



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

ANA ELISA ROMANI DE PONTES

**Desenvolvimento de pão de forma sem adição de açúcares,
gorduras e emulsificantes, com o uso de enzimas e amido de
mandioca modificado**

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

Orientador:

Prof. Dr. Yoon Kil Chang

CAMPINAS

2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

P777d Pontes, Ana Elisa Romani de
Desenvolvimento de pão de forma sem adição de açúcares,
gorduras e emulsificantes, com o uso de enzimas e amido de mandioca
modificado / Ana Elisa Romani de Pontes. -- Campinas, SP: [s.n.],
2006.

Orientador: Yoon Kil Chang
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Pão. 2. Substituição de gordura. 3. Amido modificado. 4.
Amiloglucosidase. 5. Fosfolipase. I. Chang, Yoon Kil. II.
Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de
Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: No sugar, fat and emulsifier bread development using enzymes and
tapioca modified starch

Palavras-chave em inglês (Keywords): Bread, Fat replacement, Modified starch,
Amyloglucosidase, Phospholipase

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Yoon Kil Chang

Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva

Caroline Joy Steel

Ahmed Athia El-Dash

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Orientador

Profa. Dra. Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva
Membro

Profa. Dra. Caroline Joy Steel
Membro

Prof. Dr. Ahmed Athia El-Dash
Membro

Aos meus pais Octavio e Neide, pelo
exemplo de vida
e ao meu companheiro Marcelo,
pelo apoio, incentivo e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Yoon, pela orientação, amizade e paciência.

Às professoras Maria Aparecida e Caroline pelas valiosas correções e sugestões feitas ao trabalho.

À professora Bel pelo grande auxílio na interpretação estatística dos resultados obtidos, pelo otimismo e energia.

À Cristina Santos, pelo apoio e confiança, muito obrigada!

Ao Nicomedes Neves, quem primeiro acreditou que este trabalho seria possível.

Ao Matheus Depieri e à Alessandra Coelho, do Laboratório de Cereais, pelo auxílio nas análises e imensa paciência.

Ao Irineu Oliveira e à Walderez Siqueira, pelo auxílio na elaboração dos pães.

À Fernanda Carvalho, pela ajuda na análise sensorial e todo apoio.

Ao Sebastião Mendes, pelos ensinamentos em panificação.

À Cargill, pela oportunidade concedida e liberação de materiais, instalações e funcionários para elaboração dos pães e análise sensorial.

À Prozyn, especialmente à Daniela, Cynthia e Simone, por gentilmente ceder as enzimas, informações e auxílio nas análises.

Ao Marcelo Petrocelli, pela amizade, companheirismo, paciência e compreensão.

À Margarida, Neide e Octavio Pontes, pela amizade, incentivo, correções ortográficas, auxílio na formatação do texto e tudo o mais!

Aos meus amigos e todos que de alguma forma contribuíram e me apoiaram nesta jornada.

Valeu!

*Uma jornada de duzentos quilômetros
começa com um simples passo.*
(Provérbio chinês)

RESUMO

As sociedades modernas têm apresentado um crescente interesse por alimentos saudáveis, com teor calórico reduzido e livres de ingredientes, como açúcares, gorduras saturadas e ácidos graxos *trans*, mas que mantenham as características sensoriais agradáveis dos produtos originais. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa de pão de forma sem adição de açúcar, gordura e emulsificantes, com a utilização de amido modificado por ligações cruzadas (fosfatado), acetilado e pré-gelatinizado de mandioca (AMPM) e das enzimas α -amilase, amiloglucosidase (AMG) e fosfolipase (FOSFO). Para tanto, foi elaborado um planejamento experimental do tipo composto central rotacional com três variáveis independentes: dosagem de amido modificado AMPM (x_1), de amiloglucosidase AMG (x_2) e fosfolipase FOSFO (x_3). Analisaram-se as matérias-primas principais e os pães de forma foram elaborados pelo método de massa direta. Além dos parâmetros L^*a^*b de coloração do miolo e o volume dos pães após a produção, efetuou-se também a análise da umidade e da textura durante a vida de prateleira, após 24, 72 e 120 horas de estocagem. Dentro das faixas estudadas para as três variáveis, foi possível verificar que nenhuma delas teve influência estatisticamente significativa nas respostas analisadas, apesar do erro puro ter sido adequado para o processo de panificação utilizado, mostrando uma boa reprodutibilidade. Algumas amostras foram submetidas a um painel sensorial de consumidores para avaliação dos parâmetros de sabor e textura, sendo que a amostra com menores concentrações de AMPM, AMG e FOSFO recebeu a menor pontuação. Já as demais amostras apresentaram pontuação estatisticamente igual ao padrão, utilizando gordura, açúcar e emulsificante. De maneira geral, a melhor relação entre a aceitação dos consumidores, o custo da formulação e a porcentagem de retenção de umidade dos pães foram obtidos com a formulação utilizando 1,5% do amido modificado e atividade de fosfolipase de 960 PLU por kg de farinha de trigo.

Palavras-chave: pão, substituição de gordura, substituição de açúcar, substituição de emulsificantes, amido modificado, amiloglucosidase, fosfolipase.

ABSTRACT

Modern societies are presenting a growing interest in healthy foods, low calories and free from undesirable ingredients such as sugar, saturated and “*trans*” fatty acids but maintaining sensorial characteristics of the original foods. This work intends to present an option of sliced bread with total substitution of sugar, fat and emulsifiers, with the use of a instant cross linked acetylated tapioca starch (AMPM) , α -amylase, amyloglucosidase (AMG) and phospholipase (FOSFO). For this, an experimental design with three independents variable was done: the dosage of modified starch (AMPM – x_1), amyloglucosidase (AMG – x_2) and phospholipase (FOSFO – x_3). The raw materials were analyzed and the bread was produced using straight dough process. Besides the color of the crumb and bread volume after the production the moisture content and texture during the shelf-life (24, 72 and 120 hours) were measured. None of the three variables had statistically significant effects on the results, even though the process showed good reproductibility. However, the same samples were tested in a sensorial panel for taste and texture attributes and the sample with the lower amounts of AMPM, AMG and FOSFO showed the worst score. The remaining samples received the same punctuation as the standard bread. Thus, the recipe with the best combination of cost, consumer acceptance and moisture retention was the bread with 1.5% of modified tapioca starch (AMPM) and phospholipase activity of 960 PLU / kg of wheat flour.

Key-words: bread, fat replacement, sugar replacement, emulsifier replacement, modified starch, amyloglucosidase, phospholipase.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Parâmetros de análise do método STD1.....	17
Tabela 2. Formulação de pão de forma – ensaios preliminares.....	19
Tabela 3. Aditivos utilizados nos ensaios preliminares.....	20
Tabela 4. Formulação base de pão de forma.....	21
Tabela 5. Variáveis e níveis do planejamento fatorial para os pães de forma.....	24
Tabela 6. Delineamento experimental para os pães de forma.....	25
Tabela 7. Características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo.....	33
Tabela 8. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO no volume dos pães.....	37
Tabela 9. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na coloração dos pães.....	40
Tabela 10. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na umidade dos pães.....	43
Tabela 11. Porcentagem de redução do teor de umidade dos pães.....	45
Tabela 12. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na força de compressão do miolo dos pães.....	48
Tabela 13. Valores médios de aceitação para os pães.....	52
Figura 1. Fluxograma do processo para produção de pães por massa direta.....	26
Figura 2. Análise de textura do miolo do pão de forma.....	30
Figura 3. Ficha de avaliação sensorial de pão de forma.....	32
Figura 4. Perfil de viscosidade do amido AMPM.....	34
Figura 5. Variação da umidade dos pães durante a armazenagem.....	46
Figura 6. Variação da textura dos pães durante a armazenagem.....	50
Figura 7. Distribuição de frequência dos valores hedônicos com relação ao sabor.....	53
Figura 8. Distribuição de frequência dos valores hedônicos com relação à textura.....	54

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	01
2.	Revisão Bibliográfica.....	03
2.1.	Pão de forma.....	03
2.2.	Enzimas em panificação.....	05
2.2.1.	Amiloglucosidase.....	05
2.2.2.	Fosfolipase.....	06
2.3.	Amidos.....	08
2.4.	Produtos com redução de teor calórico.....	09
2.4.1.	Substitutos de gordura.....	10
2.4.2.	Substitutos de açúcar.....	12
3.	Materiais e Métodos.....	14
3.1.	Materiais.....	14
3.1.1.	Matérias-primas.....	14
3.1.2.	Equipamentos.....	15
3.2.	Métodos experimentais.....	16
3.2.1.	Métodos para avaliação das matérias primas.....	16
3.2.1.1.	Farinha de trigo.....	16
3.2.1.1.1.	Farinograma.....	16
3.2.1.1.2.	Falling number.....	16
3.2.1.1.3.	Alveograma.....	16
3.2.1.2.	Viscosidade do amido.....	17
3.2.1.3.	Atividade enzimática.....	18
3.2.2.	Ensaio preliminares.....	19
3.2.3.	Delineamento experimental.....	21
3.2.4.	Método para produção dos pães.....	26
3.2.5.	Métodos para avaliação dos pães.....	27
3.2.5.1.	Volume específico dos pães.....	27
3.2.5.2.	Coloração do miolo dos pães.....	27
3.2.5.3.	Umidade durante armazenagem.....	27
3.2.5.4.	Avaliação instrumental da textura dos pães.....	28
3.2.5.5.	Avaliação sensorial – teste de aceitação.....	30
4.	Resultados e Discussão.....	33
4.1.	Matérias-primas.....	33
4.1.1.	Farinha de trigo.....	33
4.1.2.	Amido pré-gelatinizado e modificado de mandioca.....	34
4.1.3.	Atividade enzimática.....	35
4.2.	Análise dos pães de forma.....	35
4.2.1.	Volume dos pães.....	35
4.2.2.	Coloração do miolo dos pães.....	39
4.2.3.	Umidade dos pães.....	42
4.2.4.	Textura dos pães.....	47
4.2.5.	Resultados sensoriais.....	51
5.	Conclusões.....	56
6.	Referências Bibliográficas.....	59
	ANEXOS.....	65

1. Introdução

Com o passar dos anos, a preocupação com alimentação e hábitos de vida saudáveis vem sendo cada vez mais freqüente.

Os termos *fat-free*, sem açúcar, caloria reduzida, *light*, sem colesterol e baixo teor de sódio têm sido utilizados como apelos importantes para os consumidores, que estão constantemente em busca de alimentos mais saudáveis, mas que mantenham seu sabor original (PECK, 1994).

As razões que guiam os consumidores na busca de alimentos saudáveis, como os alimentos funcionais, incluem o aumento do vigor para enfrentar o estresse da vida moderna, eliminar maus hábitos alimentares, controle de peso (cerca de 50% da população dos países industrializados apresenta obesidade), prevenção de doenças degenerativas (doenças cardíacas, câncer e diabetes – quase dois terços das mortes são causadas por estas doenças), compensar os efeitos da falta de exercícios físicos e para retardar o envelhecimento (KAHLON & KEAGY, 2003).

A ingestão excessiva de gordura pode levar à obesidade, doença de caráter endêmico e que hoje está sendo considerada um problema sério de saúde pública no Brasil. Além de ser uma doença de caráter genético, a obesidade é uma enfermidade, hoje, relacionada principalmente às mudanças de hábitos alimentares que ocorreram com o tempo e ao sedentarismo (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996; SALGADO, 2000).

A obesidade hoje representa um dos maiores problemas de saúde nas sociedades em crescente desenvolvimento tecnológico. Essa doença pode ser causada, principalmente, por um desequilíbrio entre a quantidade de calorias consumidas e a quantidade gasta (KHAN,

1993; DEVEREUX et al., 2003). Além disso, ela pode estar também relacionada com outros problemas crônicos, como diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e câncer (SALGADO, 2000).

O diabetes mellitus, doença crônica que está entre as maiores causas de morbidade e mortalidade no Brasil, tem suas origens vinculadas a fatores genéticos e ao estilo de vida, como alimentação inadequada e obesidade (TORQUATO et al., 2003). Como a correção da hiperglicemia pode retardar o aparecimento da doença em pessoas com propensão genética e evitar suas complicações, a redução do consumo de açúcares é indicada para a prevenção e controle do diabetes (SICHERI et al., 2000).

Recentemente, os ácidos graxos *trans* foram incluídos entre os lipídeos dietéticos que atuam como fatores de risco para doença arterial coronariana, modulando a síntese do colesterol e de suas frações, tornando-se um novo item a ser considerado nas dietas humanas (CHIARA et al., 2003).

Desta forma, dietas baseadas em alimentos com teor reduzido de gorduras e calorias são recomendadas para a perda e manutenção de peso, porém, em grande parte, há certa rejeição da população por esse tipo de dieta devido à baixa qualidade organoléptica desses produtos (DEVEREUX et al., 2003).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa de pão de forma para dietas com restrição de consumo de açúcares e gorduras, utilizando-se de uma formulação sem adição de açúcar, gordura e emulsificantes, substituídos por amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca (AMPM) e pelas enzimas α -amilase, amiloglicosidase (AMG) e fosfolipase (FOSFO).

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Pão de forma

Segundo o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade do Pão (BRASIL, Resolução RDC nº90, de 18/10/2000), esse alimento é um produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa fermentada, ou não, preparada com farinha de trigo e / ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes. A classificação “pão de forma” é dada ao produto obtido pela cocção da massa em formas, apresentando miolo elástico e homogêneo, com poros finos e casca fina e macia.

Os ingredientes básicos para a produção de pães são: farinha de trigo, fermento e água. Além desses, normalmente são adicionados outros ingredientes, como: sal, açúcares, glúten vital, agentes reforçadores do glúten (como ácido ascórbico, azodicarbonamida, etc.), enzimas, gorduras, entre outros, para obtenção de características específicas desejadas.

Em produtos de panificação, as gorduras auxiliam na incorporação e retenção dos gases produzidos durante a fermentação, além de contribuir para a maciez e para aumentar a vida de prateleira de pães (EL-DASH et al.,1982; ALTSCHUL, 1993).

Além disso, óleos e gorduras têm importante papel como lubrificantes na massa de produtos de panificação, evitando a aderência nos recipientes durante sua mistura e manipulação. Para pães de forma, esses ingredientes são importantes para evitar o esfarelamento durante o fatiamento (ALTSCHUL, 1993).

Os emulsificantes são aditivos amplamente utilizados em produtos de panificação, com

função de reforçadores de glúten (DATEM - , CSL - e SSL) e como agentes complexadores de amido para evitar a retrogradação (monoglicerídeos) (TAMSTORF et al., 1987).

Os fosfolipídeos são componentes minoritários na farinha de trigo (0,5% massa seca), porém é sabido que alguns desses compostos, como a fosfatidilcolina, lisofosfatidilcolina, N-acilfosfatidiletanolamina e N-acillisofosfatidiletanolamina, têm importante papel na qualidade da massa durante o processo de panificação, pela interação entre lipídeos e proteínas na rede de glúten (NÉRON et al., 2004).

Em produtos de panificação, o açúcar desempenha vários papéis, como fonte de açúcares fermentescíveis para rápida utilização pelas leveduras, fonte de açúcares redutores para reações de escurecimento, tendo, portanto, importante papel no sabor final dos produtos.

Além da doçura, a sacarose também desempenha outras funções em produtos de panificação, proporcionando corpo, auxiliando na textura e na preservação dos produtos (PECK, 1994).

A perda de qualidade dos pães de forma durante o tempo de estocagem está relacionada a dois principais fatores: deterioração pela ação de microrganismos e o enrijecimento e perda de maciez. O primeiro fator tem sido contornado pela indústria com o uso de conservantes, já a perda de maciez ainda é um item preocupante para a extensão da vida de prateleira de pães de forma.

A perda de maciez de produtos de panificação está diretamente relacionada com o fenômeno de retrogradação do amido. Com o resfriamento, a amilose e a amilopectina, que foram disponibilizadas do grânulo de amido durante a gelatinização, iniciam um processo de re-associação – a retrogradação (HUNG & MORITA, 2004).

2.2 Enzimas em panificação

Enzimas são compostos de natureza protéica, com propriedades catalíticas (EL-DASH et al., 1982).

A farinha de trigo possui naturalmente em sua composição algumas enzimas, como α e β -amilases, responsáveis por hidrolizar as ligações glicosídicas em carboidratos. A quantidade de enzimas presente depende das condições de plantio e crescimento do trigo utilizado na moagem da farinha (OBEL, 2001).

Modificações na estrutura dos polissacarídeos (como o amido) da farinha de trigo pela adição de enzimas, normalmente trazem efeitos positivos nas características das massas e dos pães (JIMÉNEZ & MARTÍNEZ-ANAYA, 2001).

Enzimas são classificadas como coadjuvantes alimentares, sendo, em sua maioria, desnaturadas à temperatura de forneamento de produtos de panificação.

Nos últimos anos, vários tipos de aditivos têm sido utilizados para melhorar a qualidade de alimentos processados, porém é sabido que há uma rejeição por parte dos consumidores ao uso de aditivos químicos, com isso aditivos “naturais”, como enzimas, vêm sendo cada vez mais utilizados (NÉRON et al., 2004).

2.2.1 Amiloglucosidase

Em produtos de panificação, as amilases são as enzimas responsáveis pela transformação do amido em açúcares fermentescíveis (LINKO & LINKO, 1987). São classificadas como amilases as seguintes enzimas: α e β -amilases, amilases maltogênicas,

pululanases e amiloglucosidase.

Amilases são enzimas que atuam hidrolisando cadeias de amido, sendo que as α -, β - e glucoamilases quebram as ligações glicosídicas α -1,4, enquanto as pululanases e isoamilases atuam nas ligações α -1-6 (EL-DASH et al., 1982; OBEL, 2001).

As α -amilases hidrolisam a cadeia de amido, produzindo dextrinas, que podem ser hidrolisadas pelas β -amilases em maltoses ou em glicose pelas amiloglucosidases. As moléculas de maltose são fermentadas mais lentamente que as moléculas de glicose (KRUGER et. al., 1987).

A α -amilase age rapidamente no amido gelatinizado, liberando seus açúcares, que servirão de substrato para as leveduras durante a fermentação (EL-DASH et al., 1982).

A amiloglucosidase atua a partir dos extremos não redutores das cadeias de amilose e amilopectina, produzindo monossacarídeos (dextrose). Portanto, o emprego da amiloglucosidase permite reduzir os níveis de açúcares, utilizados em formulações de produtos de panificação (OBEL, 2001).

Devem-se observar as quantidades de enzimas adicionadas às formulações de pães, pois o uso inadequado dessas pode afetar negativamente a qualidade da massa e de pães. Sobredosagens de amilases, particularmente α -amilase bacteriana, leva a um alto grau de dextrinização, proporcionando pães liguentos e gomosos (COLLAR et al., 2000).

2.2.2 Fosfolipase

As lipases e fosfolipases são classificadas como hidrolases, uma sub-classe das estearases (LINKO & LINKO, 1987).

As fosfolipases são um grupo de enzimas que catalisam reações de hidrólise de ésteres, ligados a glicerofosfolipídeos. Os fosfolipídeos são os principais constituintes das membranas biológicas e, *in vivo*, a sua hidrólise é regulada por fosfolipases com um efetivo papel fisiológico (SILOTO, 2001).

Atualmente são conhecidos vários tipos de fosfolipases, cada qual com um mecanismo de atuação específico. A fosfolipase A₁ age no fosfolípide hidrolisando o ácido graxo ligado ao carbono C³; a fosfolipase A₂ hidrolisa o ácido graxo ligado ao carbono C²; a fosfolipase B hidrolisa ambos os ácidos graxos; a fosfolipase C hidrolisa o grupo fosfato e a fosfolipase D hidrolisa o radical do fosfolípide (colina, etanolamina, etc.) (SCHOMBURG & SALZMANN, 1991).

Há poucos dados científicos disponíveis sobre a ação das fosfolipases em produtos de panificação, porém sabe-se que a ação dessas enzimas sobre o material graxo da farinha de trigo resulta na produção de estruturas funcionalmente similares às dos emulsificantes químicos (CHELL, 1997). Essas enzimas proporcionam à massa um balanço adequado de elasticidade e extensibilidade e uma redução da pegajosidade, proporcionando um produto final com maior volume e maciez (NÉRON et al., 2004).

Com a adição de fosfolipase A₂ à farinha de trigo, durante o desenvolvimento da massa do pão, há a hidrólise da fosfatidilcolina e N-acilfosfatidiletanolamina, com a formação de lisofosfatidilcolina e N-acillisofosfatidiletanolamina, sendo que a fosfolipase A₂ se mostrou mais eficiente para fosfatidilcolina que para N-acilfosfatidiletanolamina (NÉRON et al., 2004).

A fosfolipase A₂ pode ser obtida a partir de pâncreas, fígado e coração de porcos e roedores, de tecidos de cobras, de microrganismos como *Streptomyces cinnamomeus*, *E. Coli*

e outras bactérias (SCHOMBURG & SALZMANN, 1991; FOX, 1991).

2.3 Amidos

Amidos são a principal reserva de polissacarídeos no reino vegetal, sendo a maior fonte de carboidratos na dieta humana (CARIOCA et al., 1996). Vêm sendo largamente utilizados pela indústria de alimentos como agentes espessantes, de enchimento, para aumentar ou alterar a viscosidade de alguns produtos e demais fins. Podem ser utilizados em sua forma nativa ou após modificações físicas e / ou químicas, na forma de amidos modificados e / ou derivados, como maltodextrinas, dextrinas, xaropes de glicose, entre outros.

O amido ocorre na natureza como grânulos cristalinos, compostos por uma mistura de dois polissacarídeos: a amilose e a amilopectina. O grânulo de amido incha muito pouco em água fria, porém, quando a suspensão de amido em água é aquecida a certas temperaturas, chamadas de temperaturas de gelatinização, os grânulos perdem sua cristalinidade, o que permite a absorção de grandes quantidades de água, aumentando seu tamanho diversas vezes em relação ao tamanho inicial. Com a queda da temperatura, é formado o gel composto pelos grânulos de amido intumescidos (CARIOCA et al., 1996; GENOVESE & RAO, 2003).

Algumas fontes comerciais de amido são: o milho, a batata, o trigo, o arroz e a mandioca. Essa última pertence à família das *Euphorbiaceae*, geralmente classificada como *Manihot esculenta* ou *Manihot utilissima* ou *Manihot Aipi* (THOMAS & ATWELL, 1999).

Normalmente, são necessárias algumas modificações químicas e físicas nos amidos nativos para permitir sua utilização em processos industriais, sem que percam as características desejadas, como a viscosidade e a resistência a retrogradação.

Amido ou fécula de mandioca nativa tem uma estreita faixa de viscosidade máxima, bem como características de textura e estabilidade limitadas. Algumas modificações químicas podem ser utilizadas para melhorar as propriedades funcionais do amido nativo de mandioca para o uso em alimentos industrialmente processados. A modificação por ligação cruzada aumenta a estabilidade do amido ao cozimento, bem como ao cisalhamento e condições ácidas. Já a modificação por substituição, como acetilação, reduz a associação das cadeias nas pastas de amido, dificultando o processo de retrogradação (SEGURA & SIRA, 2003).

Amidos acetilados proporcionam maior percepção de umidade após dois ou três dias de estocagem, principalmente em produtos de panificação com baixos teores de gordura. Os amidos parecem evitar a perda de água nesses produtos (KARAOGLU et al., 2001).

Em produtos de panificação, o amido atua como componente de enchimento da rede de glúten (MACRITCHIE, 2003), além de fornecer substrato para as leveduras no processo fermentativo, após sua hidrólise.

Porém, para ocorrer a ação das enzimas, os grânulos de amidos devem, primeiramente, estar acessíveis. Isto ocorre com a danificação do amido durante o processo de moagem da farinha, ou pela gelatinização do amido durante o processo de forneamento (OBEL, 2001).

Por esse motivo, para produtos de panificação, é indicado o uso de amidos pré-gelatinizados, pois, como a formação da pasta ocorre no processo de mistura e não no forneamento, os grânulos de amido estão totalmente acessíveis à ação das enzimas.

2.4 Produtos com redução no teor calórico

A elaboração de produtos que apresentem redução no teor calórico, pode ser feita pela

substituição parcial ou total de ingredientes com elevado teor calórico (como gorduras e açúcares) por ingredientes com valor calórico reduzido.

A formulação e produção de produtos com teor calórico reduzido requerem a utilização criativa de ingredientes que não são tipicamente encontrados em produtos de panificação. A substituição de alguns ingredientes pode afetar as interações entre os demais ingredientes, que influenciam a textura, a estabilidade, o sabor e a doçura desses produtos (KHAN, 1993).

No desenvolvimento de produtos de baixo teor de calorias, deve-se ter em conta que o substituto de gordura ou do açúcar deve desempenhar função equivalente, em termos funcionais e organolépticos (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996; DEVEREUX et al., 2003).

A elaboração de formulações de produtos de panificação, muitas vezes, torna-se uma atividade de balanceamento. Não é possível simplesmente remover o açúcar da formulação e adicionar um adoçante de alta intensidade, ou substituir a gordura por um amido modificado, pois não há ingredientes que sintetizem todas as funções desempenhadas pelo açúcar e pela gordura. Maior sucesso é esperado, quando são utilizadas combinações de ingredientes nas substituições (PECK, 1994).

2.4.1 Substitutos de gordura

Os lipídeos estão presentes em produtos de origem vegetal, dos quais são extraídos os óleos vegetais como óleo de soja, amendoim, arroz, milho, canola e oliva, além dos alimentos de origem animal como carnes, leite e ovos e em alimentos manufaturados como massas, sorvetes e outros (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

Gorduras apresentam *mouthfeel* único, fornecendo sensações de cremosidade e maciez

característicos de alguns alimentos. Além disso, óleos e gorduras absorvem e incorporam elementos de sabor e aroma, produzindo os sabores distintos dos alimentos (BERRY, 2005).

Também são essenciais à saúde por veicularem importantes nutrientes, como vitaminas (A, D, E e K) e ácidos graxos essenciais e como fonte de energia. São responsáveis por propriedades como firmeza, adesividade, elasticidade, paladar, cremosidade e ação lubrificante nos alimentos (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

Normalmente, as gorduras são os primeiros ingredientes a serem estudados para redução calórica, já que contribuem com mais que o dobro das calorias que as proteínas e carboidratos (KHAN, 1993).

Nos últimos anos, o número de substitutos de gordura desenvolvidos vem aumentando, buscando sempre manter as boas características sensoriais presentes nos alimentos com teor normal de gordura (BYRNE, 1995).

Há uma grande variedade de produtos derivados de amido, sendo utilizados como substitutos de gordura em alimentos, objetivando a redução calórica do produto final, já que o valor calórico do amido é de 4 Kcal / g, enquanto da gordura é de 9 Kcal / g (THOMAS & ATWELL, 1999).

Amidos e hidrocolóides induzem uma sensação reológica na boca, similar à da gordura, portanto, esses apresentam bons resultados, quando utilizados como substitutos de gordura em produtos de panificação (KHAN, 1993).

A interação do carboidrato com a água é importante para a habilidade do substituto de gordura simular as propriedades físicas e reológicas da gordura (LAI et. al., 1993).

Teixeira (2002) aplicou em maionese, como substitutos de gordura, de modo mais eficiente, o amido de milho ceroso parcialmente hidrolisado e acelitado, amido de mandioca

parcialmente hidrolisado, intercruzado (POCl_3) e acetilado e amido de mandioca parcialmente hidrolisado e esterificado com ácido láurico. Porém, verificou que um único substituto não foi suficiente para reproduzir todos os atributos associados à gordura.

Cônsole (1998) substituiu 30% da gordura de bolo por amido de mandioca parcialmente hidrolisado, obtendo resultados de textura, após 15 dias de armazenamento, iguais ao padrão.

2.4.2 Substitutos de açúcar

Atualmente, há diversos ingredientes disponíveis no mercado para substituir gorduras, porém a quantidade de produtos substitutos de açúcares é bem menor. Essa quantidade torna-se ainda mais limitada se o produto for submetido a processamento térmico (PECK, 1994).

Os açúcares são responsáveis por vários atributos de produtos de panificação, como fornecimento de carboidratos para fermentação das leveduras, doçura e sabor, desenvolvimento de cor, estrutura, textura e aparência. Portanto, a substituição total ou parcial desses por adoçantes alternativos pode causar mudanças nesses atributos (NELSON, 2000).

Alguns substitutos de açúcares utilizados em produtos de panificação são: acessulfame K, aspartame (encapsulado), sorbitol, frutose, alitame, isomalte, lactitol, maltitol, sucralose e outros (NABORS et al, 1991; ALTSCHUL, 1993).

Em testes realizados com bolo *diet* enriquecido com fibras, a polidextrose foi utilizada em concentrações entre 20 e 23,55% com boa aceitação pelos consumidores (TUROLA, 2002).

A maioria dos adoçantes alternativos não atua nas reações de escurecimento, como a

reação de Maillard e a caramelização. Por outro lado, alguns adoçantes que participam destas reações, devido ao seu elevado poder dulçor, são utilizados em quantidades tão pequenas, que também não têm papel representativo nessas. Portanto, muitas vezes se faz necessária a adição de corantes e aromas aos produtos de panificação com substituição de açúcar por adoçantes (NELSON, 2000).

Uma possibilidade em produtos de panificação é a utilização de enzimas amilolíticas, que atuem junto ao amido presente na farinha de trigo, produzindo os açúcares necessários à fermentação e às características sensoriais do produto.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

3.1.1 Matérias-primas

- Farinha de trigo panificável Letizia Panificação, da Cargill Agrícola S.A., fabricada em 27/08/03.
- Amido de mandioca modificado (“cross-linked” fosfatado e acetilado) e pré-gelatinizado Amidomax 3600, da Cargill Agrícola S.A., lote 30F001, produzido em 30/06/03.
- Enzima α -amilase fúngica Panzyn FA40, da Prozyn Ind. Com. Ltda., com atuação nas faixas de temperatura de 45 a 60°C e de pH entre 4,7 e 5,0 e com 40.000 SKB/g de atividade.
- Enzima amiloglucosidase, marca Panzyn GA100, da Prozyn Ind. Com. Ltda., obtida a partir de *Rhizopus oryzae*, com atuação ótima à temperatura de 50°C e em pH de 4,0 a 5,0.
- Enzima fosfolipase A2, marca AM Fosfolipase 197, da Prozyn Ind. Com Ltda., obtida a partir de *Aspergillus niger*, com temperatura de atuação entre 50 e 65°C.
- Gordura vegetal hidrogenada Fatgill PF38, da Cargill Agrícola S.A, com 19% de ácidos graxos saturados e 33% de ácidos graxos *trans*.
- Fermento biológico instantâneo seco Mauri, da Burns Philp, produzido em 29/04/03.
- Propionato de cálcio, da Saporiti do Brasil.

- Melhorador de farinha de trigo da Emulzint.
- Emulsificante Toldry B (polisorbato 80 e mono-diglicerídeos), da Agrícola Horizonte.

3.1.2. Equipamentos

Além da vidraria e aparelhos comuns de laboratório, foram utilizados também os seguintes equipamentos:

- Texturômetro TA.XT2 (Texture Analyser) com capacidade para 25 kg e programa XTRA Dimensions, marca STABLE MICRO SYSTEMS, Haslemere, Surrey, England;
- Viscosímetro RVA (Rapid Visco Analyser), modelo 4D com programa Thermocline for Windows, versão 1.10, Newport Scientific Pty Ltd.;
- Estufa com circulação forçada de ar, marca FANEM, modelo 320/SE;
- Colorímetro Minolta – modelo CR-310 – CIE Illuminant C – 50 mm;
- Balança para determinação de umidade por infravermelho, modelo AD-4714^A;
- Farinógrafo, marca BRABENDER;
- Alveógrafo, marca Chopin;
- Forno para pães, marca Suprema, modelo MSD 2.2D;
- Modeladora de pães, marca Suprema;
- Amassadeira espiral de pães de duas velocidades (900 e 1800 rpm), marca Suprema, capacidade 10 kg;
- Fatiadora de pães, marca G. Paniz.

3.2 Métodos Experimentais

3.2.1 Métodos para avaliação das matérias-primas:

3.2.1.1 Farinha de trigo:

Foram realizadas análises em triplicata, no início, meio e final da execução dos testes, para caracterização da farinha de trigo utilizada.

3.2.1.1.1 Farinograma

Foi utilizado aparelho farinógrafo Brabender para análise da absorção de água, estabilidade e índice de tolerância à mistura da farinha de trigo, pelo método AACC 54-21.

3.2.1.1.2 Falling Number

Para determinação do Falling Number da farinha de trigo, foi utilizado o método AACC 56-81B.

3.2.1.1.3 Alveograma

Para determinação da força da farinha (W) e da razão P/L foi utilizado aparelho alveógrafo Chopin e o método AACC 54-30.

3.2.1.2 Viscosidade do amido

Para determinação da viscosidade do amido foi utilizado o equipamento RVA (Rapid Visco Analyser), utilizando o programa Thermocline for Windows, versão 1.10, para os cálculos.

O método de análise utilizado foi o padrão ICC (International Association for Cereal Science and Technology) N° 162 (ou STD1). Foram adicionadas 3,0 gramas de amostra a 25 mL de água em recipiente de alumínio. Foi feita manualmente a mistura completa do amido com a água, eliminando todos os possíveis grumos formados. Os parâmetros de análise utilizados estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros de análise do método STD1

Tempo	Parâmetro	Valor
00:00:00	Temperatura	50°C
00:00:00	Rotação	960 rpm
00:00:10	Rotação	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50°C
00:04:42	Temperatura	95°C
00:07:12	Temperatura	95°C
00:11:00	Temperatura	50°C
00:13:00	Final do teste	

Utilizando-se esse método foi possível determinar a viscosidade máxima (VM), maior

valor de viscosidade obtido antes de iniciar o resfriamento (07:12 min); a viscosidade mínima (V_m), menor valor de viscosidade obtido após o pico de viscosidade e a viscosidade final (V_F), medida no tempo de 13 minutos. Todas as viscosidades foram expressas em RVU (Rapid Visco Units).

A partir dos valores de viscosidade, foi possível obter os valores de *Breakdown* ou quebra, dado pela diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima, e o *Set Back*, dado, por sua vez, pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima.

3.2.1.3 Atividade enzimática

A amiloglucosidase catalisa a reação de hidrólise do composto p-nitrofenil- α -glicosídeo, incolor em meio básico, com a formação de glicose e p-nitrofenol, que apresenta coloração amarela em meio básico. A quantificação da atividade dessa enzima foi feita pela medição da coloração amarela, em meio básico, em espectrofotômetro, a 400 nm, após 20 minutos de reação da enzima a 30°C e pH 4,3 a 4,5. Uma unidade de atividade de amiloglucosidase (AGU) corresponde à quantidade de enzima necessária a hidrólise de 1 μ mol de glicose por minuto (ROY & GUPTA, 2004).

Para a fosfolipase, uma unidade de atividade enzimática (PLU) corresponde à quantidade de enzima necessária para a liberação de 1 μ mol de ácido graxo livre por minuto, utilizando gema de ovo homogeneizada reconstituída como substrato, em pH 8,0 e a 40°C (NÉRON et al., 2004).

3.2.2 Ensaios Preliminares

Com o objetivo de ajustar a formulação padrão com relação à dosagem de açúcar e de água e para definir as faixas de dosagem de amido e das enzimas, foi realizada uma série de ensaios. A formulação padrão utilizada foi a descrita na Tabela 2. Com base nas dosagens sugeridas pelos fabricantes de ingredientes, aditivos e coadjuvantes, foram elaborados 10 diferentes tratamentos, variando a dosagem, conforme especificado na Tabela 3.

TABELA 2. Formulação de pão de forma – ensaios preliminares

Ingrediente	Quantidade
Farinha de trigo	100 g
Água	60,5 g
Sal refinado	2 g
Fermento biológico instantâneo seco	1,3 g
Propionato de cálcio	0,3 g

Os ingredientes foram misturados por 5 minutos em velocidade lenta (900 rpm) e 8 minutos em velocidade rápida (1800 rpm). A massa foi, então, separada em pedaços de 530 g, deixada descansar por 10 minutos, modelada e, a seguir, mantida em câmara de fermentação a 30°C, com umidade relativa de 80%, por 2 horas. Após a fermentação, os pães foram levados ao forno para cozimento a 180°C, por 35 minutos e depois, resfriados por 24 horas, fatiados e embalados em sacos de polietileno.

TABELA 3. Aditivos Utilizados nos Ensaios Preliminares

Teste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Melhorador (g/100 g farinha)	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Açúcar (g/100 g farinha)	6	6	0	0	0	0	6	0	0	0
Gordura (g/100 g farinha)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
Ácido ascórbico (g/Kg farinha)	0,08	0,08	0	0	0	0	0	0,09	0,09	0,09
AMPM (g/100 g farinha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
α -amilase (SKB/kg farinha)	0	0	1200	0	600	1200	0	1200	1200	1200
FOSFO (PLU/kg farinha)	300	600	0	0	0	0	1200	600	1200	1200
AMG (AGU/kg farinha)	0	0	0	150	75	150	0	0	150	150

3.2.3 Delineamento experimental

Como variáveis independentes foram escolhidas:

- teor de amido de mandioca – AMPM [g/100 g de farinha]
- teor de amiloglucosidase - AMG [AGU (atividade de amiloglucosidase) / kg de farinha]
- teor de fosfolipase – FOSFO [PLU (atividade de fosfolipase)/ kg de farinha]

Os parâmetros fixos, definidos nos ensaios preliminares, estão descritos na Tabela 4.

TABELA 4. Formulação base de pão forma

Ingredientes	Quantidade
Farinha de trigo	100 g
Água	62,5 g
Sal	2 g
Fermento Biológico Instantâneo	1,75 g
Propionato de cálcio	0,3 g
α -amilase	100 SKB
Ácido ascórbico	0,008 g

A análise do efeito combinado das variáveis individuais sobre as características tecnológicas do pão de forma foi feita utilizando um delineamento experimental de

metodologia de superfície de resposta, do tipo composto central rotacional de 2^3 ordem (BARROS NETO et al., 2002).

As variáveis independentes foram estabelecidas em três níveis, codificados como -1 , 0 e $+1$, obtidos pela equação:

$$x_i = X_i - Z / \Delta X_i$$

Onde:

x_i : valor codificado da variável X_i ;

X_i : valor real da variável;

Z : valor real da variável no ponto central;

ΔX_i : valor do intervalo de variação de X_i .

Foram utilizados também dois níveis de variáveis axiais, codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$, sendo definido por:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^K)^{1/4} = 1,681$$

Onde:

α : variável axial codificada;

F : número fatorial do delineamento ($F = 2^K$);

K : número de variáveis independentes ($K = 3$).

Foram, então, realizados 20 tratamentos, sendo oito fatoriais (combinações dos níveis -1 e $+1$), quatro axiais ($-\alpha$ e $+\alpha$) e seis repetições no ponto central (0), que, posicionados no

centro de um círculo de raio igual a 1, serviriam para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação de regressão.

Os pães foram avaliados quanto à umidade e textura após 24, 72 e 120 horas do preparo, o que corresponde ao primeiro, terceiro e quinto dias de vida de prateleira. Também foram avaliados o volume específico e a coloração do miolo dos pães, após 3 horas da saída do forno.

Paralelamente aos ensaios realizados no planejamento experimental, foram produzidos pães com uma formulação padrão, sem a adição do amido e das enzimas, porém, com adição de gordura (4%), açúcar (4%) e emulsificante (0,3%), para comparação das propriedades do pão entre as diferentes formulações, com e sem os aditivos.

Os valores codificados e reais das 3 variáveis independentes estão apresentados na Tabela 5 e o delineamento experimental, na Tabela 6.

TABELA 5. Variáveis e níveis do planejamento fatorial para os pães de forma

Concentração	- α	- 1	0	+ 1	+ α
X_1 Amido modificado - AMPM (g/100 g de farinha)	0	0,61	1,50	2,39	3,00
X_2 Amiloglucosidase - AMG (AGU / kg farinha)	0	60,7	150	239,3	300
X_3 Fosfolipase - FOSFO (PLU / kg farinha)	0	389	960	1531	1920

* AMPM: amido modificado e pregelatinizado de mandioca

** AMG: enzima amiloglucosidase

*** FOSFO: enzima fosfolipase

TABELA 6. Delineamento Experimental para os Pães de Forma

Variáveis Codificadas				Variáveis Reais		
Nº	X ₁	X ₂	X ₃	AMPM** (g/100 g farinha)	AMG*** (AGU/kg farinha)	FOSFO**** (PLU/kg farinha)
1	-1	-1	-1	0,61	60,7	389
2	+1	-1	-1	2,39	60,7	389
3	-1	+1	-1	0,61	239,3	389
4	+1	+1	-1	2,39	239,3	389
5	-1	-1	+1	0,61	60,7	1531
6	+1	-1	+1	2,39	60,7	1531
7	-1	+1	+1	0,61	239,3	1531
8	+1	+1	+1	2,39	239,3	1531
9*	0	0	0	1,50	150	960
10*	0	0	0	1,50	150	960
11*	0	0	0	1,50	150	960
12*	0	0	0	1,50	150	960
13*	0	0	0	1,50	150	960
14*	0	0	0	1,50	150	960
15	-1,68	0	0	0	150	960
16	+1,68	0	0	3	150	960
17	0	-1,68	0	1,50	0	960
18	0	+1,68	0	1,50	300	960
19	0	0	-1,68	1,50	150	0
20	0	0	+1,68	1,50	150	1920

* Pontos centrais

** AMPM: amido modificado e pregelatinizado de mandioca

*** AMG: enzima amiloglucosidase

**** FOSFO: enzima fosfolipase

3.2.4 Método para produção dos pães:

Os pães foram preparados pelo método de massa direta, sendo utilizada a tabela de números aleatórios para a escolha da ordem de realização dos testes (BUSSAB et al., 1987). Em cada dia de fabricação, foram realizados 5 formulações teste e uma formulação padrão, seguindo o fluxograma de processo descrito abaixo (Figura 1).

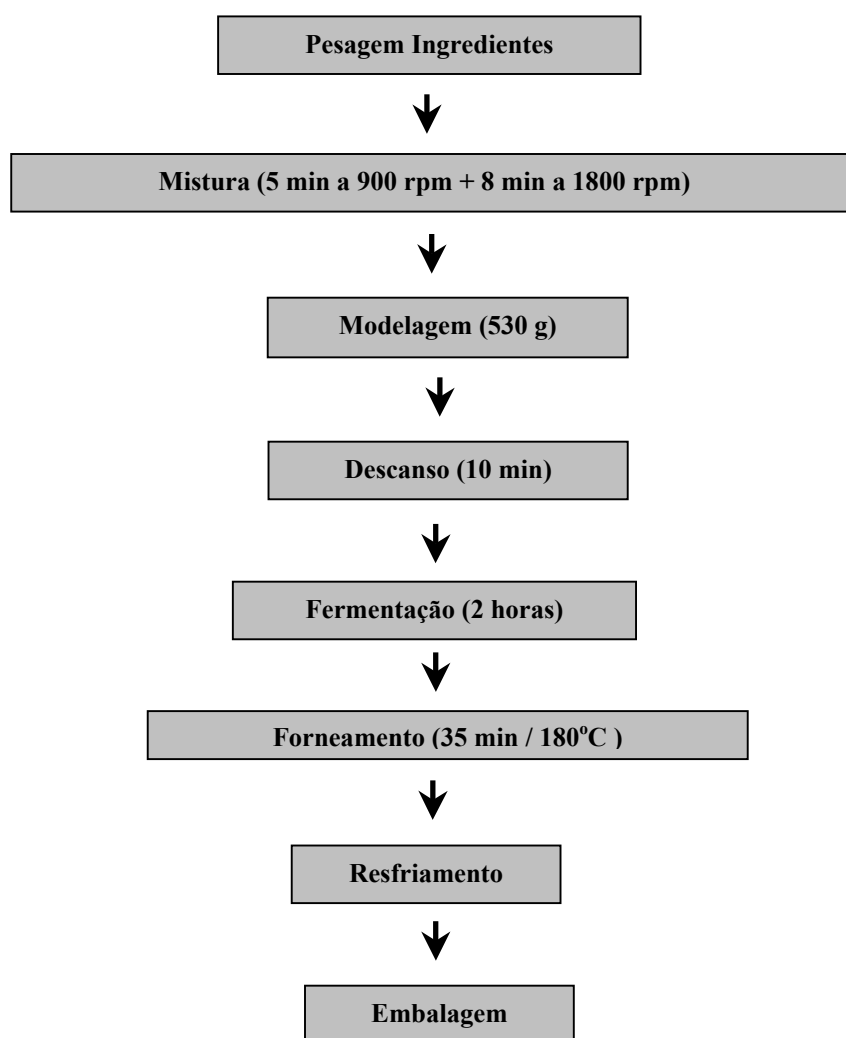


FIGURA 1. Fluxograma do processo para produção de pães por massa direta

3.2.5 Métodos para avaliação dos pães

3.2.5.1 Volume específico dos pães

Foi utilizado o método de deslocamento de sementes de colza para a determinação do volume específico dos pães, conforme descrito por KESKIN et al. (2004) e IDRANI et al. (2003). A análise foi efetuada em amostras em triplicata.

3.2.5.2 Coloração do miolo dos pães

Para a determinação da coloração do miolo dos pães foi utilizado o colorímetro Minolta CR-310, conforme descrito por THERDTHAI et al. (2002).

A leitura foi realizada no sistema L^*a^*b , definido pela CIE (Commission Internationale de L'Éclairage) em 1976, sendo as cores definidas pela luminosidade (L^*) e pelas coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*), em que os valores positivos de a^* estão relacionados à cor vermelha, valores negativos de a^* , à cor verde, valores positivos de b^* , à cor amarela e valores negativos de b^* , à cor azul.

As condições utilizadas para a determinação de cor foram iluminante C (CIE), área de leitura de 50 mm, ângulo do observador de 0° . Foram separadas 5 fatias, da parte central de cada amostra de pão para as leituras.

3.2.5.3 Umidade durante armazenagem

A determinação da umidade dos pães foi efetuada, em quintuplicata, por dessecação no ambiente por 24 horas, seguida de dessecação em estufa a 130°C, até peso constante, conforme o método AACC 44-15 (1995). A umidade foi determinada após 24, 72 e 120 horas da produção dos pães.

A porcentagem de redução de umidade dos pães, em relação a D+1 (24 horas), foi dada por:

$$R_{72} = [(U_{24} - U_{72}) / U_{24}] * 100$$

e

$$R_{120} = [(U_{24} - U_{120}) / U_{24}] * 100$$

Onde:

R_{72} : porcentagem de redução de umidade após 72 horas de armazenamento

R_{120} : porcentagem de redução de umidade após 120 horas de armazenamento

U_{24} : teor de umidade após 24 horas de armazenamento

U_{72} : teor de umidade após 72 horas de armazenamento

U_{120} : teor de umidade após 120 horas de armazenamento

3.2.5.4 Avaliação instrumental da textura dos pães

A medida instrumental da textura dos pães, expressa pela força máxima aplicada para pressionar duas fatias centrais de pão de forma (5 cm) foi realizada, em quintuplicata, utilizando texturômetro TA.XT2, seguindo o método AACC 74-09 (1995). As avaliações

foram efetuadas após 24, 72 e 120 horas da produção dos pães e os resultados apresentados são médias de cinco repetições.

As condições empregadas para realização da análise foram: sonda P/36R (AACC 36 mm cylinder probe), modo: força de compressão; velocidade de teste: 1,7 mm/s, 40% de compressão da amostra, velocidade de pré-teste = 1,0 mm/s e velocidade de pós-teste = 10,0 mm/s.

A variação de textura dos pães, em relação ao dia D+1 (24 horas), foi dada por:

$$T_{72} = [(F_{24} - F_{72}) / F_{24}] * 100$$

e

$$T_{120} = [(F_{24} - F_{120}) / F_{24}] * 100$$

Onde:

T_{72} : variação de textura após 72 horas de armazenamento

T_{120} : variação de textura após 120 horas de armazenamento

F_{24} : força de compressão de 2 fatias de pão após 24 horas de armazenamento

F_{72} : força de compressão de 2 fatias de pão após 72 horas de armazenamento

F_{120} : força de compressão de 2 fatias de pão após 120 horas de armazenamento



FIGURA 2. Análise de textura do miolo do pão

3.2.5.5 Avaliação sensorial – teste de aceitação

Para validação dos resultados experimentais obtidos, foram selecionados testes do ponto central e extremidades do delineamento experimental, juntamente com a formulação padrão e levados à avaliação de aceitação global (sabor e textura), utilizando-se equipe sensorial, composta por 32 consumidores de pão de forma, que apresentaram interesse e hábito de consumo do produto. A avaliação foi feita nos pães após 72 horas de armazenamento.

Conforme descrito na ficha de avaliação de aceitação do pão de forma (Figura 3), foi utilizada escala hedônica estruturada mista de 9 pontos, sendo valor 1 para “desgostei muitíssimo”, 5 para “nem gostei / nem desgostei” e 9 para “gostei muitíssimo” (STONE & SIDEL, 1985).

Foram servidos pedaços de 10 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2,5 cm de espessura, sendo que todos apresentavam uma porção de crosta superficial do pão (casca). As amostras foram codificadas com números de três dígitos e as avaliações conduzidas sob luz vermelha, em cabines sensoriais individuais.

ANÁLISE SENSORIAL – Teste de Aceitação de Pão de Forma

Nome: _____

Data: ____/____/____

Prove cada uma das amostras codificadas e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou de cada amostra, em relação à textura e ao sabor.

- 9 – gostei muitíssimo**
- 8 – gostei muito**
- 7 – gostei moderadamente**
- 6 – gostei ligeiramente**
- 5 – nem gostei / nem desgostei**
- 4 – desgostei ligeiramente**
- 3 – desgostei moderadamente**
- 2 – desgostei muito**
- 1 – desgostei muitíssimo**

Amostra	Textura	Sabor
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Comentários:

FIGURA 3. Ficha de avaliação sensorial de pão de forma

4. Resultados e Discussão

4.1. Matérias-primas

4.1.1. Farinha de Trigo

Os resultados médios obtidos para a farinha de trigo utilizada nos testes estão apresentados na TABELA 7.

TABELA 7. Características Fisico-químicas e Reológicas da Farinha de Trigo

Análise	Resultado
Umidade (%)	$13,5 \pm 0,3$
Teor de cinzas (% b.s.)	$0,77 \pm 0,2$
Falling Number (s)	290 ± 10
Farinografia:	
Absorção de água (%)	$60,50 \pm 0,50$
Tempo desenvolvimento (min)	$6,0 \pm 0,2$
Estabilidade à mistura (min)	$9,5 \pm 0,3$
Índice de tolerância mistura (UF)	40 ± 10
Alveografia:	
Força W (10^{-4} J)	250 ± 10
P	90 ± 5
L	70 ± 5
P/L	$1,29 \pm 0,03$

Com base nos resultados encontrados e descritos acima, pode-se afirmar que essa farinha apresentou e manteve ao longo dos testes as características adequadas à produção de

pães de forma (JIMÉNEZ & MARTÍNEZ-ANAYA, 2001; MUNHOZ, 2003; INDRANI et al., 2003).

4.1.2. Amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

Para caracterização do amido utilizado foi realizada análise do perfil de viscosidade RVA (Rapid Visco Analyser), conforme descrito em 4.2.4.4. Os resultados médios obtidos foram viscosidade máxima de 9.337 RVU, viscosidade mínima a 95°C de 2.135 RVU, Breakdown de 7.202 RVU, viscosidade final de 7.422 RVU e Set Back de 5287 RVU, conforme apresentados na Figura 4.

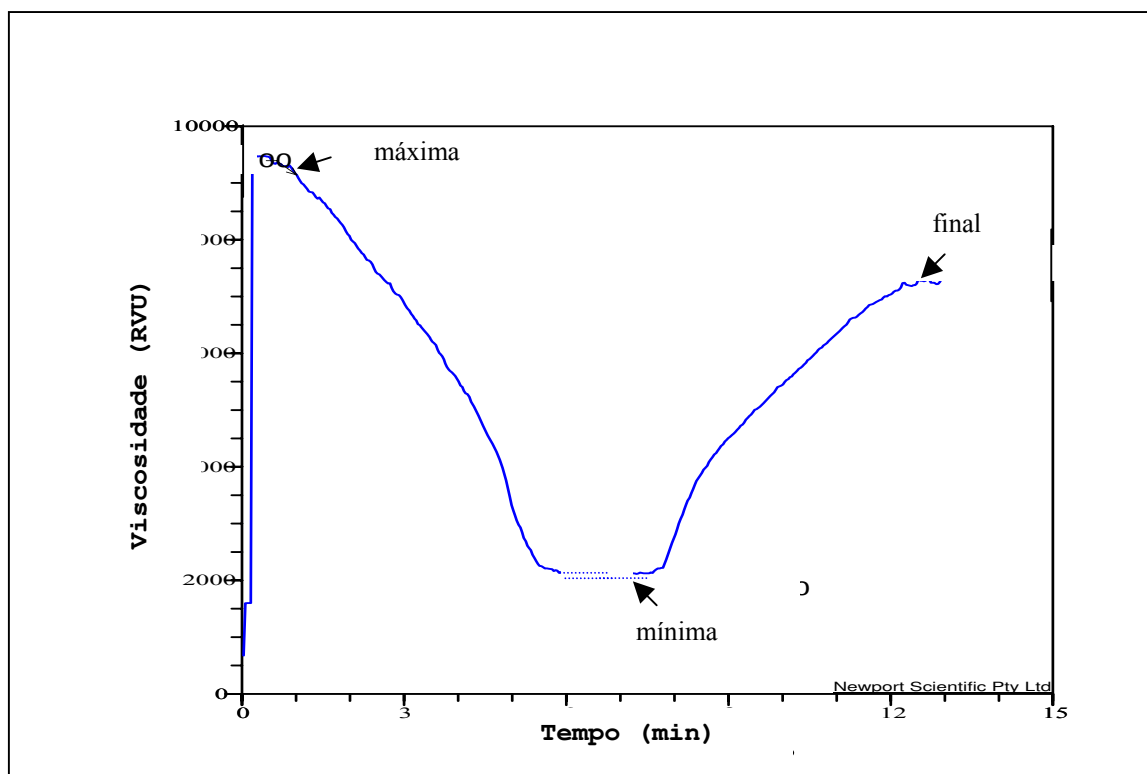


FIGURA 4. Perfil de viscosidade do amido (AMPM)

O perfil apresentado é típico de um produto pré-gelatinizado, pois apresenta alta viscosidade inicial, com diminuição da viscosidade durante o aquecimento e viscosidade final inferior à viscosidade inicial.

4.1.3. Atividade Enzimática

O resultado de atividade enzimática encontrado para a amiloglucosidase foi, em média de 100 AGU/g. Esses valores foram bem próximos aos valores encontrados por ROY & GUPTA (2004), que utilizaram em seu trabalho amiloglucosidase com atividade enzimática de 127 AGU/g para hidrólise de amido de milho. Já ARASARATNAM et al. (2001) encontraram valores de atividade enzimática superiores, entre 325 e 875 U/g para amiloglucosidases, produzidas por processo fermentativo de *Aspergillus niger*.

A fosfolipase utilizada apresentou atividade enzimática média de 1.200 PLU/g. Já NÉRON et al. (2004) utilizaram fosfolipase com atividade 10 vezes superior (12.000 PLU/g), pois foi necessária uma alta atividade para se obter bons resultados na quantificação dos fosfolípedes presentes na farinha de trigo.

4.2. Análise dos pães de forma

4.2.1. Volume dos pães

Os pães, com peso de 530 g, apresentaram valores de volume entre 2.710 e 3.350 cm³,

conforme pode ser verificado na Tabela 8. Já os pães padrão, com adição de gordura, emulsificante e açúcar, apresentaram volumes médios de 3.177 cm³, resultado próximo aos valores máximos encontrados nos testes.

TABELA 8. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO sobre o volume dos pães

Teste	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Volume (cm ³)	
				Média	DP
1	0,61	60,7	389	3175	20
2	2,39	60,7	389	2988	13
3	0,61	239,3	389	2925	74
4	2,39	239,3	389	3350	20
5	0,61	60,7	1531	3000	71
6	2,39	60,7	1531	2967	24
7	0,61	239,3	1531	3020	33
8	2,39	239,3	1531	2710	63
9 *	1,50	150	960	2935	97
10 *	1,50	150	960	3175	75
11 *	1,50	150	960	3200	45
12 *	1,50	150	960	2982	63
13 *	1,50	150	960	3025	35
14 *	1,50	150	960	2723	23
15	0	150	960	2963	61
16	3	150	960	3103	25
17	1,50	0	960	3175	41
18	1,50	300	960	2952	22
19	1,50	150	0	2788	38
20	1,50	150	1920	3310	75

Padrão	0	0	0	3177	102
---------------	---	---	---	------	-----

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

DP: desvio padrão entre os resultados das amostras

Padrão: com adição de 4% de gordura, 4% de açúcar e 0,3% de emulsificante

***:** pontos centrais

Os volumes específicos ficaram entre 5,11 e 6,32 cm³/g, valores esses coerentes com os relatados em estudo realizado por GÓMEZ et al. (2004) (entre 4,15 e 5,85 cm³ / g), que utilizaram, em seu trabalho, o método de massa direta para obtenção de pães com 325 g, utilizando formulação com 60% de água, 5% de leite em pó desnatado, 4% de fermento biológico fresco, 2% de sal, 2,5% de açúcar e 0,3% de emulsificante.

Verificou-se que o volume dos pães não apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para nenhuma das variáveis. Portanto, dentro das condições estudadas, não foi possível estabelecer um modelo preditivo da variação do volume dos pães em função das variáveis AMPM, AMG e FOSFO a 95% de confiança.

Por outro lado, com base no teste t de Student (O'MAHONY, 1986) para comparação dos valores médios de volume dos pontos centrais em relação aos valores médios de volume obtidos para os pães padrão, observou-se que não houve diferença a 90% de significância ou mais ($t_{\text{calc}} = 1,711 < t_{90\%} = 1,833$). Ou seja, os resultados de volume obtidos para os pães de teste foram estatisticamente iguais aos resultados de volume dos pães elaborados com a formulação padrão. Isto indica que o uso de AMPM, AMG e FOSFO foi adequado para substituição de emulsificantes, gordura e açúcar em pães, especialmente mantendo seu volume.

Em estudo realizado com substituição parcial (5, 10 e 15%) da farinha de trigo por amido de milho modificado por ligação cruzada, em pães com 130 g, HUNG & MORITA (2004) observaram efeito positivo significativo, a 95% de confiança, no volume do pão com a adição de amido modificado, diferente do que foi encontrado neste trabalho. Isto pode ter ocorrido devido às diferentes faixas de adição de amido utilizadas.

4.2.2. Coloração do miolo dos pães

Para o parâmetro L^* do miolo dos pães, os valores encontrados situaram-se entre 76,44 e 79,32, conforme apresentado na Tabela 9.

O parâmetro L^* do miolo dos pães padrão apresentou resultados médios de 78,43, dentro da faixa encontrada nos testes efetuados. Porém, comparando esse valor médio à média dos valores obtidos no ponto central, que foi de 77,53% (teste t de Student), foi possível observar que as médias diferiram estatisticamente a 95% de significância ($t_{\text{calc}} = 3,36 > t_{95\%} = 3,250$).

Portanto, os pães elaborados com a formulação padrão apresentaram maior luminosidade (parâmetro L^* de cor) no miolo em relação aos pães teste. Esse fato pode estar associado à distribuição e tamanho dos alvéolos do miolo, que devem estar relacionados à utilização da gordura, emulsificante e açúcar na formulação.

A adição de amido modificado e fosfolipase não apresentou efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre a cor L^* (luminosidade) do miolo dos pães nas condições de trabalho utilizadas. Já a adição de amiloglucosidase apresentou efeito linear significativo positivo a 95% de significância.

Porém, ao se analisar o erro puro apresentado para a adição de amiloglucosidase, observou-se que esse apresentou um valor alto de 33,33% do valor relativo ao efeito, não sendo então possível considerar esse efeito para um modelo do parâmetro L^* em relação à adição de amiloglucosidase ao pão.

TABELA 9. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na coloração dos pães

Teste	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Cor L*		Cor a*		Cor b*	
				Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	0,61	60,7	389	77,06	0,10	1,70	0,04	16,32	0,09
2	2,39	60,7	389	77,45	0,37	1,90	0,05	16,48	0,03
3	0,61	239,3	389	77,59	0,13	1,90	0,05	16,42	0,08
4	2,39	239,3	389	77,35	0,25	2,05	0,05	16,00	0,07
5	0,61	60,7	1531	77,45	0,37	1,93	0,04	16,37	0,07
6	2,39	60,7	1531	78,33	0,12	1,80	0,06	16,27	0,08
7	0,61	239,3	1531	78,48	0,25	1,94	0,06	16,03	0,02
8	2,39	239,3	1531	78,48	0,04	1,74	0,03	16,15	0,09
9 *	1,50	150	960	77,63	0,12	1,76	0,07	15,95	0,06
10 *	1,50	150	960	77,36	0,13	1,93	0,05	16,35	0,07
11 *	1,50	150	960	76,87	0,24	2,03	0,07	16,16	0,02
12 *	1,50	150	960	77,66	0,12	1,80	0,04	16,19	0,04
13 *	1,50	150	960	78,46	0,21	1,75	0,05	16,21	0,07
14 *	1,50	150	960	77,40	0,16	1,81	0,06	16,46	0,09
15	0	150	960	76,80	0,21	2,10	0,05	16,32	0,10
16	3	150	960	77,70	0,21	2,04	0,04	16,08	0,11
17	1,50	0	960	76,86	0,27	1,59	0,06	16,01	0,08
18	1,50	300	960	79,32	0,11	1,80	0,05	15,76	0,04
19	1,50	150	0	76,44	0,27	1,88	0,04	15,81	0,10
20	1,50	150	1920	76,59	0,23	1,87	0,07	15,77	0,10

Padrão	0	0	0	78,43	0,16	1,81	0,09	16,34	0,16
---------------	---	---	---	-------	------	------	------	-------	------

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

DP: desvio padrão entre os resultados das amostras

Padrão: com adição de 4% de gordura, 4% de açúcar e 0,3% de emulsificante

***:** pontos centrais

Portanto, para a faixa de adição estudada, não foi possível estabelecer um modelo para o parâmetro L^* do miolo dos pães elaborados com AMPM, AMG e FOSFO, a 95% de significância.

Os pães apresentaram resultados para o parâmetro a^* entre valores de 1,59 e 2,10, o que mostrou uma tendência à coloração vermelha. Já os pães elaborados com a formulação padrão apresentaram resultados médios de 1,81, dentro da faixa de valores encontrada nos testes, também com tendência à coloração vermelha.

Comparando, pelo teste t de Student (O'MAHONY, 1986), os valores médios do parâmetro de cor a^* obtidos para os pontos centrais (1,85) em relação aos médios obtidos para os pães padrão (1,81), observou-se que não houve diferença a 90% de significância ou mais ($t_{\text{calc}} = 0,44 < t_{90\%} = 1,833$). Portanto, os resultados obtidos para os pães de teste foram estatisticamente iguais aos resultados obtidos para os pães padrão.

A adição de amido modificado linear, de amiloglucosidase e de fosfolipase também não apresentou efeitos significativos a 95% ($p < 0,05$) para as faixas utilizadas. Já a adição quadrática de amido modificado (AMPM) apresentou efeito positivo significativo a 95%, porém também apresentou altos valores de erro puro (38,67% em relação ao efeito), portanto não foi possível estabelecer um modelo para o parâmetro de cor a^* em relação às variáveis estudadas.

Os resultados obtidos para b^* foram na faixa de 15,76 a 16,48, apresentando uma tendência à tonalidade amarela no miolo dos pães. Os pães elaborados com a formulação padrão, com adição de açúcar, gordura e emulsificantes, apresentaram resultado médio de 16,34, bem próximo aos resultados obtidos nos testes.

Também sobre o parâmetro b^* , a adição de AMPM, AMG e FOSFO não apresentou

efeitos significativos a 95% ($p < 0,05$) nas faixas estudadas.

Pelo teste t de Student (O'MAHONY, 1986), comparando os valores médios do parâmetro de cor b^* obtidos para os pontos centrais em relação aos médios obtidos para os pães padrão, observou-se que não houve diferença a 90% de significância ou mais ($t_{\text{calc}} = 0,86 < t_{90\%} = 1,833$). Portanto, os resultados obtidos para os pães de teste foram estatisticamente iguais aos resultados obtidos para os pães padrão.

4.2.3 Umidade dos pães

Conforme Tabela 10, após 24 horas da fabricação dos pães, foram encontrados valores de umidade entre 43,02 e 45,14%.

Esses valores são bastante semelhantes aos valores apresentados em estudo realizado por CZUCHAJOWSKA et al. (1989), que apresentaram umidade entre 43,03 e 45,30% para pães elaborados com 1,5% de sal, 1,8% de fermento biológico seco, 4 % de leite desnatado em pó, 6% de açúcar, 3% de gordura vegetal, 0,3% de extrato de malte e 40 ppm de ácido ascórbico (base 100 g farinha de trigo).

Já em estudo realizado por KROG et al. (1989), em pães elaborados com 2,7% de fermento biológico, 8% de açúcar, 4% de gordura vegetal, 4% de leite em pó desnatado, 2% de sal, 2% de emulsificantes e 61% de água, foram encontrados valores de umidade entre 41 e 43%. Porém, o método de análise de umidade utilizado nesse estudo foi desidratação direta em estufa a 105°C até peso constante, diferente do método utilizado neste trabalho com duas etapas de desidratação.

TABELA 10. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na umidade dos pães

Teste	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Umidade 24 horas (%)		Umidade 72 horas (%)		Umidade 120 horas (%)	
				Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	0,61	60,7	389	44,39	0,13	42,99	0,32	41,87	0,38
2	2,39	60,7	389	43,78	0,25	42,06	0,31	40,69	0,36
3	0,61	239,3	389	43,72	0,15	42,12	0,33	40,86	0,39
4	2,39	239,3	389	44,33	0,07	41,96	0,83	40,40	0,28
5	0,61	60,7	1531	44,96	0,18	42,43	0,35	41,91	0,18
6	2,39	60,7	1531	43,98	0,27	42,35	0,31	40,51	0,42
7	0,61	239,3	1531	44,37	0,06	41,88	0,38	40,71	0,51
8	2,39	239,3	1531	43,71	0,13	42,74	0,19	40,96	0,54
9 *	1,50	150	960	44,12	0,04	42,59	1,00	42,20	0,20
10 *	1,50	150	960	44,70	0,43	43,21	0,04	41,45	0,22
11 *	1,50	150	960	43,58	0,06	40,99	0,23	41,16	0,32
12 *	1,50	150	960	44,63	0,15	43,62	0,21	43,17	0,12
13 *	1,50	150	960	44,74	0,15	44,11	0,14	42,23	0,24
14 *	1,50	150	960	43,02	0,21	43,55	0,14	41,58	0,17
15	0	150	960	43,99	0,11	42,68	0,37	40,80	0,33
16	3	150	960	43,78	0,22	42,39	0,21	41,37	0,67
17	1,50	0	960	45,14	0,14	42,63	0,22	40,23	0,66
18	1,50	300	960	43,67	0,05	42,79	0,15	40,86	0,29
19	1,50	150	0	44,68	0,18	43,42	0,20	41,12	0,29
20	1,50	150	1920	44,42	0,20	41,36	0,29	40,55	0,61

Padrão	0	0	0	41,54	0,42	39,71	0,34	37,97	0,44
---------------	---	---	---	-------	------	-------	------	-------	------

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

DP: desvio padrão entre os resultados das amostras

Padrão: com adição de 4% de gordura, 4% de açúcar e 0,3% de emulsificante

***** : pontos centrais

Nos pães elaborados com a formulação padrão, com adição de açúcar, gordura e emulsificante, foram obtidos valores médios de umidade de 41,54%, inferiores aos valores encontrados nos testes.

Utilizando o teste t de Student (O'MAHONY, 1986) para comparação do valor médio de umidade, obtido para os pães padrão (41,54%), com o valor médio, obtido para os pontos centrais do delineamento experimental (44,13%), pôde-se observar que os valores diferem estatisticamente a 99,9% de significância ($t_{\text{calc}} = 5,60 > t_{99,9\%} = 4,781$). Esse fato pode ser explicado pela presença do amido pré-gelatinizado nos testes, absorvendo a água durante o processo de mistura dos ingredientes, o que possibilita um aumento na quantidade de água adicionada para elaboração da massa.

Já, após 72 horas da fabricação, todos os pães apresentaram uma redução esperada no teor de umidade, com valores entre 40,99 e 44,11%. Os pães da formulação padrão também apresentaram uma redução de umidade, com valores médios de 39,71%, continuando, assim, inferiores aos encontrados nos testes (Tabela 10).

Aplicando o teste t de Student, foi possível observar que os valores médios de umidade obtidos para os pães no ponto central do delineamento (42,79%) diferiram significativamente a 99,9% de significância do valor médio de umidade a 72 horas obtido para os pães padrão ($t_{\text{calc}} = 6,61 > t_{99,9\%} = 4,781$).

Após 120 horas da fabricação, a redução da umidade foi mais acentuada, sendo encontrados valores entre 40,23 e 43,17%. Os valores médios da formulação padrão mantiveram a tendência de redução com 37,97%, sempre com teores abaixo do encontrado nos testes (Tabela 10).

TABELA 11. Porcentagem de redução no teor de umidade dos pães.

Teste	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Redução 72 horas (%)	Redução 120 horas (%)
1	0,61	60,7	389	3,16	5,68
2	2,39	60,7	389	3,95	7,07
3	0,61	239,3	389	3,66	6,56
4	2,39	239,3	389	5,35	8,87
5	0,61	60,7	1531	5,64	6,78
6	2,39	60,7	1531	3,70	7,90
7	0,61	239,3	1531	5,61	8,23
8	2,39	239,3	1531	2,20	6,29
9 *	1,5	150	960	3,48	4,36
10 *	1,5	150	960	3,34	7,28
11 *	1,5	150	960	5,94	5,54
12 *	1,5	150	960	2,27	3,27
13 *	1,5	150	960	1,41	5,59
14 *	1,5	150	960	1,89	3,35
15	0	150	960	2,99	7,25
16	3	150	960	3,16	5,49
17	1,5	0	960	5,56	9,95
18	1,5	300	960	2,01	6,44
19	1,5	150	0	2,80	7,96
20	1,5	150	1920	6,90	8,71
Padrão	0	0	0	4,41	8,59

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

Padrão: com adição de 4% de gordura, 4% de açúcar e 0,3% de emulsificante

* : pontos centrais

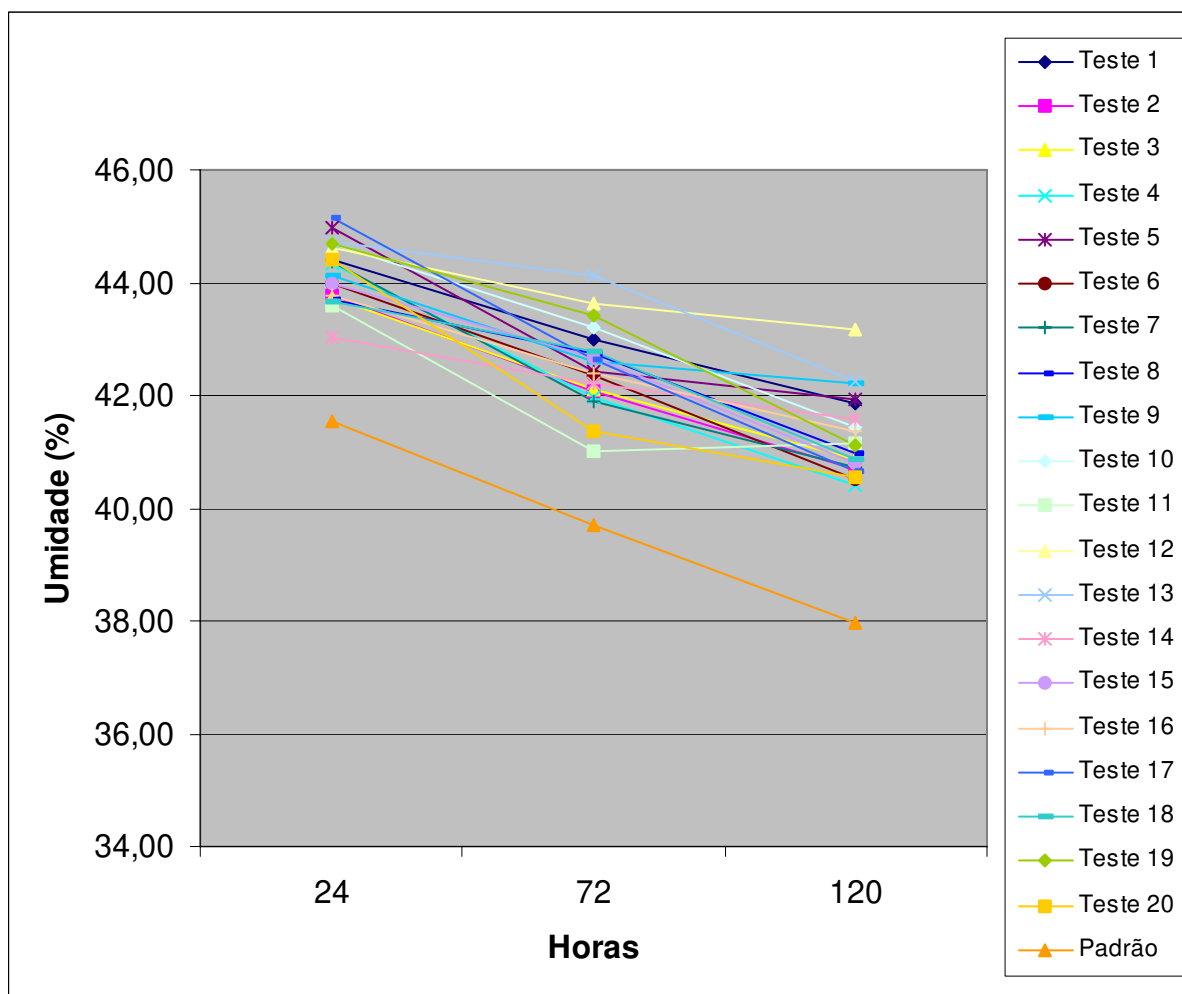


FIGURA 5. Variação da umidade dos pães durante a armazenagem.

Também ao aplicar o teste t de Student, foi possível observar que os valores médios de umidade obtidos para os pães no ponto central do delineamento (41,97%) diferiram significativamente a 99,9% de significância do valor médio de umidade a 120 horas obtido para os pães padrão ($t_{\text{calc}} = 9,11 > t_{99,9\%} = 4,781$).

Apesar de os pães teste apresentarem valores de umidade superiores aos valores dos pães com formulação padrão, dentro das faixas estudadas, os níveis de adição de amido modificado, amiloglucosidase e fosfolipase não apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre a umidade dos pães após 24, 72 e 120 horas.

Os resultados da porcentagem de redução da umidade em 72 horas, apresentados na Tabela 11, variaram entre 1,41 e 6,90.

Com 120 horas, a porcentagem de redução de umidade apresentou valores entre 3,27 e 9,95%, mantendo-se os menores resultados nos pontos centrais. Valores baixos para a redução na porcentagem de umidade estão relacionados a um aumento na vida de prateleira dos pães.

Os pães, elaborados com a formulação padrão, apresentaram valores de redução de umidade de 4,41 e 8,59% para 72 e 120 horas respectivamente. Apesar de apresentar valores de umidade inferiores aos valores dos testes, os pães padrão apresentaram valores de redução de umidade para 72 e 120 horas, próximos aos valores encontrados para os testes, o que pode ser observado na Figura 5, que apresenta o perfil de redução da umidade dos pães. Como os valores de redução de umidade estão inversamente relacionados à retenção da umidade do pão durante a vida de prateleira (*shelf-life*), observou-se que os pães teste apresentaram uma performance semelhante aos pães padrão com relação a retenção de umidade até 120 horas de após produção.

4.2.4 Textura dos pães

Conforme pode ser observado na Tabela 12, os valores de força de compressão dos pães foram de 83,66 a 164,57 g, após 24 horas de armazenamento e a média dos pães com a formulação padrão foi de 82,38g. Já, após 72 horas da produção dos pães, os valores de força de compressão encontrados variaram entre 128,20 e 224,31 g para os pães teste e, para os pães padrão, foi de 129,52 g. Para os pães teste com 120 horas de armazenagem, a força de compressão ficou entre 160,12 e 359,70 g, enquanto a força para os pães padrão foi de 213,95 g.

TABELA 12. Influência da adição de AMPM, AMG e FOSFO na força de compressão do miolo dos pães

Teste	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Força compressão 24 horas (g)		Força compressão 72 horas (g)		Força compressão 120 horas (g)	
				Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	0,61	60,7	389	88,53	2,61	151,12	7,42	160,12	7,48
2	2,39	60,7	389	112,12	3,52	224,31	9,56	359,70	12,21
3	0,61	239,3	389	107,11	4,84	176,94	6,70	333,34	6,97
4	2,39	239,3	389	92,42	3,31	129,68	5,39	166,39	9,95
5	0,61	60,7	1531	105,61	4,40	152,70	5,79	174,11	2,62
6	2,39	60,7	1531	102,82	6,75	144,87	3,18	166,76	3,72
7	0,61	239,3	1531	84,59	2,61	136,94	5,99	170,04	8,00
8	2,39	239,3	1531	109,52	5,43	209,90	5,70	339,66	12,30
9 *	1,50	150	960	164,57	2,79	157,14	5,86	220,47	2,90
10 *	1,50	150	960	94,67	3,14	138,90	5,72	182,98	4,63
11 *	1,50	150	960	89,87	6,22	136,94	5,99	181,51	7,56
12 *	1,50	150	960	132,45	6,46	146,94	8,69	189,04	6,74
13 *	1,50	150	960	123,23	5,51	149,35	4,54	252,95	11,06
14 *	1,50	150	960	157,27	12,43	198,53	7,16	248,51	13,23
15	0	150	960	102,59	5,12	141,69	8,48	196,08	2,49
16	3	150	960	90,47	6,65	166,28	7,40	201,31	10,84
17	1,50	0	960	83,66	3,90	128,20	7,48	202,30	6,64
18	1,50	300	960	134,21	5,96	162,06	6,06	306,32	9,78
19	1,50	150	0	94,98	5,19	145,77	7,15	189,11	7,95
20	1,50	150	1920	90,27	1,84	149,95	7,23	201,98	5,80

Padrão	0	0	0	82,38	3,03	129,52	25,23	213,95	36,95
---------------	---	---	---	-------	------	--------	-------	--------	-------

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

DP: desvio padrão entre os resultados das amostras

Padrão: com adição de 4% de gordura, 4% de açúcar e 0,3% de emulsificante

Com base nesses valores, observou-se que com 24 horas, o miolo do pão padrão apresentou-se mais macio do que os miolos dos pães teste. Porém, com o decorrer da estocagem (72 e 120 horas), os resultados médios de maciez dos pães padrão aproximaram-se dos resultados dos testes, como pode ser observado na Figura 6.

O aumento na força de compressão e redução na maciez observados com o decorrer do tempo de estocagem, tanto nos pães teste, quanto nos pães padrão, se deve ao fenômeno de retrogradação do amido, presente na farinha de trigo e adicionado aos pães. Avaliando os desvios padrão apresentados para a análise de textura, observam-se valores altos, chegando algumas vezes a 9% dos valores das respostas. Esses altos desvios são provavelmente devidos às características próprias desse tipo de análise.

Pelo teste t de Student (O'MAHONY, 1986), comparando os valores médios de textura obtidos após 24, 72 e 120 horas da produção para os pontos centrais do delineamento experimental em relação aos valores médios, obtidos nos mesmos tempos de produção para os pães padrão, observou-se que não houve diferença a 90% de significância ou mais, sendo para 24 horas $t_{\text{calc}} = 1,66 < t_{90\%} = 1,833$, para 72 horas $t_{\text{calc}} = 0,51 < t_{90\%} = 1,833$ e para 120 horas $t_{\text{calc}} = 0,10 < t_{90\%} = 1,833$. Portanto, os resultados analíticos de textura, obtidos para os pães teste foram estatisticamente iguais aos resultados obtidos para os pães padrão.

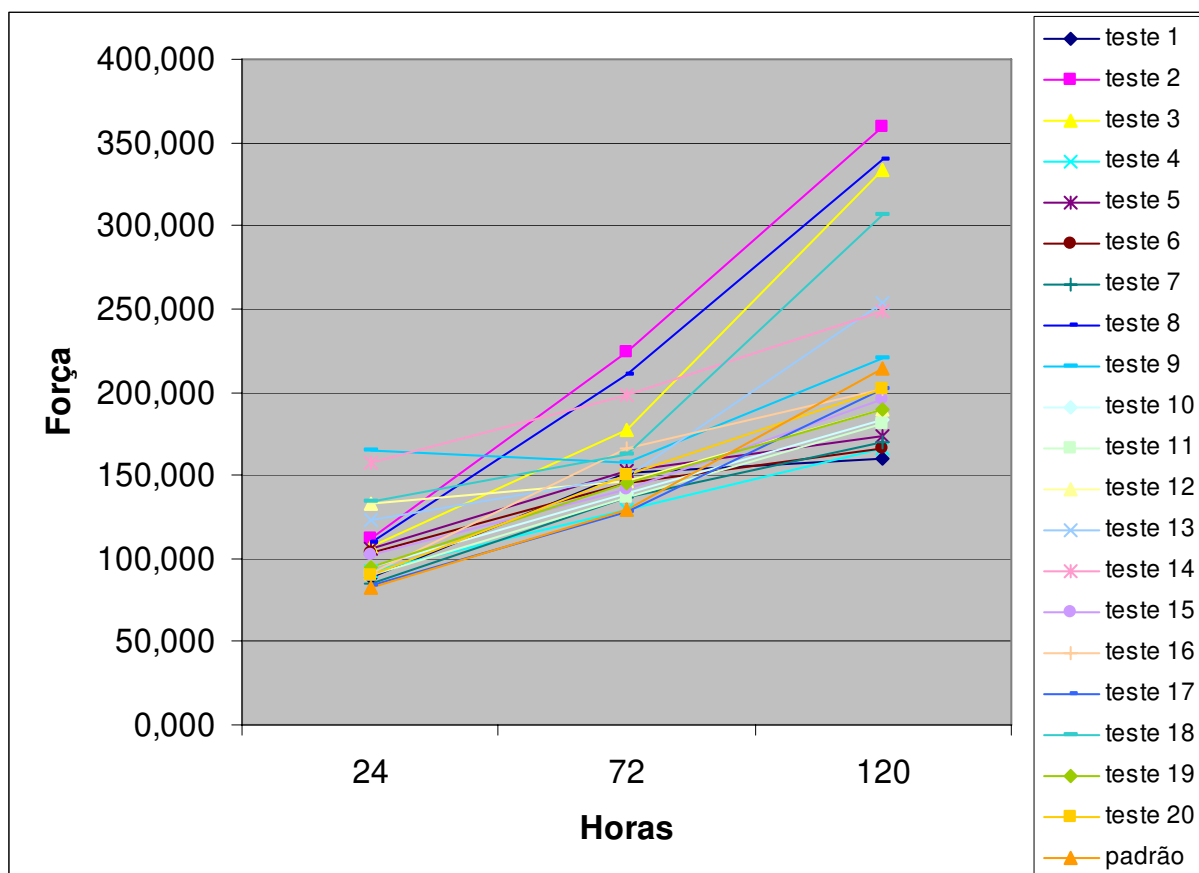


FIGURA 6. Variação da textura dos pães durante a armazenagem.

A adição de amido modificado (AMPM) e da enzima fosfolipase (FOSFO), nos teores estudados, não apresentou efeito significativo a 95% sobre a textura dos pães.

Para o tempo de 120 horas de armazenagem dos pães, a enzima amiloglucosidase (AMG) apresentou efeito positivo estatisticamente significativo a 95% ($p < 0,05$), porém, como os valores encontrados para o erro puro foram bastante elevados (10% dos valores de resposta), não foi possível estabelecer um modelo matemático, pois a superfície gerada não pôde representar os dados experimentais obtidos, não sendo, portanto, válida

HUNG & MORITA (2004), em estudo realizado, observaram que a substituição de 5,

10 e 15% da farinha de trigo por amido de milho modificado por ligação cruzada causa uma melhoria na maciez do miolo dos pães, medida após 5 dias de fabricação utilizando aparelho reômetro. Os pães, de 130 g, foram produzidos com 18% açúcar, 4,5% sal, 6% fermento biológico (base farinha de trigo) e água, conforme absorção da farinha. Esse efeito positivo na adição de amido não foi repetido neste trabalho, podendo ser explicado pela menor faixa de adição utilizada.

GOMÉZ et al. (2004), em estudo realizado em pães de 325 g, elaborados por processo de massa direta com 60% de água, 5% de leite em pó desnatado, 4% de fermento biológico fresco, 2% de sal, 2,5% de sacarose e 0,3% de emulsificantes, encontraram valores de força de compressão entre 220 e 300 g, logo após a fabricação dos pães, superiores aos valores encontrados neste trabalho com 24 horas (de 83,66 e 164,57 g). Essa diferença ocorreu, provavelmente, devido às diferenças nos parâmetros de análise de textura no equipamento TA-XT2, já que, no estudo desses autores, foi utilizado probe de 25 mm para compressão de 50% de amostras de pão com espessura de 25 mm.

4.2.5 Resultados Sensoriais

Para complementação e confirmação dos resultados analíticos instrumentais, foram realizados testes sensoriais, utilizando painel de consumidores para avaliação dos atributos sabor e textura .

As amostras utilizadas nestes testes foram de pães referentes às extremidades do delineamento experimental – amostra B (0, -1,68, 0), amostra C (-1, -1, -1) e amostra D (+1, +1, +1) , amostra referente ao ponto central - amostra A (0, 0, 0) e amostra do pão padrão –

amostra E.

A aceitação média dos pães com relação aos atributos de sabor e textura, encontra-se na Tabela 13. Os melhores resultados de sabor e textura foram obtidos com as amostras A, D e E e as piores notas, obtidas com as amostras C e B.

TABELA 13. Valores médios de aceitação para os pães (n = 30 consumidores)

Amostra	AMPM (g/100 g farinha)	AMG (AGU / kg farinha)	FOSFO (PLU / kg farinha)	Sabor[*]	Textura[*]
A	1,50	150	960	6,8 ^a	6,9 ^a
B	1,50	0	960	6,0 ^a	6,3 ^a
C	0,61	60,7	389	5,5 ^b	5,7 ^b
D	2,39	239,3	1531	6,7 ^a	6,8 ^a
E	-	-	-	6,6 ^a	6,8 ^a

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

***: 1=desgostei muitíssimo, 5=nem gostei / nem desgostei, 9=gostei muitíssimo**

a: amostras estatisticamente iguais a 95% de significância

b: amostra diferente das demais a 95% de significância

Pela análise de variância, há diferença significativa a 95% entre as amostras testadas para o requisito sabor. Pelo teste de Tukey, observou-se que a amostra C diferiu das demais amostras (A, B, D e E). Já as amostras A, B, D e E não diferiram significativamente entre si em relação ao sabor.

Para o atributo textura, também houve diferença significativa a 95% entre as amostras. Pelo teste de Tukey, a amostra C se diferenciou das demais amostras, apresentando pontuação inferior. Não houve diferença significativa a 95% entre as amostras A, B, D e E.

A Figura 7 apresenta a frequência das notas dadas às amostras pelo painel de consumidores para o atributo sabor. É possível observar que a amostra A (ponto central) foi a que apresentou maior incidência de nota 8, seguida da amostra E (padrão).

A amostra A e a amostra D foram as que receberam o maior percentual de notas iguais ou superiores a 7 para o atributo sabor, 68,75% e 62,50%, respectivamente, seguidas pela amostra E (padrão) que recebeu um total de 56,25% das notas iguais ou maiores a 7. Portanto, as amostras A (ponto central) e D receberam maior incidência de notas iguais ou acima de “gostei moderadamente” que a amostra padrão.

Já as amostras C e B receberam 37,50% e 18,75%, respectivamente, de notas iguais ou abaixo a 4 (desgostei ligeiramente), apresentando portanto, um alto nível de rejeição.

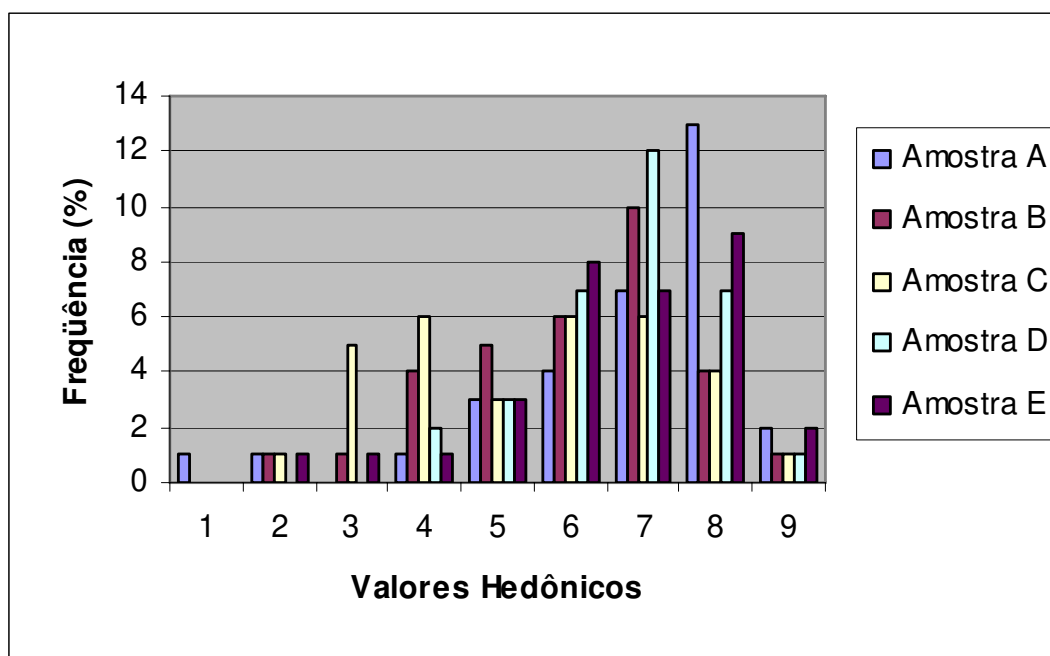


FIGURA 7. Distribuição de frequência dos valores hedônicos para as amostras de pão com relação ao sabor

Na Figura 8 observa-se a frequência das notas dadas às amostras pelo painel de consumidores para o atributo textura. A amostra A (ponto central) foi a que apresentou maior incidência de nota 8, seguida da amostra D e, depois, pela amostra E (padrão).

O maior percentual de notas iguais ou acima de 7 (gostei moderadamente) para o atributo textura foi apresentado pela amostra D, com 71,87%, seguido pela amostra A (ponto central), com 68,75%, e pela amostra E (padrão), com 59,37%. Portanto, a amostra com maior percentual de adição de amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca (AMPM), enzima amiloglucosidase (AMG) e enzima fosfolipase (FOSFO) foi a que apresentou a maior incidência de notas de aceitação entre os consumidores para o atributo textura, ficando acima até mesmo da amostra padrão.

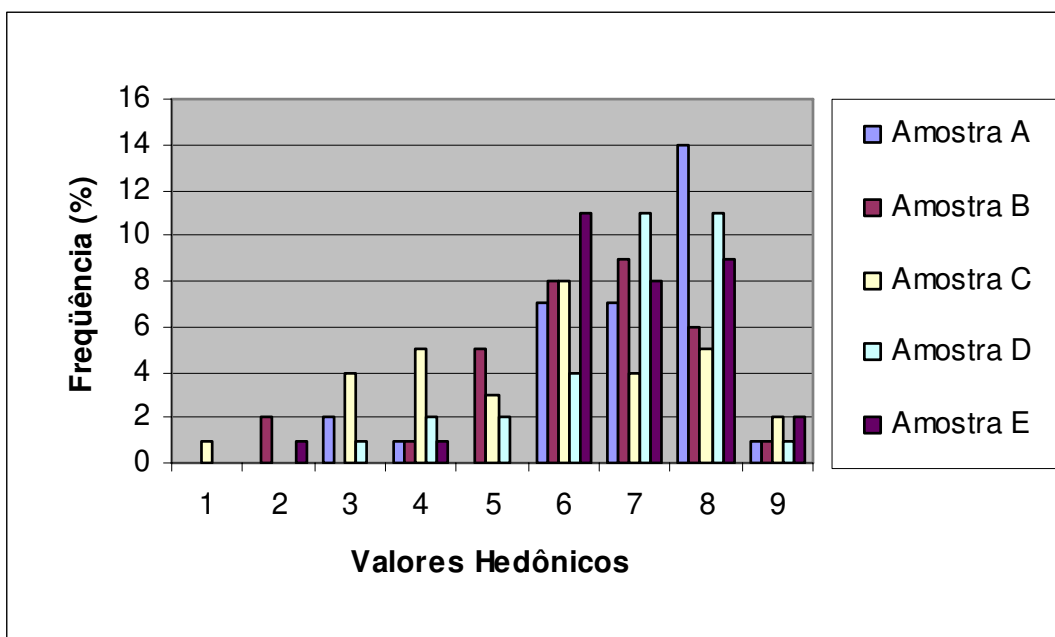


FIGURA 8. Distribuição de frequência dos valores hedônicos para as amostras de pão com relação à textura

A amostra C, que apresentou menor pontuação para sabor e textura, sendo esta a amostra testada com menor nível de adição de amido modificado (AMPM) e de fosfolipase (FOSFO), dentre as amostras levadas ao teste sensorial. Portanto, foi possível concluir que a adição de AMPM e FOSFO proporcionou uma melhoria de sabor e textura ao pão.

Já a amostra com menor teor de amiloglucosidase (amostra B) não apresentou diferença significativa a 95% da amostra padrão (E) e das amostras A e D. Deste modo, a adição dessa enzima, nas condições estudadas, não apresentou efeitos positivos no sabor e na textura dos pães.

5. Conclusões

De maneira geral, os pães elaborados com o amido modificado (AMPM), com a amiloglucosidase (AMG) e com a fosfolipase (FOSFO) apresentaram valores de umidade aproximadamente 3% maiores que os valores obtidos com os pães elaborados com a formulação padrão (com adição de açúcar, gordura e emulsificante), devido à capacidade de o amido pré-gelatinizado absorver a água durante o processo de mistura.

Os pães elaborados com a formulação padrão, ou seja, com adição de açúcar, gordura e emulsificante, apresentaram maiores valores de coloração L^* do miolo. Esse fato deve estar relacionado à presença desses ingredientes que podem, de alguma forma, melhorar a luminosidade do miolo do pão.

Já em relação ao volume, aos parâmetros de coloração a^* e b^* e à textura, os pães obtidos com a adição do amido modificado, amiloglucosidase e fosfolipase foram estatisticamente iguais aos pães padrão, sendo então possível a substituição desses ingredientes.

Com o decorrer do tempo de armazenagem, foi evidenciada a redução do teor de umidade e conseqüente redução da maciez do miolo dos pães, tanto para a formulação padrão, quanto para as formulações teste. Esse fenômeno de envelhecimento dos pães é causado pela retrogradação do amido presente.

Para as faixas de adição estudadas, ou seja, formulações com 0 a 3% de amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca, com atividade de amiloglucosidase de 0 a 300 AGU / kg de farinha e com atividade de fosfolipase de 0 a 1920 PLU / kg de farinha, não foi possível verificar uma tendência significativa nas respostas de volume dos pães, de

coloração L*a*b do miolo e de umidade, além da textura do miolo após 24, 72 e 120 horas de produção.

No entanto, com relação à avaliação sensorial dos pães, foi possível verificar que, a formulação com o menor nível de adição de amido modificado (AMPM) e da enzima fosfolipase (FOSFO) recebeu a menor nota para sabor e textura, diferenciando-se das demais amostras oferecidas ao painel, inclusive do padrão. Já as demais amostras com níveis maiores de adição de amido modificado (AMPM) e de fosfolipase (FOSFO) receberam notas de sabor e textura estatisticamente iguais à pontuação do pão padrão .

Portanto, apesar de não terem sido observados efeitos significativos na avaliação instrumental de textura dos pães com a adição de amido modificado e fosfolipase, na avaliação sensorial de textura e sabor, foi evidenciada uma influência positiva no uso desses ingredientes em pães.

Com relação à adição da enzima amiloglucosidase, não foram observados efeitos significativos tanto nos testes instrumentais quanto na avaliação sensorial, provavelmente devido ao uso da enzima α -amilase com atividade de 1.000 SKB / kg de farinha de trigo em todas as formulações teste.

Dentre as amostras avaliadas sensorialmente e que apresentaram aceitação semelhante ao padrão, a formulação com menor nível de adição de ingredientes e, portanto, menor custo, foi a dos pães com 1,5% de amido modificado (AMPM) e 960 PLU / kg de farinha de trigo (FOSFO), 1.000 SKB / kg de farinha de trigo (α -amilase) e sem a adição de amiloglucosidase (AMG).

Este trabalho permitiu o desenvolvimento de um pão de forma sem adição de açúcar, gordura e emulsificantes, substituídos por amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

e enzimas α -amilase e fosfolipase. O produto obtido é indicado principalmente para consumidores com dietas restritivas ao consumo de gorduras e açúcares e / ou que busquem uma alimentação com baixos teores calóricos e níveis reduzidos de gorduras saturadas e ácidos graxos *trans*.

6. Referências Bibliográficas

AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**. 9^a ed. St. Paul, v.1 e 2, 1995.

ALTSCHUL, A.M. **Low-calorie foods handbook**. Nova Iorque: Marcel Dekker Inc., 1993. 581p.

ARASARATNAM, V., MYLVAGANAM, K. & BALASUBRAMANIAM, K. Glucoamylase production by *Aspergillus niger* in solid state fermentation with paddy husk as support. **Journal of Food Science Technology**. v.38, n.4, p.334-338, 2001.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S. & BRUNS, R.E. **Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria**. Campinas: Ed. Unicamp, 2002. 401p.

BERRY, D. Replacing fat with fat. **Baking and Snack**. Aug., p.69-75, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.27, de 13/01/1998. **Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar**. Diário Oficial da União, Brasília, 15/01/1998. Seção 1, p.1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.29, de 13/01/1998. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de alimentos para fins especiais**. Diário Oficial da União, Brasília, 15/01/1998. Seção I-E, p.8.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC n.90, de 18/10/2000. **Aprovar o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão**. Diário Oficial da União, Brasília.

BYRNE, M. Formulating foods for new & diverse lifestyles. **Food Engineering International**. v.20, n.5, p.49-58, 1995.

BUSSAB, W. & MORETTIN, W. O. **Estatística Básica**. São Paulo: Editora Atual. 1987. 321p.

CÂNDIDO, L.M.B. & CAMPOS, A.M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Livraria Varela. 1996. 423p.

CARIOCA, J.O.B.; ARORA, H.L.; SELVAN, P.V.P.; TAVARES, F.C.A.; KENNEDY, CHELL, M. Biotechnology in bread making. **Food Processing-UK**. v.66, n.9, p.10-11, 1997.

CHIARA, V.L.; SICHIERI, R. & CARVALHO, T. S. F. Teores de ácidos graxos trans em alguns alimentos consumidos no Rio de Janeiro. **Revista de Nutrição**. v.16, n.2, p.227-233, 2003.

COLLAR, C.; MARTÍNEZ, J.C.; ANDREU, P. & ARMERO, E. Effects of enzyme associations on bread dough performance: a response surface analysis. **Food Science Technology International**. v.6, n.3, p.217-226, 2000.

CÔNSOLE, F.M.Z.S. **Otimização das condições de hidrólise ácida do amido de mandioca para obtenção de substituto de gordura: caracterização de hidrolisados e aplicação em bolos**. Campinas, 1998. 155p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimento) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

CZUCHAJOWSKA, Z.; POMERANZ, Y. & JEFFERS, H.C. Water activity and moisture content of dough and bread. **Cereal Chemistry**. v.66, n.2, p.128-132, 1989.

DEVEREUX, H.M.; JONES, G.P.; MCCORMACK, L.M. & HUNTER, W.C. Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. **Journal of Food Science**. v.68, n.5, p.1850-1854, 2003.

EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.O. & DIAZ, N.M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. Governo do Estado de São Paulo, 1982.

FOX, P. F. **Food Enzymology – Volume 1**. Elsevier Science Publisher Ltda. 1991.

GENOVESE, D.B. & RAO, M.A. Role of starch granule characteristics (volume fraction, rigidity, and fractal dimension) on rheology of starch dispersions with and without amylase. **Cereal Chemistry**. v.80, n.3, p.350-355, 2003.

GÓMEZ, M.; DEL REAL, S; ROSELL, C; RONDA, F, BLANCO, C.A. & CABALLERO, P.A. Functionality of different emulsifiers on performance of breadmaking and bread quality. **European Food Research Technology**. v.219, p.145-150, 2004.

HUNG, P.V. & MORITA, N. Dough properties and bread quality of flours supplemented with cross-linked cornstarches. **Food Research International**. v.37, p.461-467, 2004.

ICC – INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Approved Methods of International Association for Cereal Science and Technology**, 1996.

INDRANI, D.; PRABHASANKAR, P.; RAJIV, J. & VENKATESWARA RAO, G. Scanning electron microscopy, rheological characteristics, and bread-baking performance of wheat flour dough as affected by enzymes. **Journal of Food Science**. v.68, n.9, p.2804-2809, 2003.

JIMÉNEZ, T. & MARTÍNEZ-ANAYA, M. A. Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality. **Food Science Technology International**. v.7, n.1, p.5-14, 2001.

KAHLON, T.S. & KEAGY, P.M. Benefits and sources of functional foods. **Cereal Foods World**. v.48, n.3, p.112-115, 2003.

KARAOGLU, M.M.; KOTANCILAR, H.G. & ÇELİK, I. Effects of utilization of modified starches on cake quality. **Starch/Starke**. v.53, p.162-169, 2001.

KESKIN, S. O.; SUMMU, G. & SAHIN, S. Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven. **Food Research International**. v.37, p.489-495, 2004.

KHAN, R. **Low calorie foods and food ingredients**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1993. 183p.

KROG, N., OLESEN, S.K., TOERNAES, H. & JOENSSON, T. Retrogradation of starch fraction in wheat bread. **Cereal Foods World**. v.34, n.3, p.281-285.

KRUGER, J.E.; LINEBACK, D. & STAUFFER, C.E. **Enzymes and their role in cereal technology**. St. Paul: AACC, 1987. 403p.

LAI, H.M.; SCHIMIDT, S.J.; CHIOU, R.G.; SLOWINSKI, L.A. & DAY, G.A. Mobility of water in a starch-based fat replacer by ONMR spectroscopy. **Journal of Food Science**. v.58, n.5, p.1103-1106, 1993.

LAWLESS, H. T. & HEYMANN, H. **Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices**. Maryland: Aspen Publishers Inc., 1999.

LINKO, Y and LINKO, P. Enzymes in baking. In: BLANSHARD, J.M.V.; FRAZIER, P.J. &

GALLIARD, T. **Chemistry and physics of baking**. London: The Royal Society of Chemistry, 1987. p.105-16.

MACRITCHIE, F. Fundamentals of dough formation. **Cereal Foods World**. v.48, n.4, p.173-176, 2003.

MUNHOZ, M.P. **Influência de Hidrocolóides na Qualidade Tecnológica de Pães**. Campinas, 2003. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

NABORS, L.O. & GELARDI, R.C. **Alternative sweeteners**. Nova Iorque: Marcel Dekker Inc., 1991. 461p.

NELSON, A.L. **Sweeteners alternative**. St. Paul: Eagan Press, 2000. 99p.

NÉRON, S.; AMRANI, F.E.; POTUS, J. & NICOLAS, J. Separation and quantification by high-performance liquid chromatography with light scattering detection of the main wheat flour phospholipids during dough mixing in the presence of phospholipase. **Journal of Chromatography A**. v.1047, n.1, p.77-83, 2004.

OBEL, L.B. Putting enzymes to work in bakery applications. **Cereal Foods World**. v.46, n.9, p.396-399, 2001.

O'MAHONY, M. **Sensory evaluation of food**. Nova Iorque: Marcel Dekker, Inc., 1986. p.111-134.

PECK, A. Use of acesulfame k in light and sugar-free baked goods. **Cereal Foods World**. v.39, n.10, p.743-745. 1994.

ROLLER, S. & JONES, S.A. **Handbook of fat replacers**. Boca Raton: CRC Press, 1996. 325p.

ROY, I. & GUPTA, M. N. Hydrolysis of starch by a mixture of glucoamylase and pullulanase entrapped individually in calcium alginate beads. **Enzyme and Microbial Technology**. v.34, p.26-32, 2004.

SALGADO, J.M. **Faça do alimento o seu medicamento**. São Paulo: Masdras Editora Ltda., 2000, 176p.

SCHOMBURG, D. & SALZMANN, M. **Enzyme Handbook 3**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991.

SEGURA, M.E.M & SIRA, E.E.P Characterization of native and modified cassava starches by scanning electron microscopy and x-ray diffraction techniques. **Cereal Foods World**. v.48, n.2, p.78-81, 2003.

SICHERI, R.; COITINHO, D.C.; MONTEIRO, J.B. & COUTINHO, W.F. Recomendações de alimentação e nutrição saudável para a população brasileira. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia e Metabolismo**. v.44, n.3, 2000.

STONE, H. & SIDEL, J.L. **Sensory Evaluation Practices**. Academic Press, 1985, 311p.

SILOTO, A.M.P. **Seleção de microrganismos produtores de fosfolipase, otimização da produção e caracterização da enzima bruta**. Campinas, 2001. Tese (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

TAMSTORF, S.; JONSSON, T. & KROG, N. The role of fats and emulsifiers in baked products. In: BLANSHARD, J.M.V.; FRAZIER, P.J. & GALLIARD, T. **Chemistry and physics of baking**. London: The Royal Society of Chemistry, 1987. p.75-88.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J. & QI, X. Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. **Worlds Poultry Science Journal**. v.60, n.2, p.186-195, 2004.

TEIXEIRA, M.A.V. **Amidos quimicamente modificados empregados na substituição de gordura em alimentos**. Campinas, 2002. 116p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

THERDTHAI, N.; ZHOU, W. & ADAMCZAK, T. Optimization of temperature profile in bread baking. **Journal of Food Engineering**. v.55, p.41-48, 2002.

THOMAS, D.J. and ATWELL, W.A. **Starches** St. Paul: Eagan Press, 1999. 94p.

TORQUATO, M.T.C.G.; MONTENEGRO, R.M.Jr; VIANA, L.A.L.; SOUZA, R.A.H.G.; LANNA, C.M.M.; LUCAS, J.C.B.; BIDURIN, C.; FOSS, M.C. Prevalence of diabetes mellitus and impaired glucose tolerance in the urban population aged 30-69 years in Ribeirão Preto, Brazil. **São Paulo Medical Journal**. v.121, n.6, p.224-230, 2003.

TUROLA, L.B. **Desenvolvimento de bolo diet enriquecido com fibras: otimização do**

produto através de testes sensoriais afetivos. Campinas, 2002. 88p. Tese (Mestre em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

ANEXOS

ANEXO 1. Análise dos efeitos do volume dos pães

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	3008	71	42,3	< 0,0001
AMPM (L)	19	94	0,2	0,8479
AMPM (Q)	4	92	< 0,1	0,9658
AMG (L)	-73	94	-0,8	0,4733
AMG (Q)	26	92	0,3	0,7908
FOSFO (L)	20	94	0,2	0,8413
FOSFO (Q)	15	92	0,2	0,8730
AMPM x AMG	84	123	0,7	0,5275
AMPM x FOSFO	-145	123	-1,2	0,2921
AMG x FOSFO	-87	123	-0,7	0,5111

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 2. Análise dos efeitos do parâmetro L* de cor do miolo dos pães

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	77,55	0,21	363,7	< 0,0001
AMPM (L)	0,37	0,28	1,3	0,2452
AMPM (Q)	-0,01	0,28	-0,0	0,9790
AMG (L)	0,84	0,28	3,0	0,0310
AMG (Q)	0,59	0,28	2,1	0,0864
FOSFO (L)	0,52	0,28	1,8	0,1261
FOSFO (Q)	-0,53	0,28	-1,9	0,1136
AMPM x AMG	-0,38	0,37	-1,0	0,3540
AMPM x FOSFO	0,18	0,37	00,5	0,6424
AMG x FOSFO	0,19	0,37	0,5	0,6336

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 3. Análise dos efeitos do parâmetro a* de cor do miolo dos pães

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	1,85	0,045	41,03	< 0,0001
AMPM (L)	-0,01	0,060	-0,20	0,8507
AMPM (Q)	0,15	0,058	2,63	0,0466
AMG (L)	0,10	0,060	1,60	0,1703
AMG (Q)	-0,11	0,058	-1,93	0,1111
FOSFO (L)	-0,02	0,060	-0,38	0,7164
FOSFO (Q)	0,01	0,058	0,26	0,8076
AMPM x AMG	-0,03	0,078	-0,38	0,7165
AMPM x FOSFO	-0,17	0,078	-2,18	0,0813
AMG x FOSFO	-0,10	0,078	-1,28	0,2564

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 4. Análise dos efeitos do paraâmetro b^* de cor do miolo dos pães

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	16,21	0,07	227,96	< 0,0001
AMPM (L)	-0,09	0,09	-1,00	0,3638
AMPM (Q)	0,12	0,09	1,29	0,2543
AMG (L)	-0,18	0,09	-1,96	0,1078
AMG (Q)	-0,10	0,09	-1,14	0,3064
FOSFO (L)	-0,07	0,09	-0,73	0,5007
FOSFO (Q)	-0,17	0,09	-1,87	0,1203
AMPM x AMG	-0,09	0,12	-0,73	0,4981
AMPM x FOSFO	0,07	0,12	0,57	0,5947
AMG x FOSFO	-0,02	0,12	-0,16	0,8775

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 5. Análise dos efeitos da umidade após 24 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	T(5)	p-valor
Média	44,14	0,29	153,6	0,0000
AMPM (L)	-0,29	0,38	-0,8	0,4784
AMPM (Q)	-0,23	0,37	-0,6	0,5605
AMG (L)	-0,51	0,38	-1,3	0,2423
AMG (Q)	0,14	0,37	0,4	0,7280
FOSFO (L)	0,05	0,38	0,1	0,8945
FOSFO (Q)	0,24	0,37	0,6	0,5477
AMPM x AMG	0,38	0,50	0,8	0,4745
AMPM x FOSFO	-0,41	0,50	-0,8	0,4480
AMG x FOSFO	-0,18	0,50	-0,4	0,7256

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 6. Análise dos efeitos da umidade após 72 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	T(5)	p-valor
Média	43,02	0,45	95,0	0,0000
AMPM (L)	-0,12	0,60	-0,2	0,8536
AMPM (Q)	-0,42	0,59	-0,7	0,5036
AMG (L)	-0,13	0,60	-0,2	0,8421
AMG (Q)	-0,30	0,59	-0,5	0,6326
FOSFO (L)	-0,47	0,60	-0,8	0,4720
FOSFO (Q)	-0,52	0,59	-0,9	0,4115
AMPM x AMG	0,43	0,79	0,5	0,6097
AMPM x FOSFO	0,47	0,79	0,6	0,5777
AMG x FOSFO	0,20	0,79	0,3	0,8068

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 7. Análise dos efeitos da umidade após 120 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	41,96	0,30	141,6	0,0000
AMPM (L)	-0,27	0,39	-0,7	0,5251
AMPM (Q)	-0,52	0,38	-1,4	0,2312
AMG (L)	-0,15	0,39	-0,4	0,7269
AMG (Q)	-0,91	0,38	-2,4	0,0647
FOSFO (L)	-0,10	0,39	-0,3	0,8080
FOSFO (Q)	-0,70	0,38	-1,8	0,1276
AMPM x AMG	0,59	0,51	1,2	0,3009
AMPM x FOSFO	0,12	0,51	0,2	0,8210
AMG x FOSFO	0,14	0,51	0,3	0,7996

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 8. Análise dos efeitos da textura após 24 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	126,92	12,63	10,05	0,0002
AMPM (L)	1,57	16,77	0,09	0,9293
AMPM (Q)	-20,45	16,34	-1,25	0,2662
AMG (L)	10,18	16,77	0,61	0,5701
AMG (Q)	-11,66	16,34	-0,71	0,5075
FOSFO (L)	-0,81	16,77	-0,05	0,9632
FOSFO (Q)	-23,22	16,34	-1,42	0,2147
AMPM x AMG	-2,64	21,90	-,12	0,9087
AMPM x FOSFO	3,31	21,90	0,15	0,8858
AMG x FOSFO	-3,30	21,90	-0,15	0,8861

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 9. Análise dos efeitos da textura após 72 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	154,06	9,27	16,63	0,0000
AMPM (L)	19,40	12,30	1,58	0,1756
AMPM (Q)	6,81	11,99	0,57	0,5944
AMG (L)	5,47	12,30	0,44	0,6749
AMG (Q)	0,54	11,99	0,04	0,9660
FOSFO (L)	-4,49	12,30	-0,36	0,7302
FOSFO (Q)	2,47	11,99	0,21	0,8448
AMPM x AMG	-9,91	16,07	-0,62	0,5641
AMPM x FOSFO	9,80	16,07	0,61	0,5685
AMG x FOSFO	29,52	16,07	1,84	0,1255

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 10. Análise dos efeitos da textura após 120 horas de produção

	Efeitos	Erro puro	t(5)	p-valor
Média	212,00	13,38	15,85	0,0000
AMPM (L)	29,86	17,76	1,68	0,1535
AMPM (Q)	-2,49	17,31	-0,14	0,8914
AMG (L)	47,42	17,76	2,67	0,0443
AMG (Q)	36,92	17,31	2,13	0,0860
FOSFO (L)	-21,60	17,76	-1,22	0,2782
FOSFO (Q)	-4,72	17,31	-0,27	0,7960
AMPM x AMG	-47,39	23,19	-2,04	0,0965
AMPM x FOSFO	32,41	23,19	1,40	0,2211
AMG x FOSFO	47,23	23,19	2,04	0,0973

AMPM: amido modificado e pré-gelatinizado de mandioca

AMG: enzima amiloglucosidase

FOSFO: enzima fosfolipase

ANEXO 11. Análise de variância (ANOVA) para a textura após 120 horas de produção.

Fontes Variação	GL	SQ	SQM	Fcalc	Ftab 5%
Regressão	3	27107	9036	2,68	3,34
Resíduo	14	47226	3373		
Fator ajuste	11	46224	4202	12,58	8,76
Erro puro	3	1002	334		
Total	17	74334			

ANEXO 12. Análise de variância (ANOVA) para o sabor das amostras de pão.

Fontes Variação	GL	SQ	SQM	Fcalc	Ftab 5%
Amostra	4	39,38	9,84	4,99	2,43
Provador	31	178,38	5,75	2,92	
Resíduo	124	244,63	1,97		
Total	159	462,38			

ANEXO 13. Análise de variância (ANOVA) para a textura das amostras de pão.

Fontes Variação	GL	SQ	SQM	Fcalc	Ftab 5%
Amostra	4	35,66	8,92	4,14	2,43
Provador	31	123,18	3,97	1,84	
Resíduo	124	267,14	2,15		
Total	159	425,98			

ANEXO 14. Teste de Tukey para sabor das amostras de pães

A e B	0,75
A e C	1,31
A e D	0,09
A e E	0,19
B e C	0,56
B e D	0,66
B e E	0,56
C e D	1,22
C e E	1,13
D e E	0,09

DMS = 0,97

ANEXO 15. Teste Tukey para textura das amostras de pães

A e B	0,66
A e C	1,25
A e D	0,09
A e E	0,13
B e C	0,59
B e D	0,56
B e E	0,53
C e D	1,16
C e E	1,13
D e E	0,03

DMS = 1,01

ANEXO 16. Percentual de notas para os atributos sensoriais sabor e textura

Amostra	Sabor	Textura
----------------	--------------	----------------

Notas	≥ 7	≤ 4	≥ 7	≤ 4
A	68,75	9,37	68,75	9,37
B	46,87	18,75	50,00	9,37
C	34,37	37,50	34,37	31,25
D	62,50	6,25	71,87	9,37
E	56,25	9,37	59,37	6,25