glúten mais forte que a farinha B, fazendo com que a farinha adicionada de quinoa até 10% obtivesse resultado semelhante à farinha B pura.

Os valores de estabilidade caíram tanto para a farinha A (de 17 para 9,5 minutos) como para a farinha B (de 11 a 5,8 minutos) em função da incorporação de quinoa.

Os valores de ITM confirmam que a adição da farinha de quinoa reduz a força da farinha de trigo, atuando como diluente do glúten, já que é observado um aumento no seu valor com o aumento na porcentagem de substituição.

Chauhan, Zillman e Eskim (1992) também verificaram que o uso de farinha de quinoa adicionada à farinha de trigo causa alterações nas propriedades reológicas da massa. Com o aumento da sua dosagem, os autores observaram um aumento da absorção de água e atribuíram tal ocorrência ao fato da farinha de quinoa utilizada nos experimentos apresentar maior teor de amido danificado que a farinha de trigo. Observaram também que o aumento da porcentagem de farinha de quinoa causou um decréscimo no tempo de desenvolvimento da massa e que dosagens a partir de 20% aumentaram significativamente o índice de tolerância à mistura, indicando que altas dosagens de farinha de quinoa adicionadas à farinha de trigo reduzem a força da massa.

5.2.3. Características extensográficas

De acordo com Biondi (2003), em geral, farinhas fortes apresentam valores de número proporcional (D) maiores que 2,5, enquanto que farinhas fracas apresentam D inferior a 1,0. Já, os valores característicos de resistência à extensão (R), resistência máxima (Rm) e extensibilidade (E) para farinhas fortes e fracas são, respectivamente: 560 e 130 UE; 840 e 130 UE e 155 e 180 mm.

As farinhas padrão e A apresentam valores de D superiores a 2,5, como pode ser observado nas Tabelas 5.9 a 5.11. Portanto, são classificadas como farinha forte, diferente da farinha B, que apresenta valores inferiores a 2,5 para os tempos de 45 e 90 minutos. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos de características farinográficas, em que a farinha A apresenta maior força de glúten.

Tabela 5.9. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (45 minutos)**.

Amostras	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
Padrão	320 ± 8 ^a	397 ± 5 ^b	122 ± 2 ^e	3,24 ± 0,09 ^a
Farinha A	313 ± 9 ^a	480 ± 8 ^a	183 ± 2 ^a	2,63 ± 0,02 ^b
Farinha A + 10% Quinoa	230 ± 8 ^b	350 ± 8 ^c	161 ± 3 ^b	2,17 ± 0,02 ^c
Farinha A + 20% Quinoa	213 ± 12 ^b	273 ± 5 ^{de}	146 ± 3 ^c	1,87 ± 0,05 ^{cd}
Farinha A + 30% Quinoa	170 ± 8 ^c	210 ± 8 ^f	131 ± 2 ^{de}	1,61 ± 0,09 ^d
Farinha B	210 ± 0 ^b	317 ± 5 ^{cd}	175 ± 5 ^a	1,81 ± 0,07 ^{cd}
Farinha B + 10% Quinoa	227 ± 5 ^b	277 ± 5 ^{de}	148 ± 4 ^c	1,87 ± 0,09 ^{cd}
Farinha B + 20% Quinoa	217 ± 5 ^b	270 ± 8 ^e	141 ± 1 ^{cd}	1,92 ± 0,07 ^{cd}
Farinha B + 30% Quinoa	140 ± 14 ^c	153 ± 33 ^g	100 ± 5 ^f	1,53 ± 0,30 ^d

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-g} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey. R = Resistência à extensão ou elasticidade; Rm = Resistência Máxima; E = Extensibilidade; D = Número Proporcional. UE = Unidades Extensográficas.

Tabela 5.10. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (90 minutos) **.

Amostras	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
Padrão	437 ± 5 ^a	533 ± 9 ^a	113 ± 2 ^d	4,72 ± 0,02 ^a
Farinha A	350 ± 8 ^b	520 ± 16 ^{ab}	167 ± 2 ^{ab}	3,11 ± 0,12 ^b
Farinha A + 10% Quinoa	273 ± 5 ^c	457 ± 5 ^{bc}	162 ± 2 ^b	2,82 ± 0,04 ^{bc}
Farinha A + 20% Quinoa	230 ± 0 ^d	310 ± 8 ^{de}	133 ± 2 ^c	2,33 ± 0,08 ^{cde}
Farinha A + 30% Quinoa	243 ± 5 ^{cd}	290 ± 8 ^e	107 ± 2 ^{de}	2,71 ± 0,10 ^{bcd}
Farinha B	257 ± 17 ^{cd}	423 ± 21 ^d	176 ± 3 ^a	2,41 ± 0,10 ^{cde}
Farinha B + 10% Quinoa	267 ± 12 ^{cd}	357 ± 33 ^d	158 ± 6 ^b	2,25 ± 0,13 ^{de}
Farinha B + 20% Quinoa	273 ± 21 ^c	357 ± 17 ^d	134 ± 2 ^c	2,67 ± 0,16 ^{bcde}
Farinha B + 30% Quinoa	177 ± 17 ^e	200 ± 28 ^f	96 ± 4 ^e	2,11 ± 0,38 ^e

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-f} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$ de acordo com o Teste de Tukey. R = Resistência à extensão ou elasticidade; Rm = Resistência Máxima; E = Extensibilidade; D = Número Proporcional. UE = Unidades Extensográficas.

Tabela 5.11. Características extensográficas das farinhas de trigo (padrão, A e B) e das misturas com farinha de quinoa (135 minutos) **.

Amostras	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
Padrão	440 ± 16 ^a	590 ± 8 ^a	126 ± 3 ^c	4,70 ± 0,10 ^a
Farinha A	300 ± 0 ^{cd}	533 ± 9 ^{ab}	163 ± 2 ^{ab}	3,28 ± 0,09 ^b
Farinha A + 10% Quinoa	263 ± 5 ^{de}	423 ± 17 ^c	151 ± 3 ^b	2,81 ± 0,16 ^{bc}
Farinha A + 20% Quinoa	263 ± 5 ^{de}	387 ± 9 ^c	124 ± 1 ^c	3,12 ± 0,07 ^b
Farinha A + 30% Quinoa	250 ± 8 ^e	310 ± 8 ^{de}	102 ± 2 ^d	3,03 ± 0,14 ^{bc}
Farinha B	323 ± 17 ^c	523 ± 31 ^b	169 ± 5 ^a	3,09 ± 0,20 ^b
Farinha B + 10% Quinoa	287 ± 25 ^{cde}	403 ± 12 ^c	164 ± 1 ^a	2,46 ± 0,06 ^c
Farinha B + 20% Quinoa	380 ± 0 ^b	360 ± 33 ^{cd}	127 ± 1 ^c	2,83 ± 0,23 ^{bc}
Farinha B + 30% Quinoa	257 ± 9 ^{de}	277 ± 21 ^e	98 ± 7 ^d	2,84 ± 0,35 ^{bc}

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-e} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$ de acordo com o Teste de Tukey. R = Resistência à extensão ou elasticidade; Rm = Resistência Máxima; E = Extensibilidade; D = Número Proporcional. UE = Unidades Extensográficas.

A incorporação de quinoa reduziu a força das farinhas, como pode ser observado nos valores de Rm. Com a dosagem de 30%, a redução foi em média de 45% para o tempo de 135 minutos. O mesmo efeito pôde ser observado para a extensibilidade, com reduções da ordem de 40% para o mesmo tempo de descanso da massa. Isto confirma que a quinoa atuou com diluente do glúten, reduzindo a força da massa.

5.3. Testes preliminares para produção de farinhas tratadas por extrusão e forno de convecção e sua aplicação em bolo “pão de ló”

Os resultados obtidos nos ensaios preliminares para avaliar o efeito da aplicação das farinhas tratadas termicamente na qualidade de bolo “pão de ló” (peso específico da massa e altura do bolo) e sua comparação com as farinhas padrão e sem tratamento podem ser encontrados na Tabela 5.12.

Os valores de peso específico das massas de bolo obtidas com as farinhas padrão, sem tratamento e tratadas em forno de convecção variaram entre 0,286 e 0,309 g/mL. A mistura extrudada resultou em uma massa de bolo com peso específico de 0,840g/mL, bem maior que as demais. De acordo com Takeda (1994), o peso específico esperado para a massa de bolo “pão de ló” é de aproximadamente 0,40 g/mL.

Os resultados de altura não variaram significativamente para as farinhas padrão, sem tratamento e tratadas em forno de convecção, apresentando valores ao redor de 8 cm. A altura do bolo obtido com a mistura extrudada foi bem menor que as demais (3,46 cm).

Tabela 5.12. Valores de peso específico e altura do bolo “pão de ló” obtidos nos testes preliminares**.

Amostras	Peso específico da massa (g/mL)	Altura do bolo (cm)
Padrão	0,292 ± 0,002 ^{de}	8,09 ± 0,08 ^a
Farinha A sem Tratamento	0,309 ± 0,002 ^b	8,01 ± 0,12 ^a
Farinha A Tratada Termicamente ⁽¹⁾	0,302 ± 0,001 ^{bc}	8,06 ± 0,20 ^a
Farinha B sem Tratamento	0,299 ± 0,001 ^{cd}	8,04 ± 0,09 ^a
Farinha B Tratada Termicamente ⁽¹⁾	0,286 ± 0,001 ^e	8,23 ± 0,18 ^a
Mistura Extrudada ⁽²⁾	0,840 ± 0,004 ^a	3,46 ± 0,13 ^b

(1) Forno de convecção, 150°C, 10 minutos, 14% de umidade. (2) Extrusor, 120°C (temperatura máxima), 70% farinha de trigo e 30% farinha de quinoa, 18% umidade, farinha B. **Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-e} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

Para as duas respostas estudadas, os valores obtidos para a mistura extrudada foram extremamente diferentes e piores que os valores apresentados pelos demais tratamentos. Estes resultados se devem provavelmente à gelatinização excessiva do amido presente na mistura, confirmada pela análise do seu perfil de viscosidade em RVA (Tabela 5.13), na qual não foi possível determinar a temperatura de pasta devido à alta viscosidade inicial (Figura 5.1). Isto resultou numa maior absorção de água da massa de bolo “pão de ló”, fazendo com que a mesma ficasse mais consistente e com menor capacidade de aeração, contribuindo para que o valor de peso específico da massa ficasse extremamente alto. A falta de aeração também prejudicou o volume do bolo, representado pelo baixo valor de altura encontrado.

De acordo com os valores obtidos para a mistura extrudada, foi constatada a inviabilidade de uso do processo de extrusão, dentro das condições disponíveis, para tratamento térmico de mistura de farinha de trigo e quinoa para aplicação em bolo “pão de ló”.

Kim e Rottier (1980) obtiveram bolo “pão de ló” de excelente qualidade utilizando-se farinha de trigo pré-gelatinizada em extrusor de rosca única com 30% de umidade e temperatura de 60°C. Porém, tal condição de temperatura não tornou possível a passagem do produto pelo equipamento disponível para a realização deste trabalho.

Thomasson, Miller e Roseney (1995) obtiveram resultados satisfatórios na aplicação de tratamento térmico em forno de convecção, com o objetivo de substituir a cloração da farinha de trigo.

Tabela 5.13. Perfil de viscosidade obtido em RVA para a mistura extrudada**.

Parâmetros	Valores
Temperatura de pasta (°C)	n.d.
Viscosidade máxima (cP)	473 ± 30
Viscosidade mínima a 95°C (cP)	274 ± 39
Retrogradação (cP)	152 ± 11
Viscosidade de quebra (cP)	199 ± 36
Viscosidade a 50°C (cP)	426 ± 35

**Média e desvio padrão de triplicatas. n.d. = não detectado.

Graphical Analysis Results - 20060728

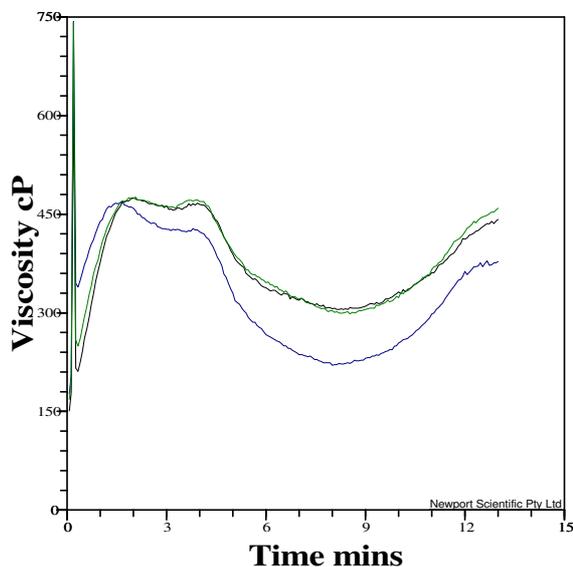


Figura 5.1. Perfil de viscosidade das amostras (triplicata) da mistura extrudada (70% farinha de trigo e 30% farinha de quinoa).

Tendo em vista os resultados obtidos, foi dada seqüência ao trabalho com a definição dos planejamentos baseados no tratamento da farinha de trigo e misturas com farinha de quinoa em forno de convecção.

5.4. Tratamento térmico das farinhas de trigo A e B

5.4.1. Farinha de trigo A

Os resultados obtidos para o planejamento experimental com a farinha A estão apresentados na Tabela 5.14 e a análise dos efeitos para cada uma das variáveis dependentes encontram-se nas Tabelas 5.15, 5.16 e 5.17.

De acordo com a Tabela 5.14, os resultados de peso específico da massa para os 18 ensaios variaram de 0,317 a 0,349 g/mL. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 0,341 a 0,348 g/mL e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 0,340 g/mL, sendo todos os valores muito próximos. Apesar de alguns efeitos serem estatisticamente significativos para esta resposta (umidade linear e quadrática e a interação tempo x umidade, que apresentaram p-valor menor que 0,05, de acordo com a Tabela 5.15), os valores são de magnitude bastante inferior quando comparados à média. Isto se deve ao fato do erro puro ser muito baixo. Portanto, constatou-se que não é possível estabelecer um modelo de superfície de resposta para o peso específico em função das variáveis independentes estudadas.

Em relação à análise pela metodologia de superfície de resposta, as respostas altura do bolo e dureza instrumental não apresentaram efeito significativo.

Os valores de altura do bolo variaram de 7,00 a 8,26 cm para os 18 ensaios. A variação nos pontos centrais foi de 7,84 a 8,20 cm e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 7,09 cm, sendo também esses valores bem próximos (Tabela 5.14). Neste caso, os efeitos tempo e temperatura quadráticos foram estatisticamente significativos (Tabela 5.16), apresentando p-valor menor que 0,05, porém também apresentaram magnitude bastante pequena.

Ao verificar a resposta altura do bolo pelo teste de Tukey, nenhum tratamento apresentou valor significativamente mais alto quando comparado ao padrão. Com relação à farinha sem tratamento, apenas os ensaios 8, 15 e 18 apresentaram valores significativamente maiores.

Tabela 5.14. Peso específico, altura e dureza instrumental do bolo “pão de ló” obtido com as farinhas tratadas do planejamento experimental (farinha A) e sua comparação com as farinhas padrão e sem tratamento**.

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes		
	X ₁	X ₂	X ₃	Peso Específico	Altura	Dureza
				(g/mL)	(cm)	(g)
Padrão	--	--	--	0,301 ± 0,001 ^h	8,21 ± 0,36 ^{ab}	204,9 ± 11,1 ^{bcd}
Sem tratamento	--	--	--	0,340 ± 0,001 ^{cde}	7,09 ± 0,27 ^{de}	226,3 ± 16,0 ^{abc}
1	-1	-1	-1	0,339 ± 0,002 ^{de}	7,88 ± 0,48 ^{abcd}	167,6 ± 15,3 ^{fgh}
2	1	-1	-1	0,345 ± 0,001 ^{abcd}	7,21 ± 0,23 ^{ce}	188,4 ± 9,2 ^{defg}
3	-1	1	-1	0,342 ± 0,001 ^{bcde}	7,42 ± 0,28 ^{abcd}	172,1 ± 12,1 ^{efgh}
4	1	1	-1	0,344 ± 0,002 ^{abcde}	7,56 ± 0,37 ^{abcd}	155,1 ± 11,0 ^{gh}
5	-1	-1	1	0,341 ± 0,001 ^{cde}	7,48 ± 0,36 ^{abcd}	157,1 ± 11,6 ^{gh}
6	1	-1	1	0,327 ± 0,001 ^f	7,56 ± 0,36 ^{abcd}	200,1 ± 15,3 ^{bcde}
7	-1	1	1	0,338 ± 0,001 ^e	7,26 ± 0,54 ^b	226,4 ± 11,3 ^{abc}
8	1	1	1	0,317 ± 0,002 ^g	8,26 ± 0,33 ^a	152,3 ± 14,2 ^h
9	-1,68	0	0	0,348 ± 0,001 ^a	7,16 ± 0,26 ^{ce}	239,2 ± 21,9 ^a
10	1,68	0	0	0,346 ± 0,002 ^{abc}	7,00 ± 0,21 ^{de}	229,0 ± 18,2 ^{abc}
11	0	-1,68	0	0,349 ± 0,002 ^a	7,02 ± 0,33 ^{de}	230,4 ± 14,3 ^{ab}
12	0	1,68	0	0,339 ± 0,002 ^{de}	7,39 ± 0,44 ^{abcd}	229,7 ± 16,7 ^{abc}
13	0	0	-1,68	0,344 ± 0,002 ^{abcde}	7,83 ± 0,67 ^{abcd}	202,6 ± 19,7 ^{abcd}
14	0	0	1,68	0,329 ± 0,002 ^f	7,31 ± 0,32 ^{abcd}	196,7 ± 17,9 ^{cdef}
15	0	0	0	0,344 ± 0,003 ^{abcde}	8,20 ± 0,34 ^{ab}	217,2 ± 12,9 ^{abcd}
16	0	0	0	0,344 ± 0,002 ^{abcde}	7,90 ± 0,33 ^{abcd}	218,0 ± 11,4 ^{abcd}
17	0	0	0	0,341 ± 0,001 ^{cde}	7,84 ± 0,30 ^{abcd}	222,3 ± 14,0 ^{abc}
18	0	0	0	0,348 ± 0,002 ^{ab}	8,10 ± 0,25 ^{abc}	220,0 ± 13,1 ^{abc}

Sendo: X₁ = Tempo de tratamento (minutos); X₂ = Temperatura da estufa (°C); X₃ = Umidade inicial da amostra (% p/p).

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-h} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de p≤0,05, de acordo com o Teste de Tukey.

Tabela 5.15. Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,846$).

Parâmetros	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	0,3447	0,0023	146,8111	0,00000000
Tempo (L)	-0,0022	0,0013	-1,7229	0,12320477
Tempo (Q)	-0,0003	0,0013	-0,2177	0,83311646
Temperatura (L)	-0,0020	0,0013	-1,5524	0,15918007
Temperatura (Q)	-0,0014	0,0013	-1,0718	0,31505996
Umidade (L)	-0,0052	0,0013	-4,0652	0,00360722
Umidade (Q)	-0,0040	0,0013	-3,0215	0,01652158
Tempo x Temperatura	-0,0015	0,0017	-0,8920	0,39841835
Tempo x Umidade	-0,0053	0,0017	-3,2041	0,01253477
Temperatura x Umidade	-0,0019	0,0017	-1,1158	0,29691188

Tabela 5.16. Análise dos efeitos das variáveis independentes da altura para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,753$)

Parâmetros	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	7,9949	0,1427	56,0143	0,00000000
Tempo (L)	0,0207	0,0774	0,2677	0,79569224
Tempo (Q)	-0,2574	0,0804	-3,2022	0,01257012
Temperatura (L)	0,0720	0,0774	0,9308	0,37920712
Temperatura (Q)	-0,2122	0,0804	-2,6402	0,02970400
Umidade (L)	-0,0293	0,0774	-0,3791	0,71448871
Umidade (Q)	-0,0826	0,0804	-1,0274	0,33428122
Tempo x Temperatura	0,2153	0,1011	2,1299	0,06580184
Tempo x Umidade	0,2014	0,1011	1,9925	0,08145709
Temperatura x Umidade	0,0736	0,1011	0,7283	0,48720202

Tabela 5.17. Análise dos efeitos das variáveis independentes da dureza para o planejamento experimental com farinha A ($R^2 = 0,502$)

Parâmetros	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	221,5152	14,9874	14,7801	0,00000043
Tempo (L)	-3,2510	8,1230	-0,4002	0,69946637
Tempo (Q)	-4,3228	8,4404	-0,5122	0,62237711
Temperatura (L)	-0,6134	8,1230	-0,0755	0,94166243
Temperatura (Q)	-5,7585	8,4404	-0,6823	0,51434070
Umidade (L)	3,1358	8,1230	0,3860	0,70953295
Umidade (Q)	-16,5004	8,4404	-1,9549	0,08633112
Tempo x Temperatura	-19,3574	10,6132	-1,8239	0,10562032
Tempo x Umidade	-4,3658	10,6132	-0,4113	0,69161508
Temperatura x Umidade	6,2935	10,6132	0,5930	0,56957304

Os resultados de dureza instrumental variaram de 152,3 a 239,2 g entre os ensaios. A variação nos pontos centrais foi de 217,2 a 222,3 e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 226,3 cm (Tabela 5.14). Analisando a Tabela 5.17 mostra que, pela metodologia de superfície de resposta, nenhum parâmetro foi estatisticamente significativo para a resposta dureza instrumental.

Já, com relação ao teste de Tukey, podemos observar que os tratamentos 1, 3, 4, 5 e 8 apresentaram valores de dureza instrumental significativamente mais baixos que a farinha padrão. Estes ensaios também foram significativamente melhores que a farinha sem tratamento, além do ensaio número 2.

O ensaio número 8, que corresponde à farinha com 14,4% de umidade tratada por 20 minutos a 150 °C, apresentou resultados melhores que a farinha sem tratamento em comparação pelo Teste de Tukey para as três respostas estudadas. Portanto, estas condições foram escolhidas para um novo teste adicionando quinoa na formulação (segundo planejamento).

5.4.2. Farinha de trigo B

Os resultados obtidos para o primeiro planejamento experimental com a farinha B estão apresentados na Tabela 5.18 e a análise dos efeitos para cada uma das variáveis independentes encontram-se nas Tabelas 5.19, 5.20 e 5.21.

Os resultados obtidos para a farinha B foram similares à farinha A. Observando a Tabela 5.18, foi verificado que os resultados de peso específico da massa para os 18 ensaios variaram de 0,277 a 0,391 g/mL. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 0,305 a 0,307 g/mL e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 0,318 g/mL.

Como nos resultados apresentados para a farinha A, o tempo quadrático apresentou efeito estatisticamente significativo para esta resposta (Tabela 5.19); porém mais uma vez os efeitos são de magnitude bastante inferior quando comparados à média. Isto também se deve ao fato dos valores de erro puro serem muito baixos.

Portanto, novamente constatou-se que não foi possível estabelecer um modelo para a resposta peso específico em função das variáveis independentes estudadas e as demais respostas apresentaram resultados semelhantes.

Mais uma vez, os resultados foram analisados pelo teste de Tukey (Tabela 5.18), visando também verificar se houve diferença significativa entre as farinhas padrão e sem tratamento e as farinhas tratadas. Foi observado que todos os tratamentos diferiram do padrão com relação ao peso específico, porém apenas os ensaios 12 e 14 apresentaram um valor inferior. Com relação à farinha sem tratamento, os ensaios 8, 12, 14, 15, 16 e 17 apresentaram valores de peso específico da massa menores.

Os valores de altura do bolo variaram de 6,87 a 9,61 cm para os 18 ensaios. A variação nos pontos centrais foi de 8,19 a 8,64 cm e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 8,40 cm (Tabela 5.18). Avaliando pela metodologia de superfície de resposta, nenhum efeito foi estatisticamente significativo (Tabela 5.20).

Pelo teste de Tukey, os tratamentos 11 e 12 apresentaram valor mais alto de altura, estatisticamente significativo, quando comparados ao padrão. Com relação à farinha sem tratamento, apenas o ensaio 12 apresentou valores significativamente maiores.

Os resultados de dureza instrumental variaram de 106,4 a 302,0 g entre os ensaios. A variação nos pontos centrais foi de 186,0 a 188,5 g e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 220,8 cm (Tabela 5.18). Analisando a Tabela 5.21, constatou-se que também não houve variável estatisticamente significativa para a resposta dureza instrumental, ao avaliar pela metodologia de superfície de resposta.

Avaliando pelo teste de Tukey, os tratamentos 8, 10, 11, 12, 13 e 14 apresentaram valores de dureza inferiores que a farinha padrão. Estes ensaios também foram significativamente melhores que a farinha sem tratamento e ensaio 2, já que baixos valores de dureza indicam maciez, característica desejável para o bolo “pão de ló”.

Para as três respostas, peso específico da massa, altura e dureza instrumental do bolo, o ensaio 12, que corresponde à farinha com 12,0% de umidade tratada por 15 minutos a 167 °C, apresentou resultados melhores que a farinha sem tratamento. Portanto, estas condições foram escolhidas para um novo teste adicionando quinoa na formulação (segundo planejamento).

Tabela 5.18. Peso específico, altura e dureza instrumental do bolo “pão de ló” obtidos com as farinhas tratadas no planejamento experimental para farinha B e sua comparação com as farinhas padrão e sem tratamento**.

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes		
	X ₁	X ₂	X ₃	Peso Específico (g/mL)	Altura (cm)	Dureza (g)
Padrão	--	--	--	0,301 ± 0,001 ^l	8,21 ± 0,18 ^{cde}	204,9 ± 11,1 ^{bcd}
Sem tratamento	--	--	--	0,318 ± 0,001 ^{fg}	8,40 ± 0,27 ^{bcd}	220,8 ± 15,1 ^{bc}
1	-1	-1	-1	0,333 ± 0,001 ^d	7,36 ± 0,16 ^{ef}	302,0 ± 19,0 ^a
2	1	-1	-1	0,327 ± 0,002 ^e	7,99 ± 0,10 ^{de}	183,8 ± 16,8 ^d
3	-1	1	-1	0,336 ± 0,001 ^d	7,74 ± 0,09 ^{df}	192,3 ± 18,4 ^{bcd}
4	1	1	-1	0,317 ± 0,001 ^{fg}	7,89 ± 0,19 ^{de}	194,6 ± 19,6 ^{bcd}
5	-1	-1	1	0,370 ± 0,002 ^b	6,89 ± 0,22 ^f	224,2 ± 20,5 ^b
6	1	-1	1	0,391 ± 0,001 ^a	6,87 ± 0,20 ^f	280,2 ± 22,1 ^a
7	-1	1	1	0,363 ± 0,001 ^c	7,37 ± 0,09 ^{ef}	192,5 ± 17,3 ^{bcd}
8	1	1	1	0,304 ± 0,000 ^{hi}	8,66 ± 0,22 ^{ad}	140,5 ± 13,1 ^{ef}
9	-1,68	0	0	0,374 ± 0,001 ^b	7,44 ± 0,13 ^{df}	217,7 ± 21,6 ^{bc}
10	1,68	0	0	0,321 ± 0,002 ^f	8,41 ± 0,20 ^{de}	139,9 ± 14,0 ^{ef}
11	0	-1,68	0	0,315 ± 0,001 ^g	9,61 ± 0,29 ^{ab}	124,8 ± 10,0 ^{ef}
12	0	1,68	0	0,293 ± 0,002 ^j	9,50 ± 0,24 ^a	106,4 ± 8,9 ^f
13	0	0	-1,68	0,314 ± 0,001 ^g	9,01 ± 0,17 ^{ac}	122,4 ± 10,9 ^{ef}
14	0	0	1,68	0,277 ± 0,001 ^k	8,21 ± 0,15 ^{cde}	144,2 ± 12,7 ^e
15	0	0	0	0,307 ± 0,000 ^h	8,64 ± 0,08 ^{acd}	188,5 ± 13,3 ^{cd}
16	0	0	0	0,306 ± 0,001 ^h	8,24 ± 0,39 ^{cde}	189,9 ± 12,8 ^{cd}
17	0	0	0	0,305 ± 0,001 ^{hi}	8,19 ± 0,19 ^{cde}	186,0 ± 11,5 ^{cd}
18⁽¹⁾	0	0	0	0,326 ± 0,001	9,41 ± 0,20	108,0 ± 14,4

Sendo: X₁ = Tempo de tratamento (minutos); X₂ = Temperatura da estufa (°C); X₃ = Umidade inicial da amostra (%; p/p). (1)

Tratamento desconsiderado. **Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-k} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de p≤0,05, de acordo com o Teste de Tukey.

Tabela 5.19. Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,664$).

	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	0,3045	0,0157	19,3850	0,0000002
Tempo (L)	-0,0112	0,0074	-1,5153	0,1734711
Tempo (Q)	0,0206	0,0081	2,5300	0,0392354
Temperatura (L)	-0,0100	0,0074	-1,3599	0,2160265
Temperatura (Q)	0,0050	0,0081	0,6192	0,5553838
Umidade (L)	0,0038	0,0074	0,5134	0,6234469
Umidade (Q)	0,0021	0,0081	0,2565	0,8049255
Tempo x Temperatura	-0,0115	0,0096	-1,1980	0,2698908
Tempo x Umidade	-0,0018	0,0096	-0,1873	0,8567231
Temperatura x Umidade	-0,0110	0,0096	-1,1373	0,2928385

Tabela 5.20. Análise dos efeitos das variáveis independentes na altura para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,525$)

	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	8,4343	0,4865	17,3357	0,00000052
Tempo (L)	0,2689	0,2286	1,1760	0,27802442
Tempo (Q)	-0,4039	0,2519	-1,6037	0,15281848
Temperatura (L)	0,1736	0,2286	0,7594	0,47239610
Temperatura (Q)	0,1728	0,2519	0,6863	0,51462604
Umidade (L)	-0,1864	0,2286	-0,8156	0,44161659
Umidade (Q)	-0,1618	0,2519	-0,6424	0,54109016
Tempo x Temperatura	0,1028	0,2986	0,3442	0,74077372
Tempo x Umidade	0,0611	0,2986	0,2047	0,84364274
Temperatura x Umidade	0,2472	0,2986	0,8280	0,43496497

Tabela 5.21. Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza para o planejamento experimental com farinha B ($R^2 = 0,393$)

	Efeitos	Erro puro	t(7)	p-valor
Média	183,1903	35,9695	5,0929	0,00141055
Tempo (L)	-17,7774	16,9014	-1,0518	0,32782747
Tempo (Q)	13,2229	18,6199	0,7102	0,50057790
Temperatura (L)	-22,0726	16,9014	-1,3060	0,23284203
Temperatura (Q)	-9,1627	18,6199	-0,4921	0,63771128
Umidade (L)	0,0927	16,9014	0,0055	0,99577908
Umidade (Q)	-2,8965	18,6199	-0,1556	0,88077089
Tempo x Temperatura	1,5672	22,0730	0,0710	0,94538299
Tempo x Umidade	14,9825	22,0730	0,6788	0,51908866
Temperatura x Umidade	-9,0742	22,0730	-0,4111	0,69329314

Thomasson, Miller e Hosney (1995) estudaram o tratamento térmico de farinha de trigo em forno de convecção e avaliaram sua aplicação em bolo *high ratio* (*white layer cake*), obtendo resultados diferentes. Conduziram um planejamento experimental de superfície de resposta para determinar a combinação ótima dos parâmetros de tratamento: (i) umidade da farinha de trigo (0,64 a 7,4%); (ii) tempo de tratamento (5 a 55 minutos) e (iii) temperatura do forno de convecção (83 a 167 °C).

Estes autores observaram que o volume do bolo aumentou conforme a umidade da farinha diminuiu, sendo que esta variável afetou consideravelmente o resultado final do bolo. Perceberam também que, o aumento da umidade reduziu o tempo de tratamento necessário para atingir o maior volume do bolo. Com 1% de umidade, o volume ótimo não foi atingido com 55 minutos de tratamento, enquanto que para 7% de umidade, o maior volume foi obtido em 10 minutos de tratamento. Contudo, a temperatura de tratamento ótima se manteve em 125 °C, permanecendo constante para todos os níveis de umidade da farinha.

O teor de umidade ótimo encontrado por estes autores foi bem menor que o apresentado neste trabalho, sendo possível de ser atingido somente através da secagem da farinha por liofilização. Thomasson, Miller e Hosney (1995) chegaram a testar o tratamento térmico com níveis de umidade ao redor de 13% e notaram melhora no volume do bolo, mas os resultados foram melhores com teores inferiores a 7%. Esta pode ser uma hipótese para os resultados não significativos encontrados com a metodologia de superfície de resposta. É possível que a variável independente umidade tenha sido testada fora de sua faixa ótima.

5.5. Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa

Os resultados de peso específico da massa, altura do bolo, encolhimento e dureza instrumental dos bolos tipo pães de ló elaborados com farinha de trigo e misturas desta com farinha de quinoa tratados em diferentes dosagens encontram-se na Tabela 5.22. As Figuras 5.2 e 5.3 ilustram a estrutura dos miolos destes bolos.

Os resultados mostram que houve diferença significativa entre os tratamentos, porém a variação de 0,307 a 0,327 g/mL para o peso específico não interferiu no volume do bolo, como pode ser observado nos resultados de altura (item 5.5.2).

Çelik *et al.* (2007) encontraram peso específico de 0,71 g/mL para massa de bolo “pão de ló”, com algumas diferenças na formulação (sem emulsificante) e modo de preparo (metade do tempo de batimento) quando comparados com os experimentos realizados neste trabalho.

Tabela 5.22. Peso específico, altura, encolhimento e dureza instrumental dos bolos elaborados com as farinhas de trigo (padrão, A e B) e os misturas com quinoa, obtidos no segundo planejamento**.

Ensaio	Peso Específico (g/mL)	Altura (cm)	Encolhimento (%)	Dureza (g)
Padrão	0,307 ± 0,000 ^g	8,59 ± 0,33 ^a	7,07 ± 0,38 ^b	214,1 ± 20,2 ^{ab}
Farinha A sem tratamento	0,337 ± 0,001 ^a	7,12 ± 0,30 ^b	8,13 ± 0,50 ^{abc}	231,5 ± 17,0 ^a
Farinha A tratada	0,322 ± 0,001 ^c	7,96 ± 0,11 ^{ab}	6,93 ± 0,38 ^{bc}	200,2 ± 14,7 ^{bc}
Farinha A tratada + 10% quinoa	0,318 ± 0,001 ^d	8,89 ± 0,50 ^a	8,00 ± 0,65 ^{abc}	124,3 ± 11,6 ^h
Farinha A tratada + 20% quinoa	0,314 ± 0,001 ^e	8,10 ± 0,29 ^a	8,40 ± 0,86 ^{abc}	167,1 ± 13,4 ^{df}
Farinha A tratada + 30% quinoa	0,308 ± 0,001 ^{fg}	8,06 ± 0,06 ^{ab}	8,93 ± 0,82 ^{ab}	140,6 ± 9,9 ^{efgh}
Farinha B sem tratamento	0,317 ± 0,001 ^{de}	8,14 ± 0,18 ^a	9,60 ± 0,33 ^a	237,0 ± 18,1 ^a
Farinha B tratada	0,310 ± 0,001 ^{fg}	8,27 ± 0,14 ^a	8,67 ± 0,19 ^{abc}	181,9 ± 13,9 ^{cd}
Farinha B tratada + 10% quinoa	0,310 ± 0,001 ^f	8,22 ± 0,22 ^a	9,20 ± 0,33 ^a	173,3 ± 14,3 ^{cde}
Farinha B tratada + 20% quinoa	0,318 ± 0,001 ^{de}	8,29 ± 0,20 ^a	8,27 ± 0,50 ^{abc}	166,8 ± 12,0 ^{dg}
Farinha B tratada + 30% quinoa	0,327 ± 0,001 ^b	8,74 ± 0,30 ^a	8,27 ± 0,68 ^{abc}	119,5 ± 9,6 ^h

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-h} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

Já, Takeda (1994), em formulação e modo de preparo de bolo “pão de ló” similares aos utilizados nos testes, encontrou o valor de 0,43 g/mL para o peso específico da massa, valor mais próximo ao obtido nos experimentos.

A farinha de trigo padrão apresentou o menor valor de peso específico, sem diferença significativa da farinha B tratada com 0% de quinoa e da farinha A tratada com 30% de quinoa.

A farinha A sem tratamento conduziu à obtenção de bolo com o maior valor de peso específico, o que indica menor incorporação de ar na massa. Este valor foi significativamente diferente de todos os outros testes. Este resultado era esperado e indica que, para a farinha A, o tratamento térmico melhorou o peso específico.

Para as farinhas A tratadas, foi observado que o aumento da porcentagem de quinoa melhorou o peso específico da massa, reduzindo seu valor. Uma possível explicação para isso pode estar relacionada com a diluição do glúten presente na farinha A. A farinha de quinoa pode ter reduzido o efeito da força do glúten e atuado melhorando a capacidade de incorporação de ar da massa.

A farinha B sem tratamento apresentou diferença significativa do padrão, com pior resultado. Neste caso, também obtivemos um resultado esperado, em que o tratamento térmico melhorou o peso específico. Porém, a farinha B sem tratamento não foi diferente da farinha B tratada com 20% de quinoa.

Para as farinhas B tratadas, o aumento da porcentagem de quinoa aumentou o peso específico da massa, piorando o desempenho. Este resultado foi diferente do obtido para a farinha A. Isto provavelmente ocorreu, pois a farinha B apresentou menor força e, neste caso, a adição de farinha de quinoa pode ter reduzido demasiadamente a força do glúten, a ponto de prejudicar seu peso específico.

Em estudos de substituição parcial de farinha de trigo clorada por farinha de quinoa clorada para produção de bolo *high ratio (yellow cake)*, Lorenz e Coulter (1991) obtiveram resultados diferentes, sendo que não observaram diferença no peso específico da massa com a variação da quantidade de quinoa (0, 5, 10, 20 e 30%). Os valores oscilaram de 0,92 a 0,98 g/mL. Também fizeram um dos experimentos com farinha de quinoa não clorada, que apresentou resultado de 0,98 g/mL.

Os valores de altura encontrados variaram de 7,12 a 8,89 cm. A farinha A sem tratamento apresentou o pior resultado de altura, sem diferença significativa das farinhas A tratadas com 0 e 30% de quinoa. Com exceção dessa, todos os tratamentos foram iguais. Isto confirma que o tratamento térmico e a substituição parcial da farinha de trigo por quinoa não interferiram na expansão do bolo.

Thomasson, Miller e Hosney (1995) obtiveram resultados diferentes ao estudar o tratamento térmico de farinha de trigo em forno de convecção e sua aplicação em bolo *high ratio (white layer cake)*. Os resultados indicaram que o tratamento térmico da farinha a níveis de umidade ao redor de 13%, melhoraram o volume do bolo, apesar de diminuírem a qualidade do miolo.

Os mesmos autores compararam o ganho de altura dos bolos produzidos com os diferentes tipos de farinha: (i) controle; (ii) clorada e (iii) tratada termicamente, durante o forneamento. Nos primeiros estágios do assamento, o ganho de altura foi similar para as três amostras. Ao atingir temperatura de 95°C, os bolos feitos com a farinha clorada tiveram uma expansão máxima significativamente mais alta, enquanto que o bolo produzido com a farinha controle colapsou. Os bolos produzidos com a farinha tratada termicamente atingiram um valor máximo de altura entre os valores obtidos para a farinha clorada e a sem tratamento.

Já Lorenz e Coulter (1991), ao substituir farinha de trigo clorada por farinha de quinoa (clorada ou não) em bolo *high ratio*, chegaram a uma conclusão semelhante. Observaram que o uso de farinha de quinoa não clorada até a porcentagem de 20% não ocasionou alteração no volume do bolo, apenas a 30% houve decréscimo do mesmo. Para as farinhas de quinoa cloradas, dosagens superiores a 10% causaram decréscimo de volume. Portanto, chegaram à conclusão que a cloração da farinha de quinoa não trouxe o benefício esperado.

A farinha padrão obteve o menor valor de encolhimento (7,07%) e não apresentou diferença significativa da farinha A sem tratamento (8,13%), apenas da farinha B sem tratamento, que apresentou maior valor (9,60%).

O maior encolhimento no bolo feito com farinha B provavelmente se deve ao alto teor e boa qualidade do glúten, prejudicial à estrutura do bolo.

As farinhas padrão e A tratadas com 0% de quinoa apresentaram os menores valores de encolhimento, mas diferiram significativamente apenas das farinhas B sem tratamento e farinha de trigo B tratada com 10% de quinoa.

De um modo geral, os resultados não mostram uma tendência, indicando que o tratamento térmico e a inclusão da quinoa não interferiram no encolhimento do bolo.

Thomasson, Miller e Hosney (1995) avaliaram o encolhimento de bolos *high ratio* produzidos com farinha controle (sem tratamento), clorada e tratada termicamente. Os bolos produzidos com a farinha clorada e com a tratada termicamente apresentaram valores de encolhimento similares, enquanto que a farinha controle apresentou um valor bem maior.

Os valores de dureza variaram de 119,5 gf para a farinha B tratada com 30% de quinoa a 231,5 gf para a farinha A sem tratamento.

Ronda *et al.* (2004) encontraram valores de dureza do miolo bolo “pão de ló” na faixa de 250 gf, utilizando texturômetro TA- XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) e probe cilíndrico de 25 mm de diâmetro. Este valor é próximo aos encontrados para as farinhas padrão, sem tratamento e tratadas com 0% de quinoa (A e B).

As farinhas A e B sem tratamento apresentaram os valores mais altos de dureza e não diferiram significativamente do padrão.

Com exceção da farinha A tratada com 0% de quinoa, todas as farinhas tratadas apresentaram resultados de textura melhores que o padrão.

Para as farinhas B tratadas termicamente, o aumento da quantidade de quinoa, diminuiu a dureza do bolo. Para as farinhas A tratadas, não foi possível observar uma tendência.

Estudos utilizando farinha de quinoa em bolo *high ratio* indicaram perda de maciez em dosagens superiores a 5%, ao contrário dos resultados obtidos para farinha B (LORENZ e COULTER, 1991). Isto provavelmente ocorreu, pois a formulação de bolo “pão de ló” utilizada continha somente farinha, sem amido, ou outro ingrediente que pudesse atuar como diluente do glúten. Acredita-se que a quinoa tenha desempenhado este papel, melhorando a maciez do bolo.

Os valores de L* para os bolos tipo pão de ló variaram de 82,43 quando este foi elaborado com a farinha padrão a 71,45 com a farinha A tratada com 30% de quinoa (Tabela 5.23).

Os resultados relativos ao parâmetro L* indicam que o bolo preparado com a farinha padrão apresentou o miolo mais claro, diferindo significativamente de todos os demais testes.

Tabela 5.23. Parâmetros de cor dos bolos elaborados com as farinhas de trigo (padrão, A e B) e as misturas com quinoa, obtidos no segundo planejamento**.

Ensaio	Cor L	Cor a	Cor b
Padrão	82,43 ± 1,08 ^a	2,27 ± 0,56 ^d	23,84 ± 0,56 ^g
Farinha A sem tratamento	76,95 ± 0,16 ^{cd}	7,30 ± 0,11 ^a	25,94 ± 0,21 ^{de}
Farinha A tratada	77,32 ± 0,44 ^c	7,46 ± 0,49 ^a	26,17 ± 0,25 ^d
Farinha A tratada + 10% quinoa	75,27 ± 0,46 ^{de}	4,14 ± 0,10 ^c	27,71 ± 0,24 ^{bc}
Farinha A tratada + 20% quinoa	73,63 ± 0,46 ^{ef}	4,37 ± 0,16 ^c	28,62 ± 0,46 ^b
Farinha A tratada + 30% quinoa	71,45 ± 0,65 ^g	4,48 ± 0,14 ^c	30,00 ± 0,14 ^a
Farinha B sem tratamento	79,08 ± 0,07 ^{bc}	7,75 ± 0,07 ^a	24,95 ± 0,18 ^f
Farinha B tratada	79,26 ± 0,17 ^b	7,91 ± 0,03 ^a	25,18 ± 0,20 ^{ef}
Farinha B tratada + 10% quinoa	76,47 ± 0,68 ^{cd}	5,92 ± 0,12 ^b	26,24 ± 0,12 ^d
Farinha B tratada + 20% quinoa	75,19 ± 0,36 ^{de}	4,78 ± 0,36 ^c	26,84 ± 0,13 ^{cd}
Farinha B tratada + 30% quinoa	73,02 ± 0,58 ^{fg}	3,98 ± 0,10 ^c	27,55 ± 0,18 ^c

**Média e desvio padrão de triplicatas. ^{a-g} Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de $p \leq 0,05$, de acordo com o Teste de Tukey.

Não houve diferença significativa entre as farinhas sem tratamento e tratadas com 0% de quinoa, tanto para a farinha A como para a farinha B, o que indica que o tratamento térmico não provocou o escurecimento do bolo.

Gökmen e Senyuva (2005) estudaram a formação de acrilamida e o escurecimento da farinha de trigo em diferentes condições de tratamento térmico em forno com temperatura controlada, utilizando o sistema CIE $L^*a^*b^*$. Evidenciaram um leve decréscimo no valor de L^* em tratamento por 20 minutos a 150 °C, resultando em um valor ao redor de 85. Porém, nestas mesmas condições, não observaram a formação de acrilamida.

O aumento da porcentagem de quinoa causou a diminuição do valor de L^* , ou seja, os bolos com maior porcentagem de quinoa ficaram mais escuros. Tal resultado já era esperado e está de acordo com os resultados de cor das farinhas, apresentados no item 5.1.2.1.

Ronda et al. (2004) determinaram a cor do miolo do bolo “pão de ló” através do sistema CIE $L^*a^*b^*$ em uma formulação similar à utilizada nos testes realizados e obtiveram L^* de aproximadamente 70, valor próximo aos obtidos para as farinhas sem tratamento e tratadas com 0% de quinoa.

Lorenz e Coulter (1991) estudaram a substituição de farinha de trigo por farinha de quinoa para aplicação em bolo *high ratio* (yellow cake) e observaram decréscimo de aproximadamente 16% para o valor de L^* (sistema Hunter $L^*a^*b^*$), que caiu de 83,4 (sem quinoa) para valores ao redor de 70 (com 30% de quinoa). Este decréscimo foi maior que o encontrado na aplicação em bolo “pão de ló”, que foi de 8% para as mesmas porcentagens de quinoa, tanto para a farinha A, como para a farinha B.

Os resultados para o parâmetro a^* foram todos positivos, indicando presença de tonalidade avermelhada nos bolos. Variaram de 2,27 (farinha padrão) a 7,91 (B tratada com 0% de quinoa).

As farinhas sem tratamento e tratadas com 0% de quinoa (A e B), apresentaram os maiores valores de a^* e foram significativamente diferentes das demais. As farinhas

tratadas com quinoa apresentaram valores intermediários iguais entre si (exceto a farinha A tratada com 10% de quinoa). A farinha padrão apresentou o menor valor, diferindo dos demais ensaios.

Os valores de b^* também foram todos positivos mas, neste caso, indicando a presença de tonalidade amarelada nos bolos. Os valores oscilaram entre 23,84 (padrão) e 30,00 (A tratada com 30% de quinoa),

Mais uma vez, o padrão apresentou o menor valor e diferiu significativamente dos outros testes. Pôde ser observado que a inclusão da quinoa aumentou o valor de b^* . Este resultado também está de acordo com o obtido para a análise de cor das farinhas, em que a farinha de quinoa apresentou valor bem mais alto de b^* que as farinhas de trigo analisadas.

Çelik et al. (2007) utilizaram o sistema Hunter $L^*a^*b^*$ para medir a cor do miolo de pães de ló e encontraram valores de aproximadamente 67,3, 1,6 e 21,3 para os parâmetros L^* , a^* , e b^* , respectivamente. Os valores de L^* e a^* são menores que os encontrados nos experimentos, indicando um bolo mais escuro e com menor presença de tonalidade avermelhada. A formulação do bolo utilizada em seus estudos foi similar à utilizada nos testes, porém sem emulsificante. Outro fator diferente é o modo de preparo, em que a massa é batida por apenas 5 minutos.

De acordo com as Figuras 5.2 e 5.3, pode ser observado que o bolo elaborado com a farinha padrão apresentou miolo mais fechado e uniforme. As farinhas tratadas, mesmo com 0% de quinoa não atingiram o mesmo nível de uniformidade, demonstrando presença de alvéolos maiores e de diferentes tamanhos.

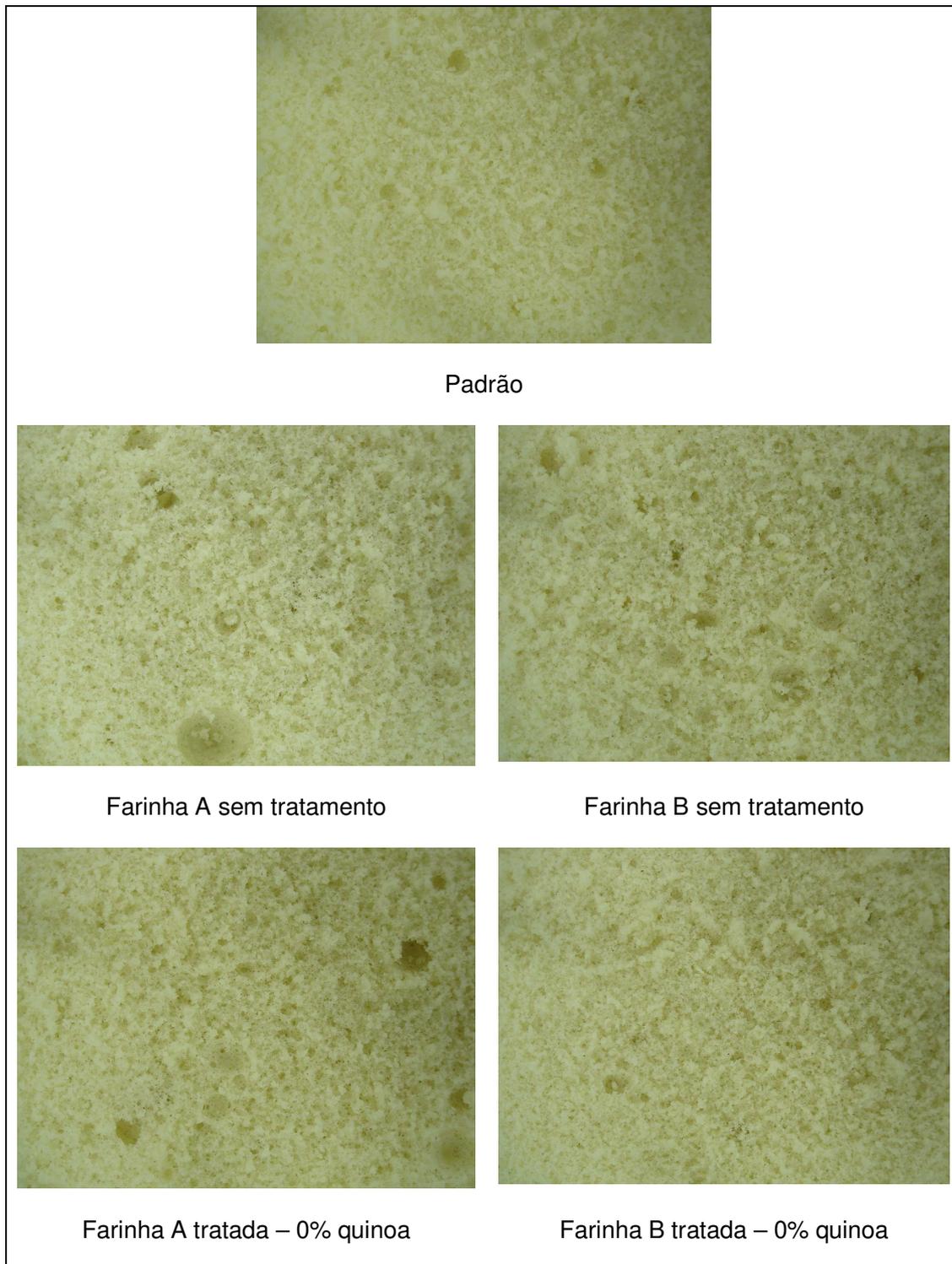


Figura 5.2. Estrutura do miolo dos pães de ló feitos com as farinhas de trigo padrão, A e B sem tratamento e tratadas termicamente com 0% de farinha de quinoa.

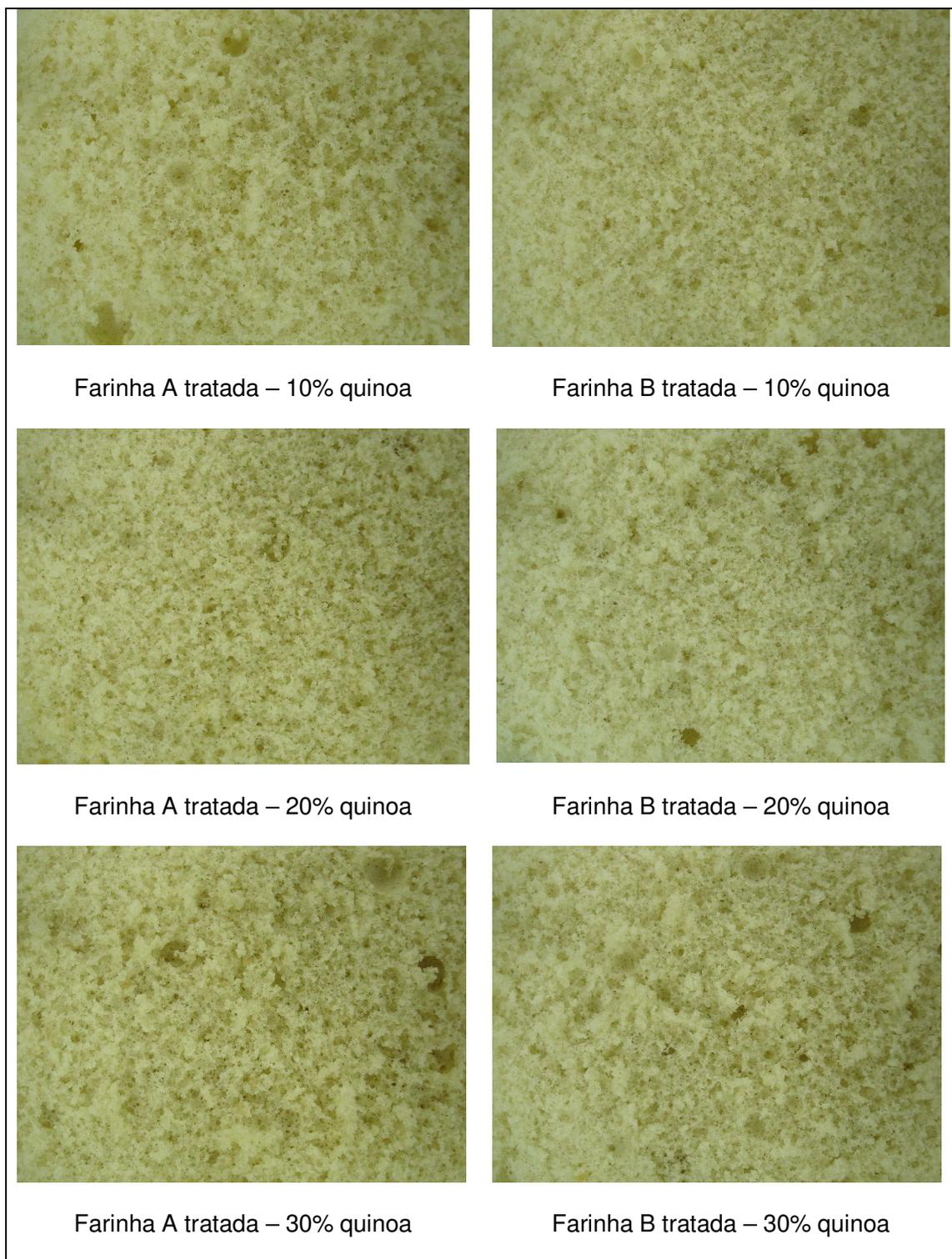


Figura 5.3. Estrutura do miolo dos pães de ló feitos com as farinhas de trigo A e B tratadas com 10, 20 e 30% de farinha de quinoa.

Thomasson, Miller e Roseney (1995), aplicando o tratamento térmico à farinha de trigo em forno de convecção, utilizando temperaturas de 100 a 150 °C, observaram que as farinhas com umidade inicial por volta de 13% apresentaram melhora no volume do bolo, porém a qualidade do miolo avaliada sensorialmente caiu. Conseguiram melhores resultados com umidades de 2 a 3%, porém nenhum dos testes chegou aos valores obtidos pela farinha clorada.

No presente estudo, foi verificada também uma tendência da farinha B apresentar o miolo levemente mais fechado que a A. Além disso, o aumento da dosagem de quinoa pareceu interferir na estrutura do miolo consideravelmente, sendo que o aumento da sua concentração tornou-o mais aberto.

Lorenz e Coulter (1991) obtiveram o mesmo resultado, ou seja, observaram que a estrutura do miolo de bolo *high ratio* se tornou mais aberta com o aumento da substituição da farinha de trigo clorada por farinha de quinoa.

6. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo permitiram chegar às seguintes conclusões:

6.1. Com relação à caracterização das matérias-primas

1) O teor protéico da farinha de trigo padrão foi baixo quando comparado às farinhas utilizadas no estudo (A e B). Farinhas destinadas ao tratamento térmico para aplicação em bolo *high ratio* costumam passar por processo de classificação por ar (*air classification*) que reduz seu teor protéico antes de serem submetidas ao tratamento.

2) A farinha de quinoa apresentou um resultado de teor protéico abaixo do reportado na literatura para o grão, não permitindo um aumento deste nutriente no bolo “pão de ló”, mas seu valor biológico (balanço de aminoácidos), ainda sim, justifica sua aplicação.

6.2. Com relação à caracterização reológica das farinhas e misturas

A inclusão da quinoa reduziu a força da farinha de trigo e pode ter contribuído para os resultados favoráveis na aplicação das misturas em bolo “pão de ló”, já que as farinhas utilizadas apresentaram características de farinhas fortes.

6.3. Com relação ao tratamento térmico das farinhas de trigo

1) O processo de extrusão termoplástica não se mostrou viável na produção de farinha de trigo tratada termicamente para aplicação em bolo “pão de ló”.

2) Pela metodologia de superfície de resposta, tanto para a farinha de trigo A, como para a farinha trigo B, não foi possível estabelecer um modelo para as respostas: peso específico da massa, altura do bolo e dureza instrumental, em função das variáveis independentes estudadas: tempo e temperatura de tratamento térmico e umidade da farinha de trigo.

3) Provavelmente, o ponto ótimo do tratamento térmico esteja fora da faixa estudada, o que poderia ser confirmado com um novo planejamento alterando o espectro das variáveis independentes.

4) Pela análise utilizando o Teste de Tukey, concluiu-se que os ensaios correspondentes a: (i) farinha A com 14,4% de umidade e tratada por 20 minutos a 150°C e (ii) farinha B com 12,0% de umidade e tratada a 167°C por 15 minutos apresentaram resultados melhores que as respectivas farinhas sem tratamento, para as respostas: peso específico da massa, altura do bolo e dureza instrumental. Isto evidencia a viabilidade do uso do tratamento térmico em forno de convecção para a produção de farinha de trigo modificada para aplicação em bolo “pão de ló”.

5) O tratamento térmico nas duas farinhas de trigo utilizadas apresentou resultados similares.

6.4. Com relação ao tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa

1) Considerando o peso específico da massa, foi observado que:

- Para os misturas com farinha A tratada termicamente, o aumento da porcentagem de quinoa melhorou este parâmetro, reduzindo seu valor.
- Para os misturas com farinha B tratada termicamente, o aumento da porcentagem de quinoa aumentou o peso específico da massa, piorando o desempenho.

Apesar dos valores terem apresentado diferença significativa entre si, a variação dos resultados não foi considerável a ponto de interferir na altura do bolo. Mas, possivelmente, isto pode ter alterado a estrutura do miolo do bolo, que apresentou-se levemente mais aberta para a farinha A do que para a farinha B.

2) Tanto o tratamento térmico quanto a substituição parcial da farinha de trigo por quinoa não interferiram no volume e encolhimento lateral do bolo.

3) Com relação à dureza instrumental do bolo, foi verificado que:

- Para as misturas com farinha B tratada termicamente, o aumento da quantidade de quinoa diminuiu a dureza do bolo.

- Para as misturas com farinha A tratada termicamente, não foi possível observar uma tendência.

Possivelmente, a quinoa atuou como diluente do glúten no caso da farinha B, melhorando a maciez do bolo “pão de ló” com a sua incorporação.

4) O tratamento térmico não interferiu na cor do bolo, porém, a incorporação de quinoa sim. Quanto maior a quantidade de quinoa, mais escuro ficou o bolo “pão de ló”.

5) A estrutura do miolo foi aparentemente afetada também pela adição de quinoa, tornando-se mais aberta com o aumento da dosagem deste grão.

6.5. Sugestões para trabalhos futuros

1) Estudo do perfil de aminoácidos da farinha de quinoa.

2) Avaliação do tratamento térmico em farinha de trigo com baixo teor e qualidade protéica.

3) Estudo do efeito das variáveis: tempo e temperatura de tratamento térmico e umidade da farinha de trigo em diferentes faixas, principalmente umidades mais baixas, conforme resultados apresentados por Thomasson, Miller e Hosenev (1995).

4) Análise sensorial de bolos com diferentes níveis de incorporação de quinoa, para avaliar se o escurecimento e a interferência no sabor é aceitável pelos consumidores.

7. Referências Bibliográficas

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Method nº44-5A: Calculation of Percent Moisture. **Approved Methods of the A.A.C.C.** Ninth Edition, Minnesota, USA, 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Methods nº44-5A; nº46-13; nº54-10; nº56-81B; nº72-10. **Approved Methods of the A.A.C.C.** Ninth Edition, Minnesota, USA, 1995.

ANSTIS, J. 21st Century cakes. **43rd Spring Conference Proceedings of British Society of Baking**, 20th april 1999, paper nº 420. Disponível em: http://www.bsb.org.uk/members/library/conferences/1999spring/paper_420.htm. Acesso em: 19 mai. 2005.

ASCHERI, J.L.R.; RAMÍREZ-ASQUIERI, E; CARVALHO, C.W.P. Elaboracion de harina integral instantânea de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) por extrusion termoplastica. **Alimentaria**, v. 292, n.5, p. 93-98, 1998.

ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC), Method nº 965.22: Sorting Corn Grits. AOAC Official Methods of Analysis. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1995.

ATWELL, W.A.; PATRICK, B.M.; JONSON, L.A.; GLASS, R.W. Characterization of quinoa starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 1, p. 9-11, 1983.

BEAN, M.M.; FELLERS, D.A. Composite flour breads in Bolivia: technical aspects. **Proceedins of the 7th World Cereal and Bread Congress**, Prague, p. 859-864, 1982.

BENNION, E. B.; BAMFORD, G. S. T. **The Technology of Cake Making**, 4th ed. Leonard Hill Books: Aylesbury, UK, 1973.

BIONDI, S. H. S. **Qualidade da Farinha de Trigo: Conceito, Fatores Determinantes e Parâmetros de Avaliação e Controle**, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2003.

CAPERUTO, L. C. **Desenvolvimento e avaliação de massa tipo macarrão à base de milho e quinoa para celíacos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Planejamento Alimentar e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARMEN, M.L. Acclimatization of Quinoa (*Chenopodium Quinoa*, Willd) and cañihua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) to Finland. **Annales Agric. Fenn.**, v. 23, p. 135-144, 1984

CATTERAL, P.F. The production of cakes from non-chlorinated cake flour. **Proceedings of 2001 AACC Annual Meeting**, 14-18 outubro 2001 Disponível em: <http://www.aaccnet.org/meetings/2001/Abstracts/a01ma203.htm>. Acesso em: 17 mai. 2005.

CAUVAIN, S.P.; GOUGH, B.M. High-ratio yellow cake. The starch cake as a model system for response to chlorine. **Journal of Food Science and Technology**, v. 26, p. 1861-1868, 1975.

ÇELİK, I.; YILMAZ, Y.; ISIK, F.; ÜSTÜN, Ö. Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. **Food Chemistry**, v. 101, p. 907-911, 2007.

CHAUHAN, G.S.; ESKIN, N.A.M.; TKACHUK, R. Nutrients and antinutrients in quinoa seeds. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 69, n. 1, p. 85-88, 1992.

CHAUHAN, G.S.; ZILLMAN, R.R.; ESKIN, N.A.M.. Dough mixing and breadmaking properties of quinoa-wheat flour misturas. **Journal of Food Science and Technology**, v. 27, n. 6, p. 701-705, 1992.

CHIANG, B.Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, v. 54, n. 3, p. 436-443, 1977.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1982. 152 p.

CLEMENTS, R.L.; DONELSON, J.R. Role of free flour lipids in batter expansion in layer cakes. I. Effects of "aging". **Cereal Chemistry**, v. 59, p. 121, 1982a.

CLEMENTS, R.L.; DONELSON, J.R. Role of free flour lipids in batter expansion in layer cakes. II. Effects of heating. **Cereal Chemistry**, v. 59, p. 125, 1982b.

CLERICI, M. T. P. S. **Efeito de modificações fosfatada, intercruzada e ácida durante a gelatinização por extrusão da farinha de arroz e sua influência na produção de pão sem glúten**. 1997. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CONFORTI, FD.; JOHNSON, J.M. Use of the farinograph in predicting baking quality of unchlorinated and chlorinated flours. **Journal of Food Quality**, v.15, n. 5, p. 333-347, 1992.

CORNELL, H.J.; HOVELING, A.W. **Wheat chemistry and utilization**. Technomic Publishing Company, 1998.

COULTER, L.; LORENZ, k. Quinoa – composition, nutritional value, food applications. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, London: Zurich, v. 23, n. 3, p. 203-207, 1990.

CUNNINGHAM, H.M.; LAWRENCE, G.A.; TRYPHONAS, L. Toxic effects of chlorinated cake flour in rats. **Journal of Toxicology Environmental Health**, v.2, p. 1161-1171, 1977.

DANIELS, N.W.R; FRAP, D.L.; RUSSEL, P.W. COPPOCK, J.B.M. Studies on the lipids of flour. II Chemical and toxicological studies on the lipid of chlorine-treated cake flour. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 14, p. 883-893, 1963.

DENDY, D.A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereal and cereal products – chemistry and utilization**. Aspen Publishers, 2001.

DINI, A.; RASTRELLI L.; SATURNINO P.; SCHETTINO O. A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Die Nahrung**. Berlin, v. 36, n. 4, p. 400-404, 1992.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L. **Cereal a Renewable Resource: Theory and Practice**. American Association of Cereal Chemists, 1982.

EL-DASH, A. A. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. **Proceedings of the First Brazilian Congress on Proteins – CONBRAP 90**. Universidade Estadual de Campinas, p. 513-30, 1990.

GINOCCHIO, A.V.; FISHER, N.; HUTCHINSON, J.B.; BERRY, R.; HARDY, J. Long-term toxicity and carcinogenicity studies of cake made from chlorinated flour. **Food Chemistry Toxicology**, v. 21, p. 435-439, 1983.

GÖKMEN, V.; SENYUVA, H. Z. Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. **Food Chemistry**, v. 99, p. 238-243, 2006.

GONZÁLEZ, J.A.; ROLDÁN, A.; GALLARDO, M.; ESCUDERO, T.; PRADO, F.E. Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: *Chenopodium quinoa* (“quinoa”). **Plant Foods for Human Nutrition**, Lincoln, v. 39, n. 4, p. 331-337, 1989.

GOTTSCHALD, S. K. B. **Caracterização da qualidade de novos genótipos de trigo obtidos do cruzamento de um cultivar de trigo comum (*T. aestivum* L.) com uma linhagem de trigo duro (*T. durum* L.)**. 1990. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GREENWOOD, G.T. & EWART, J. A. D. Hypothesis for the structure of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 2, p. 146-153, 1975.

GURR, M. I. **Role of fats in food and nutrition barking**. Ed. Elsevier, p. 46, 1984.

IBANOGLU, S. Wheat washing with ozonated water: effects on selected flour properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 579-584, 2002.

JANSSEN, A. M.; VEREIJKEN, J. B.; BEITEMA, M. J. J.; WITHOLD, B.; VLIET, T. Rheological studies on gluten. In: BUSHUK, W.; TKCHUK, R. **Gluten Proteins 1990**. Saint Paul: AACC, 1992. p.180-186.

JOHNSON, A. C.; HOSENEY, R. C. Chlorine treatment of cake flours. IV. Effects of storing and heating nondefatted and defatted flours. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 92-93, 1980.

KIM, J. C.; ROTTIER, W. Modification of Aestivun wheat semolina by extrusion. **Cereal Foods World**, v. 24, n. 2, p. 62-64, 66, 1980.

KISSEL, L.T.; DONELSON, J.R.; CLEMENTS, R.L. Functionality in white layer cake of lipids from untreated and chlorinated patent flours. I. Effects of free lipids. **Cereal Chemistry**, v. 56, p. 11, 1979.

KOZIOL, M.J. Composición química. In: WAHLI, C. **Quinoa, Hacia su Cultivo Comercial**. Latinreco, Quito, p. 137-159, 1990.

LORENZ, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch – physico-chemical properties and functional characteristics. **Starch**, Alemanha, v. 42, n. 3, p. 81-86, 1990.

LORENZ, K.; COULTER, L. Quinoa flour in baked products. **Foods for Human Nutrition**, v. 41, p. 213-223, 1991.

MacMASTERS, M.M.; HINTON, J. J. C. & BRADBUTY, D. Microscopic Structure and Composition of the Wheat Kernel. In: **Wheat Chemistry and Technology**. Pomeranz, Y (ed.), 2 ed Monogr. Ser., Vol III, St Paul, Minnesota, 1971.

MacRITCHIE, F. Baking quality of wheat flours. **Advances in Food Research**. New York, v.29, p. 201-277, 1984.

MacRITCHIE, F. Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. **Journal of Cereal Science**. London, v.6, n. 3, p. 259-268, 1987.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994, 49p.

MIRANDA, M.Z. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. 1998. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, v.1, p. 533, 1985.

PREJEAN, W. **Baking and Baking Science**. Disponível em: <http://www.bakingandbakingscience.com/Cakes.htm>. Acesso em: 19 mai. 2005.

PYLER, E.J. **Baking Science and Technology**, 3rd ed. Sosland Publishing: Merriam, KS, 1988.

RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; GLASER, B.K.; LORENZ, K.J.; JOHNSON, D.L. Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 70, n. 3, p. 303-305, 1993.

RANKIN, J.C.; HOLZAPFEL, M.M.; RUSSEL, C.R.; RIST, C.E. Acid-modified wheat flours – pasting and dispersion properties. **Die Stärke**, v. 24, n. 6, p. 187-191, 1972.

RANKIN, J.C.; SAMALIK, J.H.; RUSSEL, C.R.; RIST, C.E. Acid-modified wheat flours – contribution of starch and protein components to paste properties and performance of the flour as surface sizes for paper. **Cereal Science Today**, v. 18, n. 3, p. 74-76, 1973.

REICHERT, R.D.; TATARYNOVICH, J.T.; TYLER, R.T. Abrasive dehulling of quinoa (*Chenopodium quinoa*): effect on saponin content as determined by an adapted hemolytic assay. **Cereal Chemistry**, v. 63, n. 6, p. 471-475, 1986.

RONDA, F.; GÓMEZ, M.; BLANCO, C. A.; CABALLERO, P. A. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes.. **Food Chemistry**, v. 90, p. 549-555, 2005.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Nutritional quality of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, Lincoln, v. 42, n. 1, p. 1-12, 1992.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*; Willd) seeds. **Food Chemistry**, Oxford, v. 48, n. 2, p. 131-136, 1993.

RUALES, J.; VALENCIA, S.; NAIR, B. Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa*; Willd). **Starch**, v. 45, n. 1, p. 13-19, 1993.

RUSSO, J.V.B.; DOE, G.A. Heat-treatment of flour as an alternative to chlorination. **Journal of Food Technology**, v. 5, p. 363-374, 1970.

SCHOFIELD, J. D.; BOOTH, M. R. Wheat proteins and their technological significance. In: HUDSON, B. F. J. **Developments in Food Protein**. London: Applied Science Publishers, 1983. vol. 2, p. 1-65.

SHIAU, S.; YEH, A. On-line measurement of rheological properties of wheat flour extrudates with added oxido-reductants, acid and alkali. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 193-202, 2004.

STAUFFER, C.E. **Functional Additives for Bakery Foods**, 3rd ed. Van Nostrand Reinhold: New York, USA, 1990.

TAKEDA, K. Effects of various lipid fractions of wheat flour on expansion of sponge cake. **Cereal Chemistry**, v. 71, p. 6-9, 1994.

THOMASSON, C.A.; MILLER, R.A.; HOSENEY, R.C. Replacement of chlorine treatment for cake flour. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 6, p. 616-620, 1995.

WEBER, E.J. The Inca's answer to food shortage. **Nature**, v. 272, p. 486, 1978.

WILSON, H. D. *Chenopodium quinoa*, Willd: variation and relationships in southern South America. **National Geographical Society Research Reports**, v. 19, p. 711-721 1985.

ZEELANDIA H. J. DOLEMAN B.V. Product information about Top Fligh Snowdonw, 14/08/2006.

APÊNDICE A

Perfis de viscosidade das amostras de farinha de trigo e de quinoa e suas misturas (triplicata)

Graphical Analysis Results - 20060828

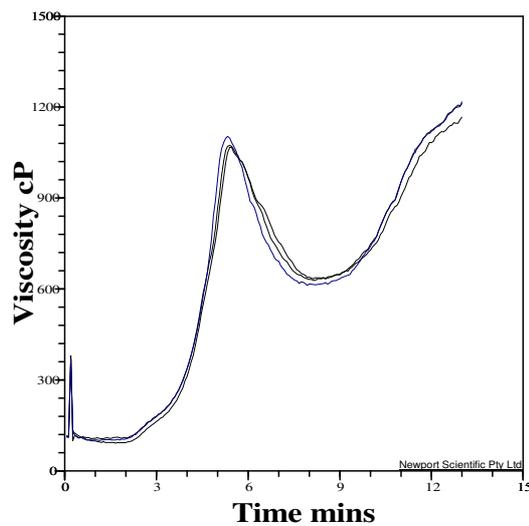


Figura A.1. Perfil de viscosidade da farinha de trigo padrão.

Graphical Analysis Results - 20060828

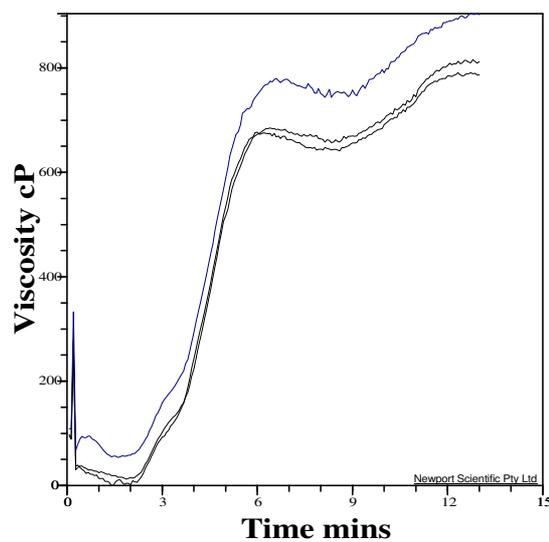


Figura A.2. Perfil de viscosidade da farinha de quinoa.

Graphical Analysis Results - 20070612

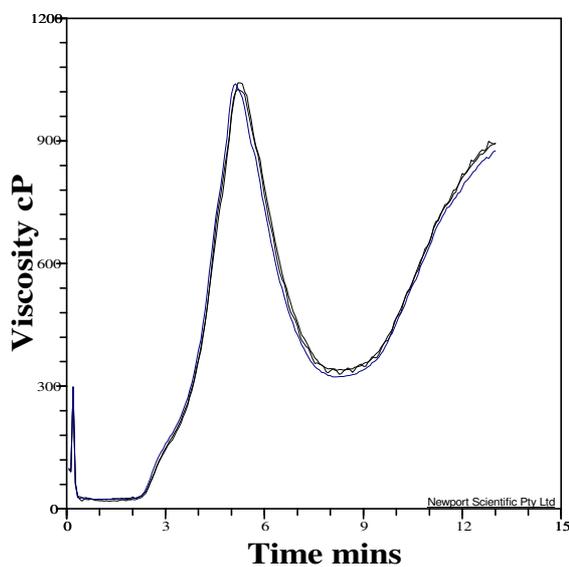


Figura A.3. Perfil de viscosidade da farinha de trigo A.

Graphical Analysis Results - 20070612

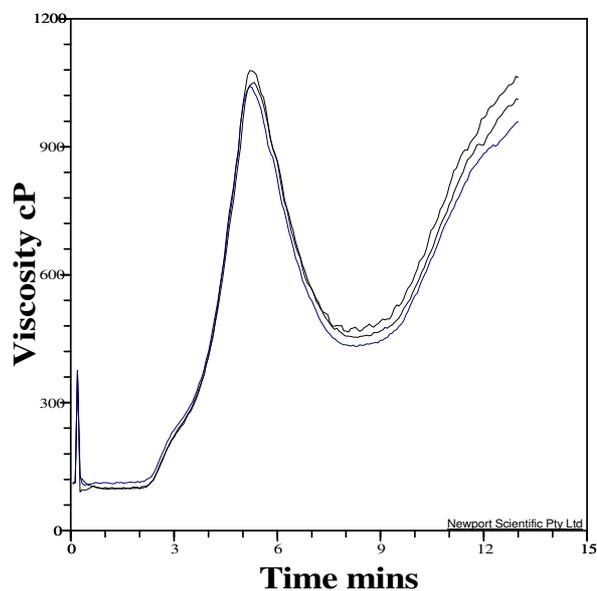


Figura A.4. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (90%) e farinha de quinoa (10%).

Graphical Analysis Results - 20070612

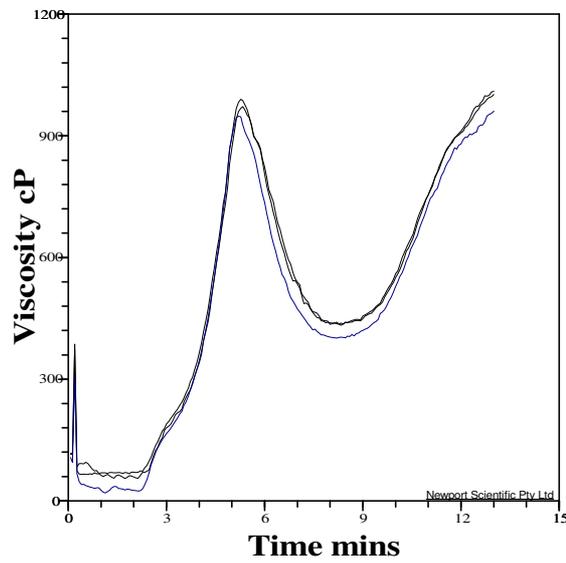


Figura A.5. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (80%) e farinha de quinoa (20%).

Graphical Analysis Results - 20070612

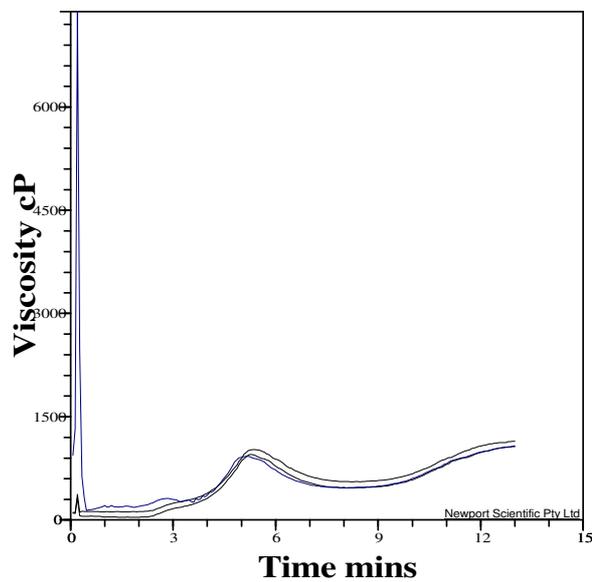


Figura A.6. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo A (70%) e farinha de quinoa (30%).

Graphical Analysis Results - 20060728

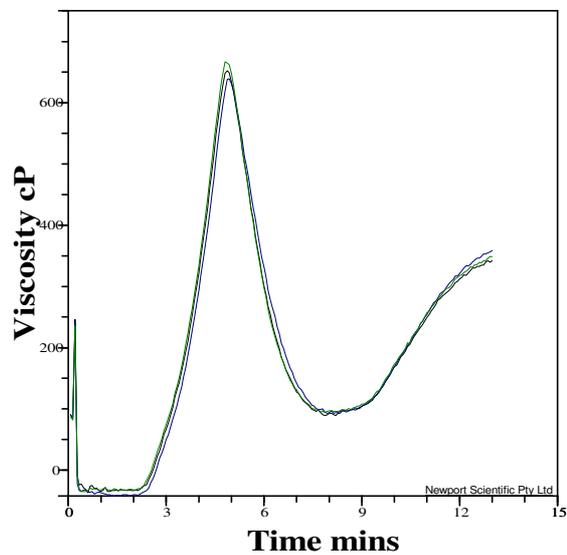


Figura A.7. Perfil de viscosidade da farinha de trigo B.

Graphical Analysis Results - 20060828

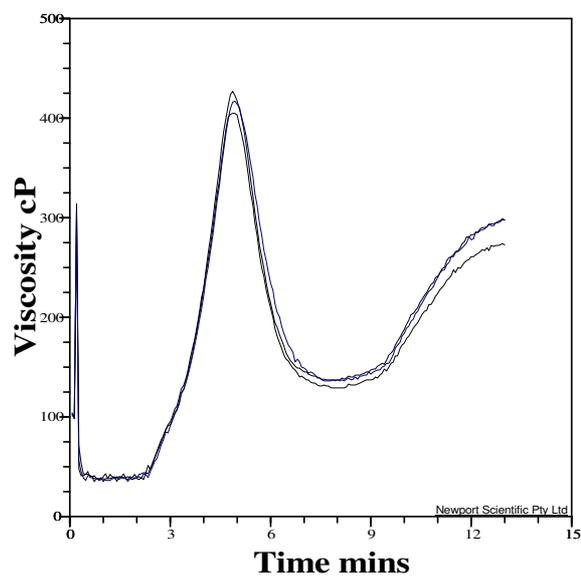


Figura A.8. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (90%) e farinha de quinoa (10%).

Graphical Analysis Results - 20060828

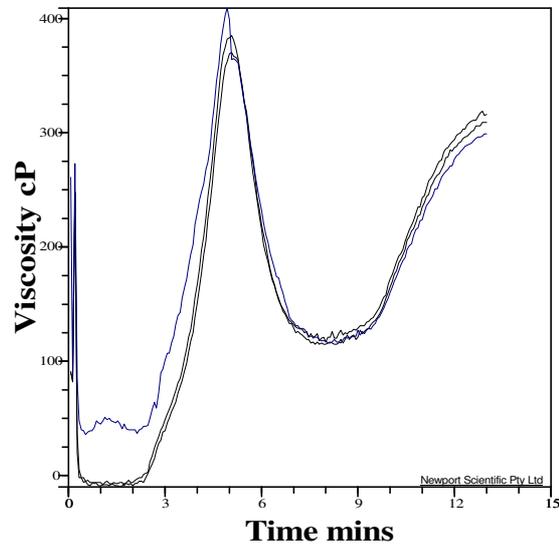


Figura A.9. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (80%) e farinha de quinoa (20%).

Graphical Analysis Results - 20060828

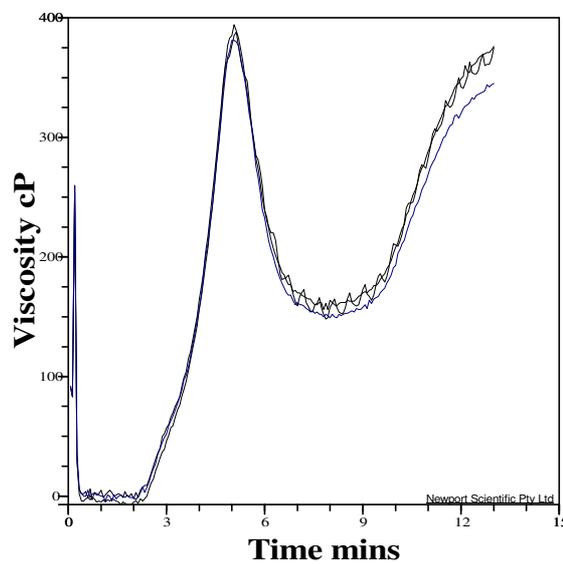


Figura A.10. Perfil de viscosidade da mistura de farinha de trigo B (70%) e farinha de quinoa (30%).

APÊNDICE B

Farinogramas das amostras de farinha de trigo e de suas misturas com farinha de quinoa

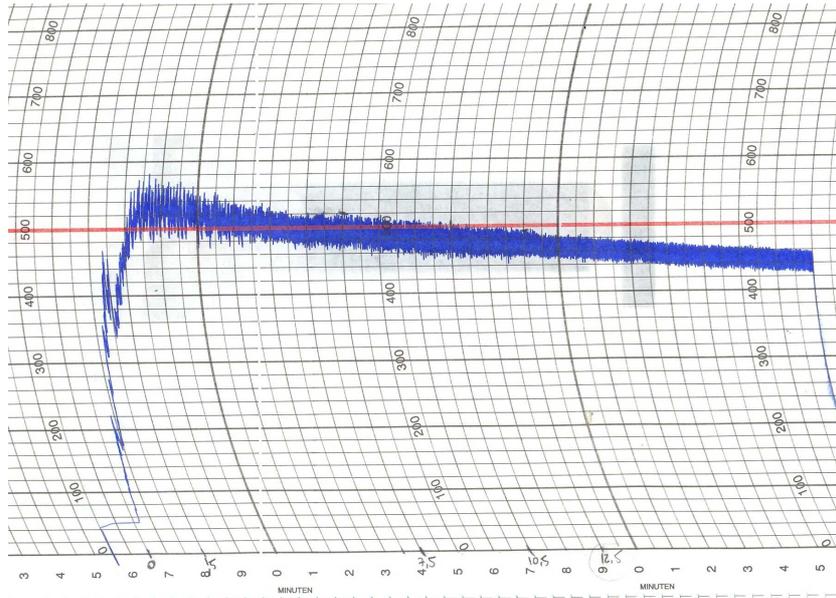


Figura B.1. Farinograma da farinha de trigo padrão.

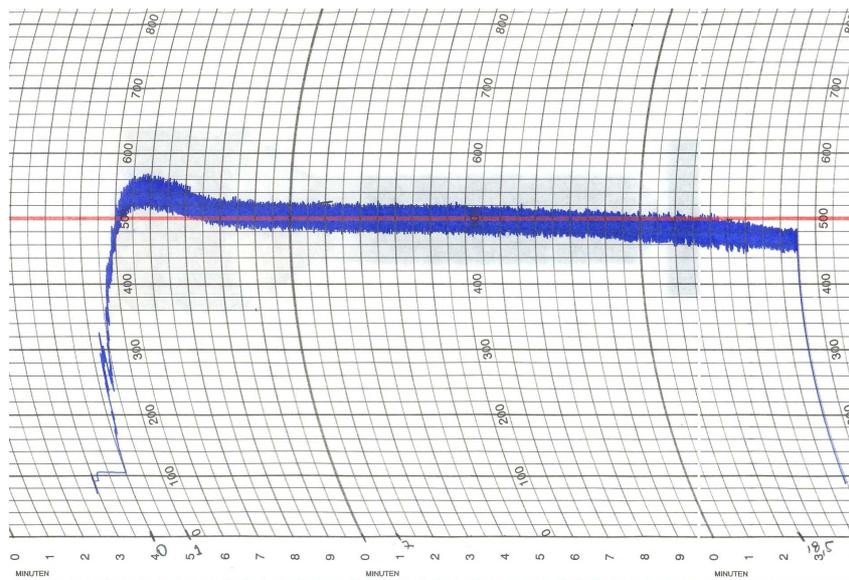


Figura B.2. Farinograma da farinha de trigo A.

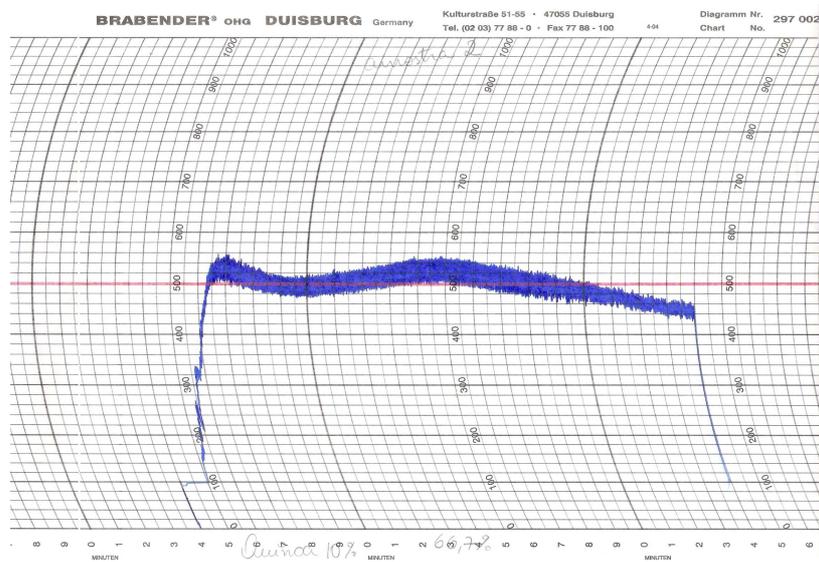


Figura B.3. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (90%) com farinha de quinoa (10%).

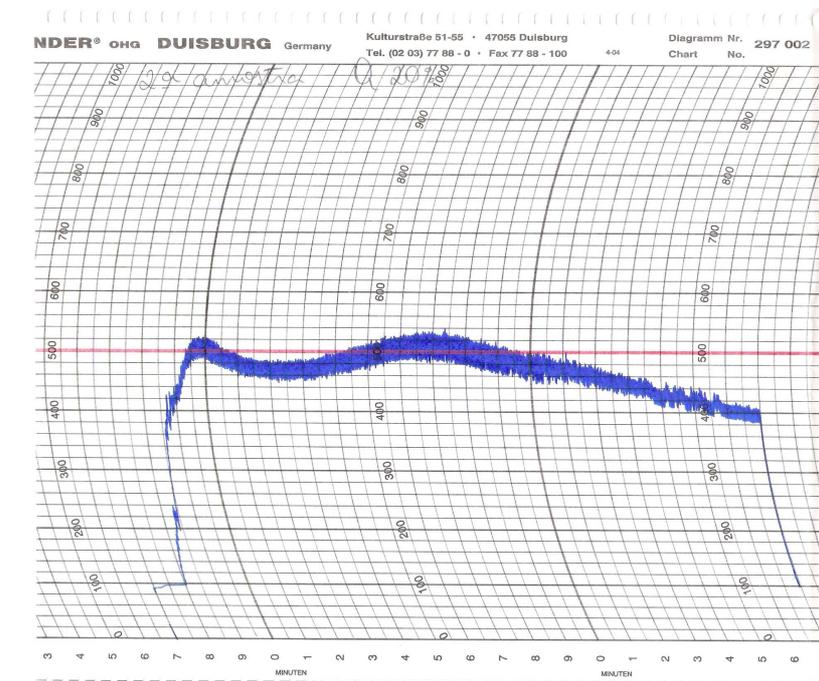


Figura B.4. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (80%) com farinha de quinoa (20%).

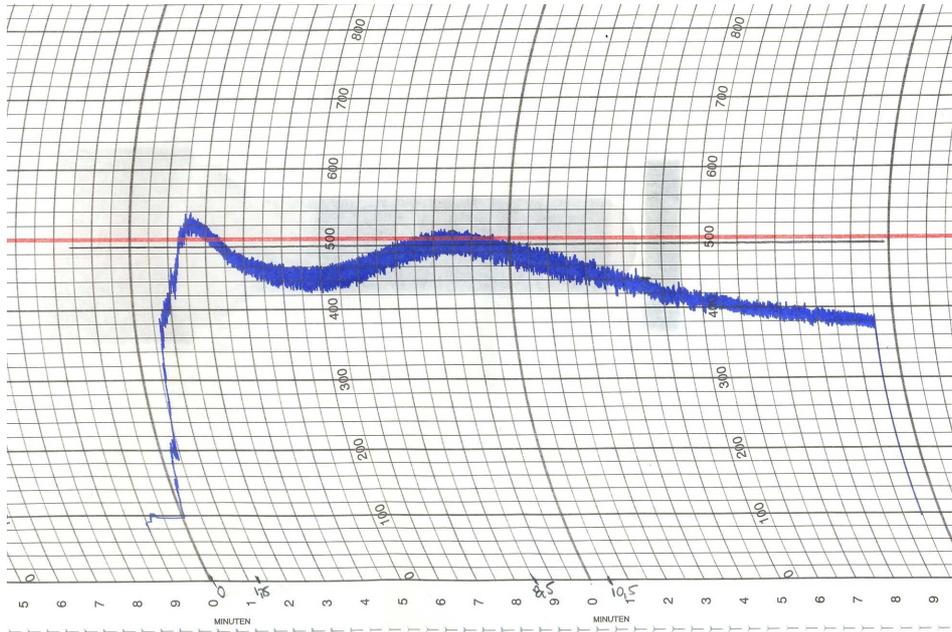


Figura B.5. Farinograma da mistura da farinha de trigo A (70%) com farinha de quinoa (30%).

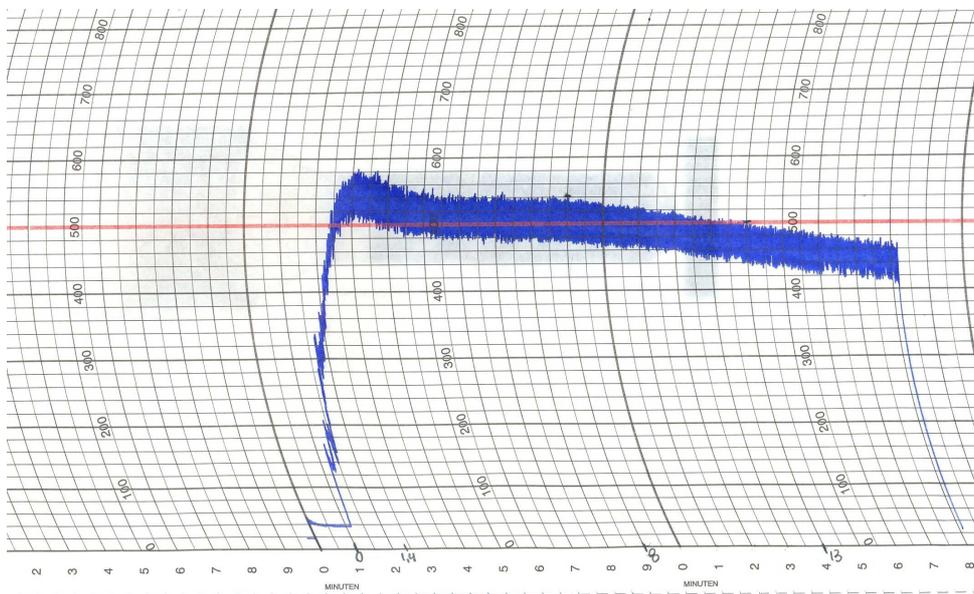


Figura B.6. Farinograma da farinha de trigo B.

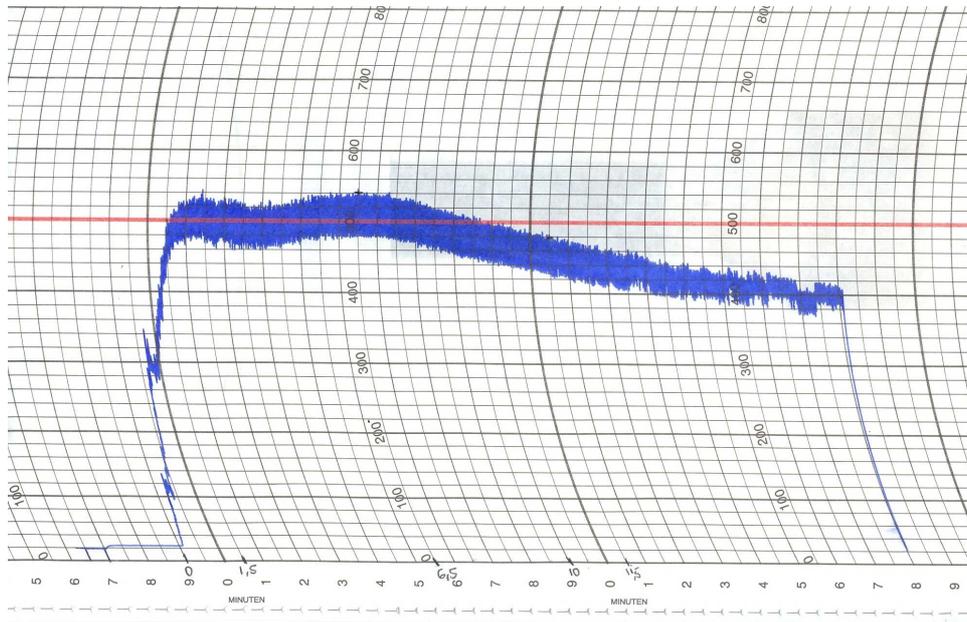


Figura B.7. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (90%) com farinha de quinoa (10%).

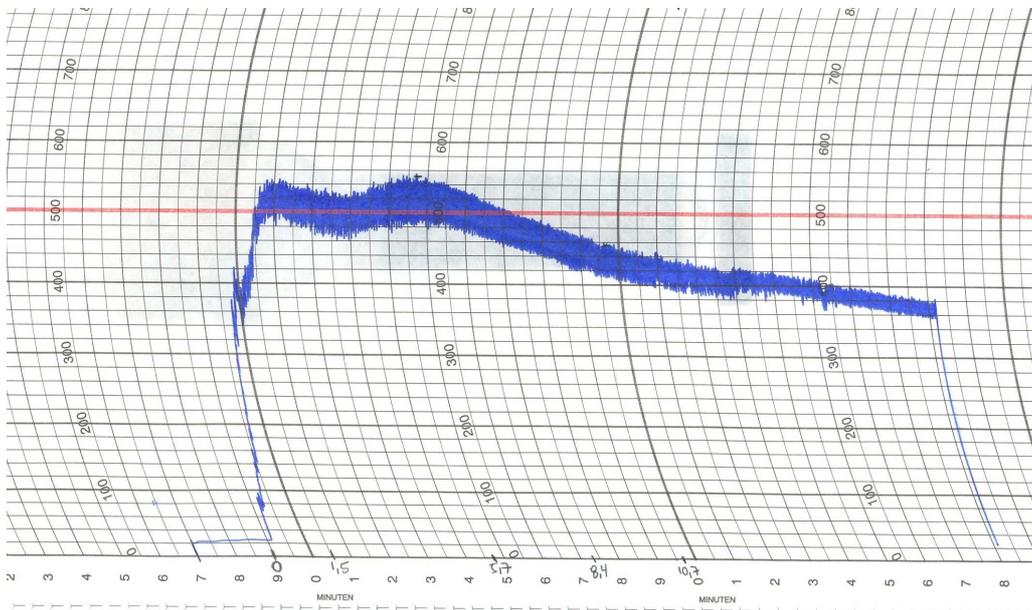


Figura B.8. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (80%) com farinha de quinoa (20%).

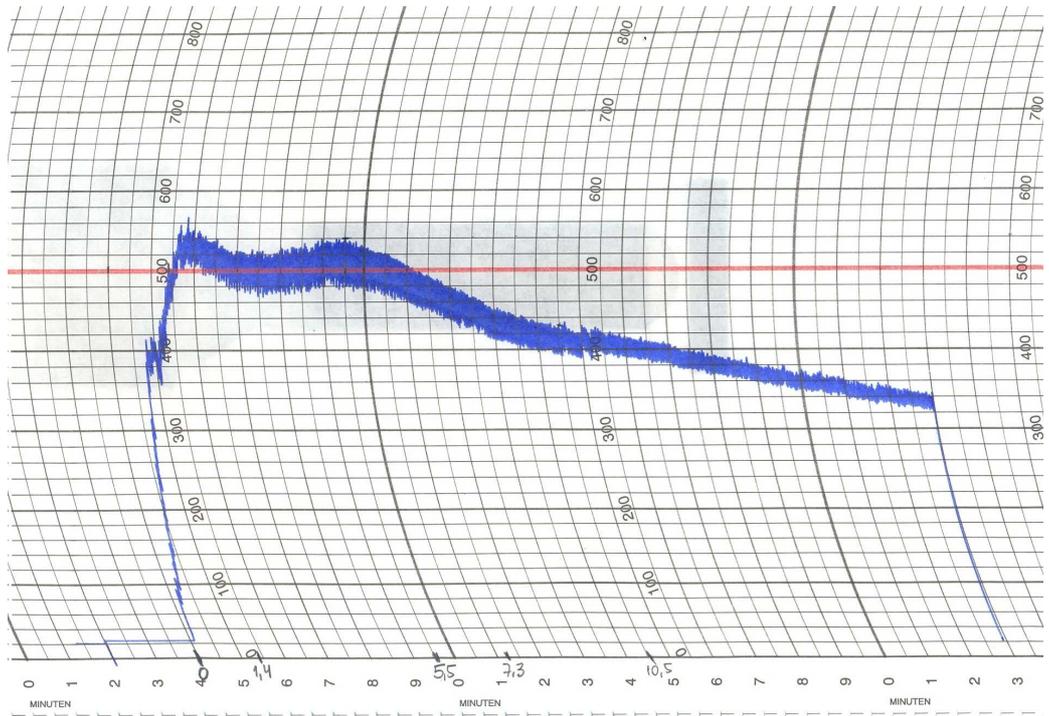


Figura B.9. Farinograma da mistura da farinha de trigo B (70%) com farinha de quinoa (30%).

