LUCIANA YUMI MATSUDA

**CONCENTRAÇÃO DE AMIDO RESISTENTE EM PÃO FRANCÊS
PRÉ-ASSADO CONGELADO: ASPECTOS TECNOLÓGICOS**

**São Paulo
2007**

LUCIANA YUMI MATSUDA

**CONCENTRAÇÃO DE AMIDO RESISTENTE EM PÃO FRANCÊS
PRÉ-ASSADO CONGELADO: ASPECTOS TECNOLÓGICOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

São Paulo
2007

LUCIANA YUMI MATSUDA

**CONCENTRAÇÃO DE AMIDO RESISTENTE EM PÃO FRANCÊS
PRÉ-ASSADO CONGELADO: ASPECTOS TECNOLÓGICOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Engenharia
Química

Orientadora: Profa. Titular Carmen
Cecília Tadini

**São Paulo
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA

Matsuda, Luciana Yumi

Concentração de amido resistente em pão francês pré-assado congelado : aspectos tecnológicos / L.Y. Matsuda. -- São Paulo, 2007.
p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1. Pão 2. Pão francês pré-assado congelado 3. Alimentos funcionais 4. Amido resistente 5. Fibras I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II. t.

À minha orientadora, Prof^a. Carmen Cecília Tadini pela dedicação e pelas lições de vida que tive.

À Prof^a. Dr^a. Elizabete Wenzel de Menezes da FCF-USP, pela importante colaboração prestada à concretização deste trabalho e pela concessão do uso de seu laboratório para realização das análises de concentração de amido resistente.

À CAPES pela bolsa concedida.

Ao Programa Cyted/CNPq pelo auxílio concedido.

Ao Moinho Pacífico, especialmente ao Eng. Paolo Boldrin e à Christiane D'Ávila pelo fornecimento da farinha de trigo e pelo auxílio na parte experimental.

À National Starch, especialmente à Karla Pereira, pelo fornecimento da amostra de amido resistente de milho, pelo suporte técnico e pela gentil visita realizada ao Laboratório de Engenharia de Alimentos.

À Danisco Brasil Ltda., especialmente à Márcia Berimbau, Wagner Paula, Wong Fung, Fernanda Simon, Luiza Rocha e Elaine Silva, pela concessão do uso dos equipamentos do Laboratório de Inovação, pelo auxílio técnico e pelo fornecimento das amostras de alfa-amilase e CSL.

À FMaiis pelo fornecimento da amostra de polisorbato 80.

À Tati Matuda pela imensa ajuda prestada no delineamento experimental, pela ajuda na revisão bibliográfica e durante todo o trabalho e ao Victor e Ivan pelo auxílio na produção dos pães.

À Ju e à Mi por todo o suporte e paciência nas análises de amido resistente, e à Dri pelo auxílio nas análises de AR e pelo constante bom humor.

Aos queridos colegas, Áurea, Bruno, Carol, Carola, Cynthia, Denise, Edwin, Ivan, Jorge, Kátia, Lúcia, Nathy, Pricila, Tati Matuda, Tati Tribess e Vanessa, pela amizade, apoio, incentivo e auxílio na conclusão deste trabalho.

À minha família pelo apoio e compreensão nos dias difíceis.

Ao querido Márcio, pelo apoio constante, compreensão e ajuda em todos os momentos.

Aos meus amigos, Dany, Sá, Shiga e Bá pelos momentos de descontração e pela amizade de longa data.

A todos que contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a substituição parcial da farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM) na elaboração de pão francês pré-assado congelado (PFPAC) e oferecer uma alternativa tecnológica para um produto consumido no desjejum dos brasileiros, com propriedades funcionais devido ao conteúdo de fibra alimentar (FA). Medidas de desempenho de misturas com quatro níveis (0%, 5%, 15% e 30%) de substituição de FT por ARM, sendo 100% o equivalente ao total da mistura, foram obtidas através de alveografia e reofermentografia. Avaliação tecnológica e concentração de amido resistente (AR) de PFPAC produzidos a partir de misturas com cinco níveis de substituição de FT por ARM (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15,0%), foram realizadas de acordo com os resultados obtidos nas misturas. A análise foi conduzida ao longo do armazenamento congelado até 46 dias em cinco pontos (1, 8, 15, 25 e 46 dias). O nível de substituição influenciou significativamente o volume específico, a textura do miolo dos pães e a [AR], enquanto que o tempo de armazenamento influenciou a textura do miolo dos pães e a [AR]. O PFPAC produzido a partir da mistura com 10,0% de substituição de FT por ARM apresentou características tecnológicas similares à formulação padrão (0% de substituição) e concentração de 5,5 g de AR por 100 g de produto, sendo considerado, de acordo com a legislação brasileira, um alimento fonte de fibras. Medidas da [AR] nas diferentes etapas do processo produtivo de PFPAC (formulação, pré-assado congelado e pré-assado forneado) indicaram que a [AR] aumentou proporcionalmente em relação ao nível de substituição e redução com a evolução do tempo de armazenamento congelado, apresentando ótimo ajuste (r^2 de 0,949) para o modelo quadrático.

Palavras-chave: Pão. Pão francês pré-assado congelado. Alimentos funcionais. Amido resistente. Fibras.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the partial substitution of wheat flour (WF) for maize resistant starch (MRS) in the elaboration of frozen par-baked French bread (FPBFB) and offering a technological alternative for a product consumed at Brazilians' breakfast, presenting functional properties due to dietary fiber (DF) content. Dough performance measurements of mixtures at four levels (0%, 5%, 15% and 30%) of substitution of WF for MRS, being 100% equal to the mixture total, were obtained through alveography and rheofermentography. Technological evaluation and resistant starch (RS) concentration of FPBFB produced from mixtures with five substitution levels of WF for MRS (0.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% and 15.0%), were carried out according to the results obtained in the mixtures. The evaluation was conducted throughout 46 days of frozen storage, in five points (1, 8, 15, 25 and 46 days). Substitution level influenced significantly the specific volume, crumb texture and RS concentration of breads, whereas the frozen storage time influenced the bread crumb texture and RS concentration. The FPBFB produced from the mixture with 10% substitution of WF for MRS presented similar technological characteristics to the standard formulation (0% substitution) and RS concentration of 5.5 g per 100 g of product, being considered, according to Brazilian Legislation, a fiber-source foodstuff. Measures of RS concentration conducted in different bread production steps (formulation, frozen par-baked bread and par-baked bread fully baked), indicated that the RS concentration increased proportionally to the substitution level and reduced as the frozen storage time increased, presenting good adjustment (r^2 of 0.949) to the quadratic model.

Key-words: Bread. Frozen part-baked French bread. Functional food. Resistant starch. Fiber.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Diagrama das etapas do processo de produção de pão francês pré-assado congelado (PFPAC). 39
- Figura 2.1 Determinação dos parâmetros através do farinograma: tempo de chegada (t_c), tempo de desenvolvimento (t_d), tempo de saída (t_s) e índice de tolerância à mistura (ITM). A linha vermelha representa a consistência ótima de 500 unidades Brabender (B.U.). 50
- Figura 2.2 Alveógrafo modelo NG da CHOPIN, utilizado na medida de resistência à extensão da massa obtida das misturas. 51
- Figura 2.3 Determinação dos parâmetros pressão máxima (P), abscissa de ruptura da bolha (L), e a área (S) sob a curva no alveograma. 52
- Figura 2.4 Reofermentógrafo modelo R3 da CHOPIN, utilizado para avaliar o desenvolvimento e a retenção gasosa da massa durante a fermentação. 53
- Figura 2.5 Curva típica de desenvolvimento da massa obtida do reofermentógrafo: altura máxima (H_m) e seu respectivo tempo (T_1), altura ao final do teste (h), tempo após perda de 10% da altura máxima (T_2) e o tempo anterior à mesma altura (T_2'), altura aos 40 minutos (H_{40}) e aos 10 minutos (H_{10}). 54
- Figura 2.6 Curva típica de retenção gasosa da massa obtida do reofermentógrafo: altura relativa à pressão máxima (H_m') e seu tempo correspondente (T_1'), o tempo de separação entre as curvas de ciclo direto e indireto (T_x) e os volumes retido (V_r) e total (V_t) de gás carbônico. 55
- Figura 2.7 Masseur Supremax, modelo AL – 25 IM, utilizada na etapa de batimento da massa. 57
- Figura 2.8 Câmara de fermentação e forno turbo (Degânia, modelo Turbo 4), utilizados nas etapas de fermentação e pré-assamento/assamento final dos pães. 57

Figura 2.9	Câmara climática TIRAClima, modelo TCC 7034, utilizada na etapa de congelamento.	58
Figura 2.10	Representação através de diagrama de blocos do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC).	60
Figura 2.11	Medidor de volume CHOPIN, modelo 206, utilizado nas medidas de volume dos pães.	62
Figura 2.12	Analizador de textura TA-TX2i da Stable Micro Systems, com o <i>probe</i> P/36R, utilizado para análise de simples compressão do miolo do pão.	63
Figura 2.13	Representação através de diagrama de blocos das etapas do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC) nas quais foi determinada a concentração de amido resistente (AR), sendo elas: formulação, PANf (pão pré-assado não forneado) e PAf (pão pré-assado forneado).	65
Figura 3.1	Glúten úmido (WG) determinado nas misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).	69
Figura 3.2	Valores médios de pressão máxima (P) e da abscissa média de ruptura (L) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).	72
Figura 3.3	Valores médios de índice de inchamento (G) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}). O índice G ($\text{cm}^{3/2}$) normalmente é expresso sem indicação de unidade.	72
Figura 3.4	Valores médios de energia de deformação da massa (W) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).	73
Figura 3.5	Valores médios de altura máxima (H_m) e altura final (h) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).	75
Figura 3.6	Valores médios da velocidade de desenvolvimento (v_d) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).	75

- Figura 3.7 Valores médios do coeficiente de enfraquecimento (W_c) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}). 76
- Figura 3.8 Valores médios do volume total (V_t) produzido de gás carbônico e do volume retido (V_r) pelas massas produzidas das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}). 77
- Figura 3.9 Valores médios da taxa de produção gasosa (TPG) pelas massas produzidas das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}). 78
- Figura 3.10 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (F_m) de pães do miolo tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final. 82
- Figura 3.11 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (F_m) do miolo de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), uma hora após o assamento final. 83
- Figura 3.12 Valores médios obtidos de volume específico (V_{esp}) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final. 85
- Figura 3.13 Valores médios obtidos de volume específico (V_{esp}) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), uma hora após o assamento final. 85

Figura 3.14 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final.	87
Figura 3.15 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento de até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM), uma hora após o assamento final.	87
Figura 3.16 Representação, através de superfície de resposta, do modelo quadrático obtido para os resultados experimentais de concentração de AR ([AR]) através de regressão múltipla dos fatores nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) e tempo de armazenamento congelado (t_{FS}), no intervalo $0\% < x_{ARM} < 15\%$ e $1 < t_{FS} < 46$.	90
Figura 3.17 Valores médios de [AR] (% b.s.) dos pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) e em função da etapa do processo produtivo.	92
Figura A.1 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM0.	106
Figura A.2 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM5.	106
Figura A.3 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM15.	107
Figura A.4 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM30.	107
Figura A.5 – Curva de retenção gasosa de ARM0 e réplica.	108
Figura A.6 – Curva de retenção gasosa de ARM5 e réplica.	109
Figura A.7 – Curva de retenção gasosa de ARM15 e réplica.	110
Figura A.8 – Curva de retenção gasosa de ARM30 e réplica.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Teor de cinzas de acordo com a taxa de extração de farinha de trigo	
25	
Tabela 1.2 – Análises para caracterização e avaliação da qualidade de farinha de trigo (FT), seus objetivos, valores desejáveis para produção de pão francês e respectiva referência	26
Tabela 1.3–Principais aditivos e coadjuvantes de tecnologia de fabricação utilizados em panificação, suas classes, a forma de atuação e respectiva referência	30
Tabela 1.4–Principais compostos funcionais investigados pela ciência, de acordo com a Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais	31
Tabela 1.5 – Constituintes de fibra alimentar de acordo com a classificação da American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001)	33
Tabela 1.6 – Critérios quantitativos para alegações relacionadas à concentração de fibra alimentar (FA) em alimentos prontos para o consumo, segundo legislação brasileira (BRASIL, 1998b)	34
Tabela 1.7 – Resumo dos parâmetros para cada etapa do processo produtivo de pão pré-assado congelado relatados na literatura	40
Tabela 2.1 Parâmetros de processo para a preparação dos pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC).	61
Tabela 3.1 Valores médios em base úmida dos teores de umidade, cinzas e da concentração de amido resistente ([AR]) determinados na farinha de trigo (FT) e no amido resistente de milho (ARM), utilizados para as misturas.	67
Tabela 3.2 Valores médios de teor de umidade, teor de glúten úmido e cor das misturas de farinha de trigo (FT) e amido resistente de milho (ARM).	68
Tabela 3.3 Parâmetros determinados através do farinograma das misturas.	70
Tabela 3.4 Parâmetros determinados através do alveograma das misturas.	71

- Tabela 3.5 Valores médios dos parâmetros obtidos das curvas de desenvolvimento das misturas analisadas no reofermentógrafo. 74
- Tabela 3.6 Valores médios dos parâmetros obtidos das curvas de retenção gasosa das misturas quando submetidas aos ensaios no reofermentógrafo. 76
- Tabela 3.7 Valores médios da taxa de produção de gás (TPG) calculada a partir das curvas de retenção gasosa das misturas quando submetidas aos ensaios no reofermentógrafo. 78
- Tabela 3.8 Valores médios obtidos da força máxima de compressão (F_m), volume específico (V_{esp}), umidade e concentração de amido resistente ([AR]) de pães tipo francês pré-assado congelado até 46 dias, em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), após uma hora do assamento final. 80
- Tabela 3.9 Valores médios obtidos da força máxima de compressão (F_m), volume específico (V_{esp}), umidade e concentração de amido resistente ([AR]) de pães tipo francês pré-assado congelado até 46 dias, em função do tempo de armazenamento (t_{FS}), referentes ao nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho, após uma hora do assamento final. 80
- Tabela 3.10 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (mN), do miolo de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento congelado (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final. 81
- Tabela 3.11 Valores médios obtidos de volume específico, expresso em $cm^3.g^{-1}$, de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final. 84
- Tabela 3.12 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR), expresso em porcentagem sobre base total, de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho

(x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final. 86

Tabela 3.13 Termos das equações obtidas através da regressão múltipla para o modelo quadrático dos dados experimentais de força máxima (F_m), volume específico (V_{esp}) e concentração de amido resistente ($[AR]$) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), e do tempo de armazenamento (t_{Arm}). 89

Tabela 3.14 Valores médios obtidos da concentração de amido resistente ($[AR]$) (%b.s.) de pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC), em função do tempo de armazenamento até 46 dias, para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), ao longo das etapas de seu processo produtivo. 91

Tabela 3.15 Consumo médio de pão francês nas refeições de indivíduos adultos (com mais de 20 anos de idade) do município de Cotia-SP, em 1990, segundo sexo, adaptado de Mattos e Martins (2000). 93

Tabela 3.16 Estimativa de consumo médio de amido resistente (g por dia) nas refeições de indivíduos adultos (com mais de 20 anos de idade), do município de Cotia-SP, segundo sexo, calculada a partir de resultados médios de concentração de amido resistente de pães tipo francês pré-assado congelado produzido com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) ao longo do armazenamento congelado de até 46 dias. 93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC	American Association of Cereal Chemists
ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria
ABTS	ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Analytical Communities
AR	Amido resistente
ARM	Amido resistente de milho
ASTM	American Society for Testing Materials
B.S.	Base seca
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CSL	Estearoil-2-lactil lactato de cálcio
CYTED	Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DATM	Diacetil tartarato de mono e diglicerídeos
DHA	Ácido docosahexaenoico
DMS	Diferença Mínima Significativa
DSC	Differential Scanning Calorimetry (Calorimetria Exploratória Diferencial)
EC	Enzyme Commission
EPA	Ácido eicosapentaenóico
FA	Fibra alimentar
FCF-USP	Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo
FT	Farinha de trigo
GRAS	Generally Recognized as Safe
GVH	Gordura vegetal hidrogenada
HPMC	Hidroxipropil-metil-celulose
ICC	International Association for Cereal Science and Technology
ITM	Índice de Tolerância à Mistura

LDL	Lipoproteína de baixa densidade
P.A.	Para análise
PAf	Pão pré-assado forneado
PAnf	Pão pré-assado não forneado
PFPAC	Pão francês pré-assado congelado
PROPAN	Programa de Apoio à Panificação
RS	Resistant Starch
SINDIPAN	Sindicato da Indústria da Panificação e Confeitaria
SSL	Estearoil-2-lactil lactato de sódio
SVS/MS	Secretaria de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

[AR]	concentração de amido resistente (%)
a^*	cromaticidade (verde a vermelho)
b^*	cromaticidade (azul a amarelo)
D	número proporcional (EU.mm-1)
E	estabilidade (min)
F _m	força máxima de compressão (mN)
G	índice de inchamento (cm ^{3/2})
h	altura final de desenvolvimento (mm)
H10	altura da massa aos 10 minutos (mm)
H40	altura da massa aos 40 minutos (mm)
H _m	altura máxima de desenvolvimento (mm)
H _m '	altura relativa à pressão máxima (mmH ₂ O)
L	abscissa de ruptura (mm)
L*	luminosidade
m	massa (g)
m _{máx}	viscosidade máxima (UA)
p	nível de significância
P	pressão máxima (mmH ₂ O)
P/L	índice de configuração da curva (mmH ₂ O·mm ⁻¹)
Rc	coeficiente de retenção (%)
S	área sob a curva (mmH ₂ O.mm)
t	tolerância da massa (min)
T1	tempo correspondente a H _m (h)
T1'	tempo correspondente a H _m ' (h)
T2	tempo após H _m decair 10% (min)
T2'	tempo correspondente a T2 (min)
t _d	tempo de desenvolvimento (min)
t _e	tempo de entrada (min)
t _{FS}	tempo de armazenamento congelado (dias)

TPG	taxa de produção gasosa ($\text{mmH}_2\text{O} \cdot \text{min}^{-1}$)
t_s	tempo de saída (min)
Tx	tempo de separação das curvas de ciclo direto e indireto (h)
V	volume (cm^3)
v_d	velocidade de desenvolvimento ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)
Vr	volume retido (mL)
Vt	volume total (mL)
W	energia de deformação (J)
Wc	coeficiente de enfraquecimento (%)
X_{ARM}	nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (%)

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	2
INTRODUÇÃO	20
Objetivos	22
1 REVISÃO DA LITERATURA	23
1.1 Formulação de PFPAC.....	23
1.1.1 <i>Farinha de trigo (FT).....</i>	<i>23</i>
1.1.2 <i>Água, sal e fermento</i>	<i>26</i>
1.1.3 <i>Gordura Vegetal Hidrogenada (GVH).....</i>	<i>27</i>
1.1.4 <i>Aditivos e coadjuvantes de tecnologia.....</i>	<i>27</i>
1.2 Alimentos funcionais	31
1.2.1 <i>Fibra alimentar (FA).....</i>	<i>33</i>
1.2.2 <i>Alimentos para ingestão controlada ou com restrição de nutrientes</i>	<i>37</i>
1.3 Processo de produção de PFPAC.....	38
1.3.1 <i>Produção da massa.....</i>	<i>41</i>
1.3.2 <i>Fermentação</i>	<i>41</i>
1.3.3 <i>Pré-assamento</i>	<i>42</i>
1.3.4 <i>Resfriamento</i>	<i>43</i>
1.3.5 <i>Congelamento</i>	<i>43</i>
1.3.6 <i>Armazenamento congelado.....</i>	<i>43</i>
1.3.7 <i>Assamento final.....</i>	<i>44</i>
2 MATERIAIS E MÉTODOS	46
2.1 Materiais.....	46
2.2 Metodologia	47
Etapa 1:.....	47
2.2.1 <i>Análises na Farinha de Trigo (FT) e no Amido Resistente de Milho (ARM)</i>	
47	
2.2.2 <i>Análises nas misturas.....</i>	<i>48</i>
Etapa 2:	56

2.2.3	<i>Preparo dos pães</i>	56
2.2.4	<i>Avaliação dos pães</i>	61
2.2.5	<i>Avaliação da concentração de amido resistente ([AR]) nas etapas do processo produtivo</i>	63
2.3	Metodologia para avaliação de resultados	66
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.1	Etapa 1:	67
3.1.1	<i>Análises na farinha de trigo (FT) e no amido resistente de milho (ARM)</i>	67
3.1.2	<i>Análises nas misturas</i>	68
	<i>A Tabela 4.2 apresenta os resultados de teor de umidade, teor de glúten úmido e cor das misturas.</i>	68
	<i>Farinografia</i>	70
3.1.3	<i>Alveografia</i>	70
	<i>Reofermentografia</i>	73
3.2	Etapa 2	79
3.2.1	<i>Avaliação dos pães</i>	79
3.2.2	<i>Concentração de amido resistente ([AR]) de acordo com etapas do processo produtivo</i>	91
3.2.3	<i>Estimativa de consumo médio de AR através do PFPAC</i>	93
4	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS	96
	ANEXO A – CURVAS DO REOFERMENTÓGRAFO	106

INTRODUÇÃO

O segmento de panificação e confeitaria no Brasil está entre os seis maiores segmentos industriais do país e representa um faturamento anual ao redor de R\$ 25 bilhões, sendo o setor composto por 105 mil pequenos empresários em 52 mil empresas e com mão-de-obra direta empregada em torno de 580 mil pessoas (ABIP - PROPAN, 2006). Atrelado ao mercado de panificação, cerca de 50% do total comercializado de farinha de trigo é destinado a este mercado (SINDIPAN, 2005).

Atualmente no mercado ocorre uma tendência crescente pela procura por alimentos semi-prontos e prontos para consumo, que também é visível no setor de panificação. Nos Estados Unidos e Europa, esta tendência é evidenciada pela expansão na produção de pães semi-assados e congelados. Diversas vantagens estão relacionadas à introdução deste novo conceito no mercado brasileiro, pela padronização do produto industrializado, pela redução de custos com perdas e estoque de matéria-prima e pela disponibilidade do produto no ponto de venda, limitado apenas pela capacidade das instalações locais (NUTRINEWS, 1999). Além disso, existe ainda uma tendência à diminuição das instalações e quadro de funcionários no setor, devido à concorrência e competitividade existentes (SINDIPAN, 2005).

Uma crescente demanda por alimentos saudáveis e que tragam benefícios para a saúde do consumidor ocorre no mercado. Dentro deste contexto, os alimentos funcionais contendo fibra alimentar (FA) vêm sendo foco de estudos relacionados à redução nos níveis de colesterol do plasma sangüíneo e da resposta glicêmica, ao aumento da velocidade do trânsito intestinal, seqüestro e aumento da excreção de substâncias tóxicas, aumento da excreção de ácidos biliares e estrógenos, alívio da constipação, melhora da qualidade da microflora intestinal e redução da incidência de câncer de cólon (WASZCZYNSKYJ et al., 2001; SGARBIERI; PACHECO, 1999). Em contrapartida, Menezes, Giuntini e Lajolo (2001) demonstraram que a ingestão da FA pela população brasileira entre as décadas de 70 e 90, baseada em seis regiões metropolitanas, diminuiu de 19,3 g/dia na década de 70 para 16,0 g/dia na década de 80 e para 12,4 g/dia na década de 90. Dentre as regiões metropolitanas pesquisadas, as que apresentaram maior redução no consumo de FA foram a região de São Paulo, no estado de São Paulo e de Porto

Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, que apresentaram redução de 50% entre as décadas de 70 e 90, durante as quais a população da região de São Paulo apresentou redução no consumo de FA de 18,8 g/dia para 9,3 g/dia e na região de Porto Alegre, de 17,8 g/dia para 8,5 g/dia, respectivamente.

Mattos e Martins (2000) mostraram que a dieta do brasileiro ainda é deficiente em FA, apresentando consumo diário de cerca de 24 g para o município de Cotia, região metropolitana de São Paulo, pois o consumo de FA está concentrado no almoço e no jantar, sendo que no desjejum, o consumo médio de 32 g de pão francês contribuiu com apenas 1 g de FA.

O número de estudos relacionados à tecnologia de produção de pão francês pré-assado congelado (PFPAC) (CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; LEBAIL et al., 1999; LEBAIL et al., 2005) e trabalhos relacionados à tecnologia de produção de pão como alimento funcional com maior teor de amido resistente (AR) (HUNG; MORITA, 2004; HUNG; YAMAMORI; MORITA, 2005; MORITA et al., 2002) crescem de modo concorrente ao número de trabalhos que correlacionam o uso do AR como fonte de FA e seu potencial emprego em alimentos funcionais (ÅKERBERG; LILJEBERG; BJÖRCK, 1998; GOÑI; GARCÍA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997; QUEIROZ-MONICI et al., 2005; ROSIN; LAJOLO; MENEZES, 2002; YAMADA et al., 2005).

O aumento de AR em alimentos fonte de amido, dentre eles o pão francês, está relacionado com o armazenamento congelado, conforme estudos realizados por Rosin, Lajolo e Menezes (2002) que evidenciaram o aumento do teor de AR após 30 dias de armazenamento a - 20°C. Do ponto de vista tecnológico, o armazenamento a - 18°C de PFPAC está relacionado ao significativo aumento no endurecimento do miolo e conseqüente decréscimo na qualidade deste (BÁRCENAS et al., 2003).

Ao se realizar a substituição de uma fração de farinha de trigo (FT) por FA, pode-se utilizar a alegação de “fonte de fibras” quando a quantidade de FA é superior a 3g/100g de alimento e “alto teor de fibras” quando sua quantidade for superior a 6g/100g de alimento (BRASIL, 1998b). Tecnicamente, a substituição de FT por AR afeta a qualidade do PFPAC, através de interferências na interação das proteínas formadoras da rede de glúten.

Um estudo confrontando a qualidade tecnológica com a quantificação do AR, poderá ser de grande auxílio no desenvolvimento de novos produtos de panificação

para disponibilizar no mercado alternativas para a introdução de fibras na dieta do brasileiro.

Este trabalho faz parte do projeto CYTED 106PI301: “Obtención de productos de panificación para necesidades específicas”, coordenado pelo Dr. Alberto Edel León, visando estudar e formular produtos de panificação funcionais.

Objetivos

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência da substituição de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM) sobre a qualidade tecnológica do pão francês pré-assado congelado (PFPAC), ao longo de 46 dias, e determinar a concentração do amido resistente (AR) no PFPAC, em etapas do processo produtivo, bem como em seu armazenamento congelado.

1 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica deste trabalho divide-se em três partes, apresentadas em sequência:

- ✓ Formulação de pão francês pré-assado congelado (PFPAC);
- ✓ Alimentos funcionais e para fins específicos em panificação;
- ✓ Processo de produção de PFPAC.

1.1 Formulação de PFPAC

Nesta seção, constam os ingredientes tradicionalmente utilizados no preparo de PFPAC e pão francês fresco. Segundo a Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (SVS/MS), ingrediente é qualquer substância, incluídos os aditivos alimentares, empregada na fabricação ou preparação de um alimento e que permanece no produto final, ainda que de forma modificada (BRASIL, 1997).

1.1.1 *Farinha de trigo (FT)*

A FT é o ingrediente presente em maior quantidade na formulação devendo possuir umidade máxima de 15%, limite estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005).

Estudos realizados por Andersson et al. (1992), em farinhas de trigo de inverno e de primavera originárias de diversas partes da Suécia, mostraram que sua composição varia naturalmente. Nesses estudos, a concentração de amido variou entre 74 e 86%, a de proteína encontrou-se entre 9 e 18%, cinzas entre 0,5 e 0,7% e a concentração de fibra alimentar variou de 2,7 a 4,7%. A revisão bibliográfica feita por Goesert et al. (2005) apresenta valores típicos que estão de acordo com os reportados por Andersson et al. (1992) quanto à concentração de amido, de proteínas e de fibras. Além disso, Goesert et al. (2005) reportam valores típicos para o teor de polissacarídeos não-amido, em particular arabinoxilanas (usualmente entre 2 e 3%) e lipídios (em torno de 2%).

O amido é o mais importante polissacarídeo de reserva e o mais abundante constituinte de diversas plantas, incluindo os cereais. Sua estrutura é composta majoritariamente por polímeros de glicose denominados amilose e amilopectina. A amilose é uma molécula linear, dotada essencialmente de ligações glicosídicas α -1,4, cujo grau de polimerização está na faixa de 5×10^2 a 6×10^3 unidades de glicose. Em contraposição, a amilopectina é uma molécula extremamente grande e muito ramificada, dotada de ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, possuindo grau de polimerização na faixa de 3×10^5 e 3×10^6 unidades de glicose. Valores típicos para a amilose e a amilopectina na FT estão entre 25-28% e 72-75%, respectivamente. Estas participam de mecanismos associados ao envelhecimento do pão, como o endurecimento do miolo. O grão de amido apresenta estrutura parcialmente cristalina (grau de cristalinidade de 20 a 40%), sendo camadas amorfas alternadas radialmente com camadas parcialmente cristalinas, compostas de lamelas amorfas e cristalinas. As camadas amorfas são menos densas e contém a amilose e provavelmente a parte menos ordenada de amilopectina (não cristalina). No modelo atualmente aceito, as lamelas cristalinas são formadas por duplas-hélices de amilopectina empacotadas em paralelo, e nas lamelas amorfas encontram-se os pontos de ramificação da amilopectina e provavelmente também amilose (GOESAERT et al., 2005).

Durante a moagem do trigo para obtenção de farinha, uma fração significativa da fração de amido (tipicamente 8%) é danificada fisicamente, modificando a sua estrutura e conseqüentemente promovendo maior absorção de água e maior suscetibilidade à hidrólise enzimática (CRAIG; STARK, 1984; GOESAERT et al., 2005).

O amido quando aquecido à temperatura denominada temperatura de gelatinização em meio aquoso, forma um gel num processo reversível. No aquecimento em meio aquoso, ocorre uma série de eventos que levam à destruição da estrutura do grão de amido, tornando as partes cristalinas em regiões amorfas e desordenadas, num processo denominado gelatinização. Quando a pasta de amido amorfo é resfriada, os polissacarídeos passam para um estado mais organizado e de maior cristalinidade, em um processo denominado retrogradação (ATWELL et al., 1988).

Segundo Andersson et al. (1992), a fração de fibra alimentar inclui polissacarídeos não-amido, como resíduos de polissacarídeos, amido resistente e lignina.

As proteínas presentes na FT podem ser classificadas de acordo com sua funcionalidade, como proteínas não formadoras de glúten (albumina e globulina), representando cerca de 15 a 20% do total, e aquelas formadoras do glúten (gliadina e glutenina), consistindo em 80 a 85% do total de proteínas. A gliadina é uma molécula de cadeia única, rica em prolina e glutamina, podendo associar-se entre si ou com gluteninas, o que proporciona extensibilidade e coesão à massa. A glutenina possui composição similar à da gliadina, porém é uma molécula de cadeia múltipla e é responsável pela resistência à extensão da massa (BORGHT et al., 2005).

A quantidade de cinzas está diretamente relacionada à taxa de extração do trigo, como pode ser observado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Teor de cinzas de acordo com a taxa de extração de farinha de trigo

Cinzas	Taxa de extração
(% de matéria seca)	(%)
Abaixo de 0,50	67-70
De 0,50 a 0,60	75-78
De 0,62 a 0,75	78-80
De 0,75 a 0,90	80-85
De 1,00 a 1,20	85-90
Acima de 1,40	90-98

FONTE: CALVEL, 1987.

É conveniente ressaltar que a quantidade de cinzas não está diretamente relacionada com a qualidade da farinha.

Existem diversas formas de verificar se uma farinha é panificável ou não, através de uma série de ensaios realizados de modo a determinar suas propriedades físicas e sua capacidade fermentativa. É possível avaliar as propriedades físicas de uma farinha através de alveografia, farinografia, teor de

glúten, e índice de Hagberg, também conhecido como *falling number*. Na Tabela 1.2 estão mostradas as análises e os valores desejáveis para uma farinha adequada para a produção de pão francês.

Tabela 1.2 – Análises para caracterização e avaliação da qualidade de farinha de trigo (FT), seus objetivos, valores desejáveis para produção de pão francês e respectiva referência

Análise	Objetivo	Valor desejável	Referência
Alveografia	Verificar a resistência da massa à extensão	$P \geq 45 \text{ mmH}_2\text{O}$	CALVEL, 1987; PIZZINATTO, 1997
		$L \text{ (estimado)} \geq 98 \text{ mm}$	
		$W \geq 150 \cdot 10^{-4} \text{ J}$	
		$G \geq 22 \text{ cm}^{3/2}$	
Amilografia	Avaliar a atividade de alfa-amilase presente na FT	$P/L \geq 0,5 \text{ mmH}_2\text{O} \cdot \text{mm}^{-1}$	PIZZINATTO, 1997
		$\mu \text{ máx.: } 400\text{-}700 \text{ U.A.}$	
<i>Falling number</i>	Avaliar a atividade de alfa-amilase presente na FT	Entre 200 e 300s.	PIZZINATTO, 1997
Farinografia	Avaliar a tolerância e a absorção ótima de água da FT	Abs. água $\geq 58\%$	PIZZINATTO, 1997
		E: 8-15 minutos	
		t_d : 4-8 minutos	
		ITM: 15-50 U.F.	
Extensografia	Verificar a tolerância da massa à extensão	$D > 2,5 \text{ U.E./mm}$	PIZZINATTO, 1997
Teor de glúten úmido	Determinar se a farinha forma quantidades suficientes de glúten	23-30%	PIZZINATTO, 1997

Alveografia: P: pressão máxima, L: abscissa de ruptura, W: energia de deformação; G: índice de inchamento; P/L: índice de configuração da curva; **Amilografia:** μ máx: viscosidade máxima, U.A.: Unidades Amilográficas; **Farinografia:** Abs. água: Absorção de água, E: estabilidade, t_d : tempo de desenvolvimento, ITM: índice de tolerância à mistura, U.F.: Unidades Farinográficas; **Extensografia:** D: Número proporcional; U.E.: Unidades Extensográficas.

1.1.2 Água, sal e fermento

A água desempenha papel importante na formação da massa, hidratando a farinha, intumescendo os grãos de amido, assegurando a união das proteínas que originam a rede de glúten na qual se insere o amido. O meio úmido também favorece a atividade enzimática e a do fermento do pão (CALVEL, 1987).

O sal (cloreto de sódio) é responsável por reforçar as propriedades plásticas da massa, diminuir a atividade fermentativa, tendendo a normalizá-la e melhorar o sabor do pão. Devido às suas características higroscópicas, atua na conservação do pão (CALVEL, 1987).

O fermento biológico é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, capaz de produzir gás carbônico através de processo fermentativo, a partir do consumo de sacarose (quando presente na formulação) e amido da FT. A produção de gás carbônico é responsável pela formação de alvéolos internos e pelo conseqüente aumento de volume (também referido como crescimento) da massa. O fermento pode ser fresco prensado ou seco, sendo o fresco prensado apresentado em blocos paralelepípedos e os secos em forma granular ou em lâminas finas (instantâneo) (CALVEL, 1987).

1.1.3 Gordura Vegetal Hidrogenada (GVH)

A adição da GVH à formulação de PFPAC proporciona maior maciez e reduz a gomosidade do mesmo (CARR; TADINI, 2003). Carr e Tadini (2003) estudaram PFPAC produzidos com e sem GVH e constataram que a firmeza foi reduzida quando se adicionou 2% de GVH. Estudos indicam que a adição de 1 ou 2% de GVH em formulações de PFPAC promoveram um aumento significativo do volume específico dos pães quando comparados aos produzidos sem GVH (FERREIRA; WATANABE, 1998).

1.1.4 Aditivos e coadjuvantes de tecnologia

Segundo a Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (SVS/MS), o aditivo alimentar é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos, sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento. Algumas funções de aditivos alimentares são: emulsificantes (Polisorbato 80, Diacetil tartarato de mono e diglicerídeos, monoglicerídeos entre outros) estabilizantes (gomas Guar e Jataí,

carboximetilcelulose, entre outros) e melhorador de farinha (ácido ascórbico, azodicarbonamida, entre outros) (BRASIL, 1997).

O coadjuvante de tecnologia é toda substância que se emprega intencionalmente no alimento para obter uma finalidade tecnológica durante o tratamento ou fabricação, devendo ser eliminada do alimento ou inativada, podendo admitir-se no produto final a presença de traços de substância, ou de seus derivados (BRASIL, 1997). Como coadjuvante de tecnologia utilizado em panificação pode-se citar a enzima α -amilase. Normalmente, esta enzima está presente em baixa quantidade no endosperma do grão de trigo, o que leva à obtenção de farinhas de trigo com quantidades insuficientes de α -amilase para panificação. Para condicionar a FT ao valor panificável do *falling number* ou da amilografia (Tabela 1.2), adiciona-se a α -amilase que, após atuar sobre a hidrólise de frações do amido da FT durante o batimento da massa e fermentação, é inativada durante a cocção do pão

Os emulsificantes são surfactantes, possuindo uma parte lipofílica e outra hidrofílica. A tensão superficial entre fases imiscíveis é reduzida quando se adicionam os emulsificantes, facilitando a formação da emulsão. Em panificação, os emulsificantes podem ser classificados segundo seu efeito, como fortalecedor de massa ou aquele que proporciona maciez de miolo. Normalmente, os emulsificantes que proporcionam maciez não são bons fortalecedores de massa, e vice-versa. Os fortalecedores de massa freqüentemente utilizados são DATEM (diacetil tartarato de monoglicerídeos), SSL (estearoil-2-lactil lactato de sódio), CSL (estearoil-2-lactil lactato de cálcio) e polisorbato. A forma de atuação dos fortalecedores de massa não está completamente elucidada, porém provavelmente atuam na interface entre o glúten e o amido. O emulsificante típico que proporciona maciez de miolo é o monoglicerídeo. Este tipo de emulsificante promove maciez e retarda o envelhecimento possivelmente através de interação com os constituintes do amido (STAMPFLI; NERSTEN, 1995).

Os hidrocolóides ou gomas são polissacarídeos não estruturais que são comumente encontrados em vegetais ou produzidos através de microrganismos, que interagem com a água, produzindo uma dispersão coloidal (RUPÉREZ; BRAVO, 2001). A viscosidade e a textura do gel formado variam de acordo com o

hidrocolóide empregado. Em panificação, são comumente empregados os celulósicos (hidroxipropil-metil-celulose e celulose microcristalina), aqueles provenientes de sementes (goma de alfarroba e goma guar), de algas (carragenatos e alginatos) e ainda aqueles provenientes de fermentação microbiana (goma xantana). Os hidrocolóides têm sido foco de estudos para a produção de pão sem glúten e para prover proteção contra danos na estrutura de massas e pães congelados (LAZARIDOU et al., 2007; RIBOTTA et al., 2004; ROSELL; ROJAS; BENEDITO DE BARBER, 2001).

Os agentes oxidantes contribuem para branquear a farinha e fortalecem a massa através da criação de ligações dissulfídicas entre as proteínas do glúten (NAKAMURA; KURATA, 1997). O ácido ascórbico tem sido empregado como agente oxidante em substituição ao bromato de potássio quando o uso deste último foi proibido no Brasil pelo Ministério da Saúde, em 2001 (BRASIL, 2001).

As enzimas funcionam como catalisadores naturais de reações bioquímicas e provêm de animais, vegetais ou microrganismos. Sua classificação é feita de acordo com as reações que catalisa, e sua eficiência e características dependem da sua origem (POUTANEN, 1997). Estudos relacionados à aplicação de enzimas em panificação são conduzidos desde 1950. Muitas preparações enzimáticas, amilases, proteases, lipoxigenases, hemicelulases, e até lactases são empregadas em panificação (LINKO; JAVANAINEN; LINKO, 1997). Atualmente, há também enzimas, em especial as amilolíticas, sendo utilizadas para retardar o endurecimento do miolo de pães ao longo de sua vida de prateleira (GRAY; BEMILLER, 2003; HUG-ITEN; ESCHER; CONDE-PETIT, 2003).

Os agentes de controle de microrganismos usualmente possuem uso restrito em aplicações por legislação, que varia de acordo com o país. Os principais aditivos antimofos utilizados em panificação são: propionato, sorbatos, acetatos e etanol (BRASIL, 1999a; BRASIL, 1999c; LEGAN, 1993). Os principais antibacterianos são ácidos e sais orgânicos (ODAME-DARKWAH; MARSHALL, 1993).

Na Tabela 1.3, os principais aditivos e coadjuvantes de tecnologia usualmente utilizados na fabricação de pães estão apresentados de acordo com sua função, classe e atuação.

Há uma constante busca de alternativas para retardar o envelhecimento do PFPAC, visando interferir na retrogradação da amilopectina, através da adição de diversos aditivos alimentares, como hidrocolóides (BÁRCENAS; ROSELL, 2005; BÁRCENAS; ROSELL, 2006), enzimas, principalmente as amilolíticas (BUESO et al., 2004; GRAY; BEMILLER, 2003; KATINA et al., 2006; SI, 1997) e emulsificantes (GRAY; BEMILLER, 2003; STAMPFLI; NERSTEN, 1995).

Tabela 1.3– Principais aditivos e coadjuvantes de tecnologia de fabricação utilizados em panificação, suas classes, a forma de atuação e respectiva referência

Função	Classes	Atuação	Referência
Emulsificantes	Formadores de complexo com amido	Complexam com o amido, retardando o efeito da retrogradação e o endurecimento do miolo do pão	STAMPFLI; NERSTEN, 1995
	Fortalecedores de massa	Atuam nas interações entre as proteínas formadoras do glúten	STAMPFLI; NERSTEN, 1995
Estabilizantes	Hidrocolóides e gomas	Provem estrutura à massa, promovem estabilização das células de gás, atuam na proteção contra danos oriundos do congelamento	LAZARIDOU et al., 2007; RIBOTTA et al., 2004; ROSELL; ROJAS; BENEDITO DE BARBER, 2001
Agentes oxidantes	-	Auxiliam na oxidação das pontes sulfídicas entre as proteínas formadoras do glúten	NAKAMURA; KURATA, 1997
Enzimas	Amilases	Hidrolisam constituintes do amido	POUTANEN, 1997
	Proteases	Hidrolisam proteínas	POUTANEN, 1997
	Celulases e hemicelulases	Hidrólise de componentes celulósicos	POUTANEN, 1997
	Lipases e esterases	Hidrolisam ésteres	POUTANEN, 1997
	Oxidases	Oxidam substratos	POUTANEN, 1997
	Anti-envelhecimento	Atuam sobre os mecanismos de envelhecimento, principalmente sobre a amilopectina	GRAY; BEMILLER, 2003
Antimicrobianos	Antimofo	Substâncias que inibem ou reduzem o crescimento e/ou aparecimento de bolores	LEGAN, 1993
	Antibacteriano	Substâncias que inibem ou reduzem o crescimento e/ou aparecimento de bactérias	ODAME-DARKWAH; MARSHALL, 1993

1.2 Alimentos funcionais

Os alimentos funcionais são definidos como alimentos ou ingredientes que produzem efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos para a saúde além de suas funções nutricionais convencionais, podendo ser consumidos sem supervisão médica. A eficácia e segurança desses alimentos devem ser comprovadas através de estudos científicos (BRASIL, 1999b; SALGADO, 2006).

A Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais (SALGADO, 2006) ressalta os principais compostos investigados pela ciência como os apresentados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4– Principais compostos funcionais investigados pela ciência, de acordo com a Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais

Componentes ativos	Propriedades benéficas	Exemplos de alimentos que contêm o componente
Isoflavonas	Ação estrogênica (reduz os efeitos da menopausa) e anti-câncer	Soja e derivados
Proteínas de soja	Redução dos níveis de colesterol	Soja e derivados
Ácidos graxos ômega-3 (EPA e DHA)	Redução do LDL-colesterol, ação antiinflamatória. Indispensável para o desenvolvimento do cérebro e da retina de recém nascidos	Peixes marinhos como sardinha, salmão, atum, anchova, arenque, etc.
Ácido alfa-linolênico	Estimula o sistema imunológico e possui ação antiinflamatória	Óleos de linhaça, colza e soja, nozes e amêndoas
Catequinas	Reduzem a incidência de certos tipos de câncer, reduzem o colesterol e estimulam o sistema imunológico	Chá verde, cerejas, amoras, framboesas, mirtilo, uva roxa, vinho tinto
Licopeno	Antioxidante, reduz níveis de colesterol e o risco de certos tipos de câncer, como o de próstata	Tomate e derivados, goiaba vermelha, pimentão vermelho, melancia
Luteína e Zeaxantina	Antioxidantes, protegem contra degeneração macular	Luteína: folhas verdes Zeaxantina: pequi e milho

Continua

Continuação

Componentes ativos	Propriedades benéficas	Exemplos de alimentos que contêm o componente
Indóis e Isotiocianatos	Indutores de enzimas protetoras contra o câncer, principalmente o de mama	Couve-flor, repolho, brócolis, couve de Bruxelas, rabanete, mostarda
Flavonóides	Atividade anti-câncer, vasodilatadora, antiinflamatória e antioxidante	Soja, frutas cítricas, tomate, pimentão, alcachofra, cereja, salsa, etc.
Fibras solúveis e insolúveis	Reduz o risco de câncer de cólon, melhora o funcionamento intestinal; fibras solúveis podem ajudar no controle da glicemia e no tratamento da obesidade, pois proporcionam maior saciedade	Cereais integrais como aveia, centeio, cevada, farelo de trigo, etc.; leguminosas como soja, feijão, ervilha, etc.; hortaliças com talos e frutas com casca
Frutooligossacarídeos e inulina	Ativam a microflora intestinal, favorecendo o bom funcionamento do intestino	Extraídos de vegetais como raiz de chicória e batata yacon
Sulfetos alílicos	Reduzem o colesterol, pressão sanguínea, melhoram o sistema imunológico e reduzem o risco de câncer gástrico	Alho e cebola
Ligninas	Inibição de tumores hormônio-dependentes	Linhaça, noz moscada
Tanino	Antioxidante, anti-séptico, vaso-constritor	Maçã, sorgo, manjeriço, manjerona, sálvia, uva, caju, soja, etc.
Estanóis e esteróis vegetais	Reduzem o risco de doenças cardiovasculares	Extraídos de óleos vegetais como soja e de madeiras
Probióticos – Bifidobactérias e Lactobacilos	Favorecem as funções gastro-intestinais, reduzindo o risco de constipação e câncer de cólon	Leites fermentados, iogurtes e outros produtos lácteos fermentados

FONTE: SALGADO, 2006.

A seguir, serão apresentados de forma resumida os ingredientes funcionais mais empregados em panificação.

1.2.1 Fibra alimentar (FA)

Segundo a American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001):

“Fibra alimentar é a parte comestível de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano com completa ou parcial fermentação no intestino grosso. Fibra alimentar inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias associadas de plantas. A fibra alimentar promove efeitos fisiológicos benéficos incluindo laxação e/ou atenuação do nível de colesterol no sangue e/ou atenuação nos níveis de glicose no sangue”.

Através da classificação apresentada na definição de FA pela AACC (2001), os constituintes estão divididos como apresentado na Tabela 1.5:

Tabela 1.5 – Constituintes de fibra alimentar de acordo com a classificação da American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001)

	Tipo	Sub-tipo
Polissacarídeos não-amidos e oligossacarídeos resistentes	Celulose	-
	Hemicelulose	Arabinoxilanos
		Arabinogalactanos
	Polifrutoses	Inulina
		Oligofrutosos
	Galacto-oligossacarídeos	-
	Gomas	-
	Mucilagens	-
	Pectinas	-
Carboidratos análogos	Dextrinas indigeríveis	Maltodextrinas resistentes (de milho e outras fontes)
		Dextrinas resistentes de batata
		Polidextrose
	Componentes de carboidratos sintéticos	Metil Celulose
		Hidroxipropil metil celulose
	Amidos indigeríveis (resistentes)	-

Continua

Continuação

Lignina	-	-
	Ceras	-
Substâncias associadas ao complexo de polissacarídeos não-amidos e lignina em plantas	Ftato	-
	Cutina	-
	Saponinas	-
	Suberina	-
	Taninos	-

FONTE: AACC, 2001.

Segundo a legislação brasileira, alimentos são considerados fonte de FA ou com alto teor de FA quando atendem aos critérios quantitativos apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 1.6 – Critérios quantitativos para alegações relacionadas à concentração de fibra alimentar (FA) em alimentos prontos para o consumo, segundo legislação brasileira (BRASIL, 1998b)

Alegação	Quantidades de FA no produto pronto para consumo
Fonte de FA	Mínimo de 3 g / 100 g de alimento sólido
	Mínimo de 1,5 g / 100 ml de alimento líquido
Alto Teor de FA	Mínimo de 6 g / 100 g de alimento sólido
	Mínimo de 3 g / 100 ml de alimento líquido

Os alimentos contendo fibras trazem benefícios como redução do tempo de retenção do bolo fecal no intestino grosso, reduzindo o tempo de contato do órgão com substâncias cancerígenas e conseqüentemente reduzindo o índice de câncer colorretal (NUTRINEWS, 2001; WASZCZYNSKYJ et al., 2001).

Amido resistente

O termo amido resistente (AR) foi sugerido inicialmente por Englyst, Wiggins e Cummings (1982), quando constataram que muitos alimentos processados continham maior teor aparente de polissacarídeos não-amidos do que os da fonte originalmente empregada para sua preparação. Análises detalhadas revelaram que

este aumento estava relacionado à presença de α -glucanos, que poderiam ser detectados como glicose após serem dispersos em hidróxido de potássio, e submetidos à hidrólise por enzimas amilolíticas.

Definiu-se AR como “a soma do amido e seus produtos de degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis” (ASP, 1992).

O AR classifica-se em quatro tipos: o amido fisicamente inacessível (tipo I ou RS1), como o de sementes ou leguminosas, frações não gelatinizadas de amido pouco suscetíveis a ataques enzimáticos; como aquele presente na banana verde ou em batata nativa (tipo II ou RS2); amido gelatinizado retrogradado (tipo III ou RS3) e aquele modificado para adquirir resistência à digestão (tipo IV ou RS4) (GOLDRING, 2004).

Segundo a Legislação Brasileira, os amidos são considerados ingredientes de produtos de panificação (BRASIL, 1997), não possuindo limite máximo para a sua adição. Nos Estados Unidos, o AR não modificado quimicamente é reconhecido como GRAS (*Generally Recognized as Safe*), e na Europa e em diversas outras partes do mundo, o AR não modificado quimicamente pode ser comercializado e consumido por consistir em um componente natural produzido por técnicas tradicionais de cultivo de plantas. Estudos mostram que doses diárias de até 60g de AR proveniente de milho com alto teor de amilose não estão associadas a efeitos adversos em humanos (GOLDRING, 2004).

Além de não ser considerado aditivo alimentar, o amido resistente possui cor branca, sendo uma opção para aplicação em alimentos ricos em amido. Alguns amidos, como o Hi-Maize® 260 da National Starch, possuem teor de AR em torno de 60% (base seca) e são resistentes a altas temperaturas (115 a 120°C), podendo ser submetidos a processos como cocção do pão no forno. A absorção de água do Hi-Maize® 260 também é reduzida, sendo ligeiramente superior à da FT (cerca de 1,25 vezes maior que a da FT), enquanto que outros tipos de fibra, como a de trigo, a de aveia e a celulósica possuem absorção de água de cerca de 3 a 5 vezes maior que a da FT. O fabricante recomenda seu uso em torno de 5 a 20% base ingredientes secos, equivalente a 5 a 17% de substituição da FT pelo produto (NATIONAL STARCH, 2005).

Métodos para determinação de AR foram propostos através de digestão enzimática *in vitro*, como o de Englyst, Wiggins e Cummings (1982), o de Berry¹ (1986) apud McClearly e Monaghan (2002), o de Champ (1992), o de Faisant et al.² (1995) apud McClearly e Monaghan (2002) e o de Goñi et al. (1996). O método atualmente aprovado pela *Association of Analytical Communities* (AOAC) é o método 2002.02 (MCCLEARLY; MCNALLY; ROSSITER, 2002; MCCLEARLY; MONAGHAN, 2002).

O AR vem sendo objeto de estudo em alimentos que, após sua ingestão, proporcionam menor resposta glicêmica (ÅKERBERG; LILJEBERG; BJÖRCK, 1998; GOÑI et al., 1996).

Liljeberg, Åkerberg e Björck (1995) estudaram a formação de AR através do método de Holm et al.³ (1986) apud Liljeberg, Åkerberg e Björck (1995) em pão de centeio através de alterações no processo de assamento do pão, de 40 minutos a 200°C para 20 horas a 120°C, constatando aumento significativo da concentração de AR.

Rosin, Lajolo e Menezes (2002) estudaram a concentração de AR através do método de Goñi et al. (1996) em alimentos armazenados a -20°C, dentre eles o pão adquirido do mercado, constatando que sua quantidade aumentava 8% durante o período de 30 dias.

Hung e Morita (2004) verificaram o efeito em farinógrafo da substituição de 0, 5, 10 e 15% de FT por 3 diferentes tipos de amido de milho com ligações cruzadas, com o intuito de aumentar o teor de amido resistente no pão de forma. As misturas foram preparadas e amostras contendo 92% de mistura e 8% de glúten vital foram comparadas à farinha sem substituição. A absorção de água variou de 59,0 a 62,4% e a estabilidade das misturas com glúten foi maior ou igual à do controle. Foram preparados pães de forma com essas misturas e deixados em temperatura ambiente por 5 dias, durante os quais os autores observaram menor dureza do miolo, em

¹ BERRY, C. S. Resistant Starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. **Journal of Cereal Science**, v. 4, p. 301-314, 1986.

² FAISANT, N., PLANCHOT, V., KOZIWSKI, F., COLONNA, P., CHAMP, M. Resistant starch determination adapted to products containing high level of resistant starch. **Science des Aliments**, v. 15, p. 85-91, 1995

³ HOLM, J., BJÖRCK, I., DREWS, A., ASP, N.-G. A rapid method for the analysis of starch. **Starch/Stärke**, v. 38, p. 294-297, 1986.

relação à amostra sem substituição, em quase todas as amostras preparadas com as misturas durante os 5 dias.

Hung, Yamamori e Morita (2005) estudaram o efeito da substituição de FT convencional por uma com maior teor de amilose. Os ensaios em farinógrafo mostraram que essa substituição ocasionou um decréscimo da estabilidade da mistura (maior que 20 min para aproximadamente 5 min) e aumento da absorção de água (de 69,0% para 85,0%). Os autores também estudaram a formação de AR em pães de forma durante o armazenamento a 22°C em 4 pontos ao longo de 5 dias, observando aumento da concentração de AR entre os pontos 0 e 1 dias de armazenamento devido à retrogradação da amilose.

Yamada et al. (2005) estudaram a resposta glicêmica em humanos após o consumo de pães convencionais e contendo AR, a partir da qual verificaram que para indivíduos com nível inicial de glicose superior ao normal, a resposta glicêmica após o consumo do pão com AR foi significativamente menor que a resposta obtida após o consumo do pão convencional, ao passo que, para indivíduos com nível de glicose inicial dentro da normalidade, as respostas ao consumo dos dois tipos de pães não apresentaram diferenças significativas.

1.2.2 Alimentos para ingestão controlada ou com restrição de nutrientes

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, alimentos para fins especiais são aqueles especialmente formulados ou processados, nos quais são introduzidas modificações no conteúdo de nutrientes, adequados a utilizações em dietas, diferenciadas e ou opcionais, atendendo as necessidades de pessoas em condições metabólicas e fisiológicas específicas (BRASIL, 1998a). Dentro deste grupo, ressaltam-se:

- ✓ Alimentos para dietas com restrição de nutrientes (carboidratos, proteínas, gorduras, etc.)
- ✓ Alimentos para ingestão controlada de nutrientes (para controle de peso, para praticantes de atividade física, para nutrição enteral, etc.)
- ✓ Alimentos para grupos populacionais específicos (lactantes, crianças, gestantes, idosos, etc.)

Dentre as alegações mais praticadas em produtos de panificação, encontram-se alimentos para dietas com restrição de gorduras (0% gordura), alimentos com conteúdo energético reduzido (*light*), alimentos para dietas com restrição de proteínas (sem glúten) e alimentos para mulheres em fase de menopausa, à base de soja e linhaça, por exemplo, que auxiliam na redução dos sintomas da menopausa (BENASSI; WATANABE; LOBO; 2001; BROUNS, 2002; DHINGRA; JOOD, 2001; DOG, 2005; MOHAMED et al., 2006; SIVARAMAKRISHNAN; SENGE; CHATTOPADHYAY, 2004).

1.3 Processo de produção de PFPAC

As etapas comumente empregadas para a produção de PFPAC estão representadas na Figura 1.1. A revisão de etapas e parâmetros utilizados para cada etapa será apresentada em sub-tópicos desta seção, e apresentar-se-á resumida na Tabela 1.7.

Figura 1.1 Diagrama das etapas do processo de produção de pão francês pré-assado congelado (PFPAC).

Tabela 1.7 – Resumo dos parâmetros para cada etapa do processo produtivo de pão pré-assado congelado relatados na literatura

Etapa do processo	Referências							
	BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006	CARR; TADINI, 2003; CARR et al., 2006	FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999	FIK; SURÓWKA, 2002	HANDAMI; MONTEAU; LEBAIL, 2004	LEBAIL et al., 2005	RIBOTTA; LEBAIL, 2007	VULICEVIC et al., 2004
<u>Batimento</u>								
Tempo de batimento v. 1 (min)	não mencionado	4	2	não mencionado	4	3	2	até 24-29 °C
Tempo de batimento v. 2 (min)	não mencionado	6	3	10	11	9	9	até 24-29 °C
Tempo de descanso (min)	10	20	20	30	30	15	15	10
<u>Divisão e modelagem</u>								
Tipo do pão	não mencionado	francês	francês	redondo	francês	baguete	baguete	de forma
Massa de cada pedaço (g)	150	60	60	500	60	154	150	450-510
<u>Fermentação</u>								
Temperatura da câmara (°C)	28	34	30	28	27	27	30	36
Umidade relativa (%)	85	não mencionado	85		90	90-95	90	85
Tempo de fermentação (min)	até triplicar volume	até dobrar volume	105	90	90	90	100	180
<u>Pré-assamento</u>								
Tipo de forno	não mencionado	turbo	lastro	rotativo	turbo	turbo	turbo	lastro
Temperatura de pré-assamento (°C)	165	250	200	210	150	150	150	190-230
Tempo de pré-assamento (min)	7	7	7	25	12	12	13	18-28
<u>Resfriamento</u>								
Tempo (min)	até T _c =40 °C ambiente	-	não há	180	até T _c =20 °C 85	até T _c =35 °C 90-95	até T _c =30 °C ambiente	até T _c =40 °C não mencionado
Umidade relativa (%)		-	<120 não mencionado	não mencionado				
<u>Congelamento / Armazenamento</u>								
Temperatura da câmara (°C)	-35	-30	não mencionado	-35	-40	-30	não mencionado	-30
Tempo de congelamento (min)	até T _c =-6 °C	até T _c =-18 °C	não mencionado	até T _c =-18 °C	até T _c =-20 °C	até T _c =-20 °C	60	até T _c =-7 °C
Temperatura de armazenamento (°C)	-20	-18	-18	-18	-20	-20	-19	-18
<u>Descongelamento</u>								
Temperatura ambiente (°C)	ambiente	-	não mencionado	35	não mencionado	não mencionado	30	não há
Umidade relativa ambiente (%)	ambiente	-	não mencionado	90	não mencionado	não mencionado	embalagem fechada	-
Tempo (min)	30	-	não mencionado	não mencionado	não mencionado	não mencionado	60	-
<u>Assamento final</u>								
Temperatura forno (°C)	195	250	200	210	não mencionado	220	220	180-200
Tempo de assamento (min)	14	6	4	10	não mencionado	10	10	15

v.1: velocidade 1; v.2: velocidade 2; T_c: Temperatura do centro geométrico do pão

1.3.1 Produção da massa

A produção da massa é realizada através da mistura dos ingredientes e seu batimento em uma masseira. O batimento é comumente feito em duas etapas: no primeiro, em velocidade baixa, a água é incorporada pela farinha de trigo (FT), e no segundo batimento, em velocidade alta, ocorre o desenvolvimento da rede de glúten. Assim que a etapa de batimento começa, as proteínas da farinha interagem e assumem uma estrutura tridimensional, estabilizada por uma série complexa de ligações químicas (PATIENT; AINSWORTH, 1994). As ligações entre proteínas formadoras do glúten estabelecidas através de pontes dissulfídicas originam a complexa rede de glúten que confere as características viscoelásticas à massa (GOESAERT et al., 2005). Após a etapa de batimento, usualmente ocorre a etapa de descanso da massa, através da qual ocorre uma recuperação estrutural dos complexos protéicos formados (DON et al., 2005).

1.3.2 Fermentação

É a etapa na qual a levedura produz gás carbônico e componentes voláteis através do consumo de fontes de carbono. O tempo de fermentação depende dos ingredientes (principalmente dos tipos e quantidades de fontes de carbono) e aditivos empregados, da quantidade de levedura adicionada, da temperatura e umidade do local. Na literatura, o tempo de fermentação pode ser de 90 minutos (FIK; SURÓWKA, 2002; HANDAMI; MONTEAU; LEBAIL, 2004; LEBAIL et al., 2005), 100 minutos (RIBOTTA; LEBAIL, 2007), 105 minutos (FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999), 180 minutos (VULICEVIC et al., 2004), ou mesmo até atingir o ponto ótimo ou o volume desejado (BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003).

Estudos indicam que através da utilização do método esponja, que consiste numa etapa na qual a farinha, água e parte do fermento são sujeitas a uma pré-fermentação, uma maior maciez do miolo em pães é obtida quando comparado ao método de fermentação convencional devido à redistribuição da umidade ao longo do pão durante o armazenamento (KATINA et al., 2006; SALMENKALLIO-MARTTILA; KATINA; AUTIO, 2001).

1.3.3 Pré-assamento

O tempo de pré-assamento, assim como a temperatura deve variar de acordo com o tipo de forno utilizado e com o produto a ser produzido. Em publicações referentes ao PFPAC, os fornos mais empregados são os do tipo turbo (CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; HANDAMI; MONTEAU; LEBAIL, 2004; LEBAIL et al., 2005; RIBOTTA; LEBAIL, 2007) e os do tipo lastro (FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; VULICEVIC et al., 2004). Nesses estudos, o tempo de pré-assamento variou entre 7 e 28 minutos e a temperatura entre 150 e 250°C.

A grande variação de tempos e temperaturas de pré-assamento encontrados na literatura deve-se principalmente às diferenças entre as massas (60 a 510g) e tipos de pães (francês, baguete, forma).

Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) produziram pães tipo francês de 60g e utilizaram temperatura de pré-assamento de 200°C em forno tipo lastro durante 7 minutos. Carr e Tadini (2003) produziram também pães tipo francês de 60g utilizando forno turbo a 250°C durante 7 minutos. Handami, Monteau e LeBail (2004) também produziram o mesmo tipo de pão, com a mesma massa, porém utilizaram, no pré-assamento, temperatura de 150°C durante 12 minutos em forno turbo.

Fik e Surówka (2002) estudaram a influência do tempo de pré-assamento de pães com massa em torno de 500g, utilizando forno rotativo à temperatura de 210°C com injeção de vapor. Os tempos avaliados foram 35 minutos (correspondente ao tempo de assamento total), 25 minutos (71% do assamento total) e 15 minutos (43% do assamento total), sendo 25 minutos o tempo que apresentou melhores resultados de textura do miolo e sensoriais em pães após o descongelamento, assamento final do produto e resfriamento até temperatura ambiente.

Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) e Bárcenas e Rosell (2006) utilizaram temperatura de 165°C durante 7 minutos para produção de pães com 150g.

Vulicevic et al. (2004), através de processo produtivo industrial, produziram bateladas de 130 a 187 kg, utilizando temperaturas e tempos de pré-assamento de 190 a 230°C e 18 a 28 minutos, respectivamente.

LeBail et al. (2005) e Ribotta e LeBail (2007) utilizaram forno turbo a 150°C durante 12 minutos para o pré-assamento de pães tipo baguete com 150g.

1.3.4 Resfriamento

Após o pré-assamento, os pães podem ser resfriados previamente ao congelamento. Alguns autores relatam tempos de 30 a 180 minutos (BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002), enquanto que outros relatam uma temperatura de miolo entre 20 e 40°C até a qual se realiza o resfriamento (BÁRCENAS; ROSELL, 2006; HANDAMI; MONTEAU; LEBAIL, 2004; LEBAIL et al., 2005; VULICEVIC et al., 2004).

LeBail et al. (2005) estudaram etapas e parâmetros de processo de produção de pães relacionando-as ao esfarelamento da casca de PFPAC. Neste estudo, os autores concluem que a etapa de resfriamento após o pré-assamento é uma etapa crítica, na qual a condição com menor temperatura e maior umidade relativa (35°C e 90-95%UR) proporcionou menor esfarelamento.

1.3.5 Congelamento

O congelamento é um dos métodos mais importantes de preservação de alimentos (PHAM, 1984). O congelamento da água reduz a atividade de microrganismos e enzimas, retardando a deterioração dos alimentos (FUNG, 1995).

O tempo de congelamento está relacionado à temperatura desejada do centro do material, ou seja, ao tipo e condição do material e às condições do meio no qual está inserido. A temperatura de congelamento usualmente empregada está entre -30°C e -40°C, e a temperatura do centro geométrico do pão a ser atingida está entre -6°C e -20°C (BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; FIK; SURÓWKA, 2002; LEBAIL et al., 2005; VULICEVIC et al., 2004).

1.3.6 Armazenamento congelado

Bárcenas et al. (2003) estudaram o impacto do congelamento a -35°C e do armazenamento congelado a -18°C de PFPAC, e concluíram que o tempo de armazenamento promove alterações na amilopectina, através do aumento na temperatura de retrogradação, observado por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Em paralelo, através do analisador de textura, conduziram análise de compressão do miolo do pão após o assamento final e uma hora de resfriamento à

temperatura ambiente, e observaram que a mudança decorrente do tempo de armazenamento também era significativa em termos do endurecimento do miolo e taxa de endurecimento do miolo. Os ensaios foram conduzidos durante 42 dias e realizados em 5 pontos, dentre os quais diferenças significativas foram observadas.

Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) estudaram a adição de hidrocolóides à formulação de PFPAC, concluindo que a hidroxipropil-metil-celulose (HPMC) aumentou o volume específico, reduziu a dureza do miolo e retardou o endurecimento provocado pelo armazenamento congelado.

Vulicevic et al. (2004) também reportam aumento da dureza do miolo de pães de forma pré-assados congelados e perda de qualidade sensorial em seus resultados. Os autores variaram o tipo de pão (branco, multi-grãos, centeio ou especial), e acompanharam as mudanças que ocorreram nos parâmetros físico-químicos (textura, cor, atividade de água, amido solúvel, umidade, volume e massa) e em parâmetros sensoriais através de provadores treinados. Para o pão branco, a umidade e a elasticidade foram significativamente ($p < 0,05$) alteradas após 4 semanas de armazenamento a -18°C .

Através de análises de microestrutura, Bárcenas e Rosell (2005) concluíram que o HPMC interfere na taxa de retrogradação e interage com os constituintes da matriz do pão, reduzindo os danos estruturais ocasionados pelo armazenamento.

Posteriormente, Bárcenas e Rosell (2006) estudaram temperaturas positivas para armazenamento e a adição de HPMC. Através de análise sensorial, concluíram que as temperaturas sub-zero mantêm melhor a textura e o sabor.

Carr et al. (2006) estudaram as diferenças na textura e aspectos sensoriais entre pão francês fresco e PFPAC mantido a -18°C durante 7 dias, obtendo boa aceitação do PFPAC apesar de diferenças sensoriais terem sido observadas a partir do terceiro dia.

1.3.7 Assamento final

O objetivo do assamento final é descongelar e/ou aquecer o pão e atribuir as suas características sensoriais desejáveis, como a coloração dourada, o aroma característico, a crocância, etc. Os tempos de assamento final variam muito: de 4 a 15 minutos, com temperaturas variando na faixa de 180 a 250°C (BÁRCENAS;

ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002; LEBAIL et al., 2005, VULICEVIC et al., 2004).

O tempo e a temperatura de assamento final, assim como na etapa de pré-assamento apresentam grandes variações devido à massa e ao tipo de pão produzido e devido também ao tipo de forno utilizado.

O pão tipo francês, com 60g, é submetido ao assamento final entre temperaturas de 250°C em forno turbo durante 6 minutos (CARR; TADINI, 2003; CARR et al., 2006) ou 200°C durante 4 minutos em forno tipo lastro (FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999).

O pão tipo baguete com 150g produzido por LeBail et al. (2005) e por Ribotta e LeBail (2007) foram submetidos a 220°C durante 10 minutos em forno turbo.

Fik e Surówka (2002) utilizaram forno rotativo para o assamento final de pão redondo a 210°C por 10 minutos.

Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) e Bárcenas e Rosell (2006) utilizaram temperatura de 195°C durante 14 minutos para o assamento final de um pão com 150g.

Vulicevic et al. (2004) utilizaram no assamento final temperaturas de 180 a 200°C durante 15 minutos para produção de pão de forma com 450 a 510g.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, apresentam-se os materiais, equipamentos e a metodologia a serem utilizados neste trabalho, dividido em duas etapas:

- ✓ ETAPA 1: Medidas do desempenho das misturas com 4 níveis de substituição da farinha de trigo (FT) pelo amido resistente de milho (ARM): 0% (ARM0), 5% (ARM5), 15% (ARM15) e 30% (ARM30), sendo 100% o equivalente ao total da mistura, foram obtidas através de farinografia, alveografia e reofermentografia. Teor de glúten úmido e medida da cor também foram obtidos nas misturas. No ARM e na FT, a concentração de amido resistente e os teores de umidade e cinzas também foram determinados.
- ✓ ETAPA 2: avaliação tecnológica e concentração de amido resistente (AR) de pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC) produzidos com 5 níveis de substituição da FT pelo ARM foi realizada, de acordo com os resultados obtidos na primeira etapa: 0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15%. Pães congelados armazenados por até 46 dias, após uma hora do assamento final foram submetidos a análises de umidade, volume específico, força máxima de compressão do miolo e concentração de amido resistente (AR). Análise de concentração de amido resistente ([AR]) também foi realizada em diferentes etapas do processo produtivo.

2.1 Materiais

- ✓ Farinha de trigo (*Triticum aestivum*) Super Prima 365, doada pelo Moinho Pacífico, com os seguintes parâmetros alveográficos: $P = 176$ mmH₂O, $L = 45$ mm, $P/L = 3,94$ mmH₂O.mm⁻¹ e $W = 335 \times 10^{-4}$ J; parâmetros extensográficos: $R = 701$ U.E., $E = 104,67$ mm, $D = 6,70$ U.E..mm⁻¹; *falling number* = 364s, medido de acordo com o método ICC 107, e teor de glúten úmido = 26,2%, medido de acordo com o método ICC 137 (MOINHO PACÍFICO, 2006);

- ✓ Amido resistente de milho marca Hi-Maize® 260, doado pela National Starch, contendo 62,5% de fibra total, medida de acordo com os métodos AOAC 985.29 e 991.43, e com temperatura de gelatinização em torno de 120°C (NATIONAL STARCH, 2005; NATIONAL STARCH, 2006);
- ✓ Fermento biológico fresco (*Saccharomyces cerevisiae*) marca Fleischmann, adquirido no mercado, dentro do prazo de validade;
- ✓ Gordura vegetal hydrogenada marca Extra, fabricante Braswey Ind. e Comércio e sal de cozinha, marca Cisne, adquiridos no mercado, dentro do prazo de validade;
- ✓ Ácido ascórbico P.A., adquirido da Casa Americana;
- ✓ Polisorbato 80, marca Aline 800K, fabricante Oxiten, doado pela FMAis;
- ✓ Estearoil lactil lactato de cálcio (CSL), marca GRINDSTED® CSL P 2522, doado pela Danisco Brasil Ltda.;
- ✓ Enzima alfa-amilase fúngica, GRINDAMYL™ A 4000, doada pela Danisco Brasil Ltda.

2.2 Metodologia

Etapa 1:

2.2.1 Análises na Farinha de Trigo (FT) e no Amido Resistente de Milho (ARM)

Teor de umidade, método 44-15A da AACC (1995): determinado gravimetricamente, em quadruplicata, conforme o método de um estágio, em estufa (FANEM, modelo Orion 515C, Brasil).

Cinzas, método 08-03 da AACC (1995): realizada gravimetricamente, em quadruplicata, em forno mufla (QUIMIS, modelo 25079, Brasil).

Concentração de amido resistente ([AR]), método AOAC 2002.02 (MCCLEARLY; MCNALLY; ROSSITER, 2002; MCCLEARLY; MONAGHAN, 2002) modificado:

Consistiu basicamente na digestão enzimática do amido disponível da amostra e sua retirada através de lavagens com etanol. O AR presente no resíduo da digestão foi solubilizado através de adição de hidróxido de potássio e posteriormente submetido à hidrólise enzimática. A glicose resultante da hidrólise do AR foi quantificada através de espectrofotometria. A [AR] foi obtida através de método enzimico-gravimétrico *in vitro*, baseado no método AOAC 2002.02 (MCCLEARLY; MCNALLY; ROSSITER, 2002; MCCLEARLY; MONAGHAN, 2002) com as seguintes modificações: (1) Adição de pepsina de mucosa de estômago suíno, EC 3.4.23.1 (Sigma, P-7012) às enzimas empregadas na digestão das amostras; (2) Adição de 3mL de KOH 2M ao invés de 2mL; (3) Adição de 10mL de solução tampão de acetato de sódio 1,2M (pH 3,8) ao invés de 8mL; (4) O volume final das amostras que continham menos que 10% de AR foi completado para 20mL com água destilada; (5) Na etapa da quantificação da glicose no espectrofotômetro (Pharmacia Biotech, Modelo Ultrospec 2000, Suécia), foi utilizado o ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS) ao invés da 4-aminoantipirina.

As análises foram realizadas em triplicata e acompanhadas de análise de padrão interno de feijão carioca cozido, no laboratório de Química, Bioquímica e Biologia Molecular do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, sob a orientação da Profa. Elizabete W. de Menezes.

2.2.2 Análises nas misturas

Glúten úmido, método 38-12 da AACC (1995): realizado em Glutomatic (Perten Instruments, Suíça), no Laboratório de Controle de Qualidade do Moinho Pacífico, em Santos-SP, sob a supervisão da Christiane D'Ávila.

Cor, método 14-22 da AACC (1995): Determinada em colorímetro (Minolta, modelo CR-300, Japão) com calibração obtida através de placa padrão, com luminosidade local D_{65} , no Laboratório de Controle de Qualidade do Moinho Pacífico, em Santos-SP, sob a supervisão da Christiane D'Ávila.

Farinografia, método 54-21 da AACC (1995): Conduzida através do farinógrafo (Brabender, Alemanha), onde a absorção de água da mistura foi considerada quando a curva de desenvolvimento atingiu a consistência ótima de 500BU (unidades Brabender) no Laboratório de Inovação da Danisco Brasil Ltda., em Cotia-SP, sob a supervisão da Engenheira Márcia Berimbau.

A estabilidade e a tolerância da massa à mistura podem ser avaliadas através desta análise. Ensaios foram conduzidos de acordo com o método da quantidade constante de FT, tomando-se em torno de 300g da mistura, determinados com base em sua umidade, através da tabela base 14% de umidade constante no método (AACC, 1995).

Os parâmetros determinados através do farinograma foram o tempo de chegada (t_c) e o tempo de saída (t_s) da curva em relação à linha de 500BU, o tempo de desenvolvimento (t_d), também chamado de pico, ou tempo do pico, relativo a consistência máxima da curva obtida imediatamente antes da indicação de enfraquecimento, sendo recomendado tomar o segundo pico, quando este existir. Também foi determinado o índice de tolerância à mistura (ITM) que consiste no decréscimo da consistência da massa 5 minutos após t_d , em unidades Brabender. A Figura 2.1 ilustra um exemplo de farinograma obtido. A estabilidade (E) foi obtida através da diferença entre t_s e t_c , conforme eq. 1 abaixo:

$$E = t_s - t_c \quad (1)$$

onde:

E = estabilidade da massa (min)

t_s = tempo de saída da linha de 500 BU (min)

t_c = tempo de chegada à linha de 500 BU (min)

Figura 2.1 Determinação dos parâmetros através do farinograma: tempo de chegada (t_c), tempo de desenvolvimento (t_d), tempo de saída (t_s) e índice de tolerância à mistura (ITM). A linha vermelha representa a consistência ótima de 500 unidades Brabender (B.U.).

Alveografia, método 54-30A da AACC (1995): Consiste na medida da resistência da massa à extensão, obtida através da adição de uma determinada quantidade (de acordo com o conteúdo de umidade) de solução aquosa de cloreto de sódio 2,5% (m/v) em 250,0 g de mistura, conforme estabelecido na tabela constante no método (AACC, 1995). O equipamento utilizado foi o alveógrafo (CHOPIN, modelo NG, França), apresentado na Figura 2.2, localizado no Laboratório de Inovação da Danisco Brasil Ltda., em Cotia-SP, sob a supervisão da Engenheira Márcia Berimbau.

A massa da mistura obtida após o batimento foi extrusada, cortada em pedaços cilíndricos, seguido de descanso a 25°C na câmara do equipamento, durante 28 minutos contados após o início do batimento. A amostra foi então fixada ao bocal para produção da bolha, onde um disco foi rosqueado de modo a reduzir e padronizar a espessura da amostra. A lâmina de massa foi inflada através de injeção de ar sob sua superfície inferior, até o rompimento da bolha. A pressão interna da bolha foi registrada graficamente em função da extensibilidade, em milímetros.

Figura 2.2 Alveógrafo modelo NG da CHOPIN, utilizado na medida de resistência à extensão da massa obtida das misturas.

Os parâmetros obtidos da curva foram a pressão máxima (P) e a abscissa de ruptura da bolha (L), conforme é mostrado na Figura 2.3.

O coeficiente de inchamento (G) e a energia necessária para a deformação da massa (W) foram calculados segundo as eq. 2 e 3 a seguir:

$$G = \sqrt{V} \quad (2)$$

$$W = 1,32 * \left(\frac{V}{L} \right) * S \quad (3)$$

Sendo:

G = coeficiente de inchamento	(cm ^{3/2})
V = volume de ar injetado até a ruptura da bolha	(cm ³)
W = energia de deformação da massa	(10 ⁻⁴ J)
L = abscissa média de ruptura	(mm)
S = área sob a curva	(mmH ₂ O.mm)

Também foi determinado o índice de configuração da curva (P/L), um valor típico que indica se a mistura possui a proporção de resistência e extensibilidade desejadas.

Figura 2.3 Determinação dos parâmetros pressão máxima (P), abscissa de ruptura da bolha (L), e a área (S) sob a curva no alveograma.

Reofermentografia: A análise foi conduzida em reofermentógrafo (CHOPIN, modelo F3, França), ilustrado na Figura 2.4, que permite avaliar a produção de gás pela levedura na massa, além da tolerância da massa à fermentação. A duração do teste é de três horas e a resposta é dada em duas curvas: a de desenvolvimento, que se apresenta como altura da massa em função do tempo do teste; e a de retenção gasosa, que se apresenta como aumento da pressão no interior da câmara em função do tempo. A curva de desenvolvimento é obtida através de um sensor ótico que registra a altura da massa em função do tempo. Já a retenção gasosa da massa é registrada através de duas curvas, uma de ciclo direto, ou seja, medidas do aumento da pressão da câmara (pressão do ar e gás carbônico), e a outra de ciclo indireto, a da pressão medida após a passagem da mistura gasosa através de um absorvedor do gás carbônico (pressão do ar).

Figura 2.4 Reofermentógrafo modelo R3 da CHOPIN, utilizado para avaliar o desenvolvimento e a retenção gasosa da massa durante a fermentação.

Massas preparadas das misturas, fermento biológico prensado (3%) e água destilada (quantidade de acordo com a absorção ótima obtida na farinografia) em masseira espiral (Supremax, modelo AL – 25 IM, Brasil) foram submetidas a ensaios no reofermentógrafo de acordo com o protocolo CHOPIN (peso: 2.000g, pistão *standard*, massa: 250g, duração do ensaio: 3h), à exceção da temperatura utilizada, que foi 32 °C.

A Figura 2.5 ilustra uma curva típica de desenvolvimento da massa, onde H_m é a altura máxima atingida pela massa e o tempo (T_1) correspondente a H_m , o parâmetro h refere-se à altura da massa no final do ensaio e T_2 é o tempo obtido após a altura máxima (H_m) decair 10% e T_2' é o tempo correspondente à mesma altura de T_2 , porém antes de atingir H_m . A velocidade de desenvolvimento é determinada através das alturas nos tempos 10 (H_{10}) e 40 minutos (H_{40}) (Figura 3.5) e calculada a partir da eq. 4 abaixo:

$$v_d = \frac{H_{40} - H_{10}}{30} \quad (4)$$

onde:

v_d = velocidade de desenvolvimento	(mm.min ⁻¹)
H_{40} = altura da massa aos 40 minutos	(mm)
H_{10} = altura da massa aos 10 minutos	(mm)

O coeficiente de enfraquecimento (W_c) e a tolerância da massa (t) são calculados a partir das eq. 5 e 6 abaixo:

$$W_c = \frac{H_m - h}{H_m} \quad (5)$$

$$t = T_2 - T_2' \quad (6)$$

onde:

W_c = coeficiente de enfraquecimento adimensional

H_m = altura máxima da massa (mm)

h = altura da massa no final do teste (mm)

t = tolerância da massa (min)

T_2 = tempo obtido após a altura máxima decair 10% (min)

T_2' = tempo correspondente a T_2 antes da altura máxima (min)

Figura 2.5 Curva típica de desenvolvimento da massa obtida do reofermentógrafo: altura máxima (H_m) e seu respectivo tempo (T_1), altura ao final do teste (h), tempo após perda de 10% da altura máxima (T_2) e o tempo anterior à mesma altura (T_2'), altura aos 40 minutos (H_{40}) e aos 10 minutos (H_{10}).

A Figura 2.6 ilustra uma curva típica de retenção gasosa, onde os parâmetros altura relativa à pressão máxima (H_m'), seu respectivo tempo (T_1') e o tempo no qual

ocorre a separação das curvas de pressão de ciclo indireto e direto (T_x) são obtidos. O volume retido (V_r) e o volume total (V_t) de gás carbônico são obtidos respectivamente através das áreas sob as curvas do ciclo indireto e direto, conforme indicado na Figura 2.6.

O coeficiente de retenção (R_C), expresso em porcentagem, foi obtido a partir da eq. 7:

$$R_C = \frac{V_r}{V_t} \times 100 \quad (7)$$

onde:

R_C = coeficiente de retenção (%)
 V_r = volume de gás carbônico retido pela massa (mL)
 V_t = volume total produzido de gás carbônico (mL)

Figura 2.6 Curva típica de retenção gasosa da massa obtida do reofermentógrafo: altura relativa à pressão máxima (H_m') e seu tempo correspondente ($T1'$), o tempo de separação entre as curvas de ciclo direto e indireto (T_x) e os volumes retido (V_r) e total (V_t) de gás carbônico.

A taxa de produção gasosa (TPG) foi obtida através da curva de retenção gasosa, resultante da derivada do trecho da curva correspondente aos 10 primeiros minutos.

Etapa 2:

Nesta etapa, foram produzidos os pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC) segundo processo convencional, a partir das misturas de FT e ARM em cinco níveis de substituição: 0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15%. Os pães foram embalados em sacos de polietileno e armazenados congelados a -18°C por até 46 dias. Durante esse período, pães foram retirados do *freezer* (Eletrolux, modelo FFE24) após 1, 8, 15, 25 e 46 dias de armazenamento congelado e submetidos ao assamento final em forno turbo durante 5 minutos a 225°C . Os pães após uma hora do assamento final foram submetidos a análises de umidade, volume específico, força máxima de compressão do miolo e concentração de amido resistente.

2.2.3 Preparo dos pães

Os pães com os seguintes ingredientes (base mistura): 100% da mistura de FT e ARM, 62% de água destilada, 3% de fermento biológico prensado, 2,5% de sal de cozinha, 1% de gordura vegetal hidrogenada, 0,156% de polisorbato 80, 0,056% de CSL, 0,011% de ácido ascórbico e 0,002% de enzima alfa-amilase foram preparados de acordo com a seguinte metodologia:

Batimento e descanso: os ingredientes secos foram misturados com água em masseira (Supremax, modelo AL – 25 IM, Brasil), ilustrada na Figura 2.7, em velocidade baixa por cinco minutos, ao invés de quatro minutos (CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003), para garantir a total incorporação da água para todas as misturas. Foi adicionado o fermento biológico seguido de batimento em velocidade alta (9 a 11 minutos) até que a massa atingisse a consistência ótima (ponto de véu). A massa foi retirada da masseira e submetida ao descanso por 20 minutos.

Figura 2.7 Masseira Suprema, modelo AL – 25 IM, utilizada na etapa de batimento da massa.

Divisão e modelagem: a divisão da massa em pedaços de 65g foi realizada em divisora rotativa (Suprema, modelo DR, Brasil), seguida de modelagem em modeladora de coluna (Suprema, modelo MC – 50, Brasil).

Fermentação e corte das pestanas: os pães foram colocados em assadeiras e submetidos à fermentação em câmara com dispositivo umidificador (Degânia, Brasil), ilustrada na Figura 2.8 por 105 minutos a $34 \pm 1^\circ\text{C}$. O corte das pestanas foi feito após a fermentação.

Figura 2.8 Câmara de fermentação e forno turbo (Degânia, modelo Turbo 4), utilizados nas etapas de fermentação e pré-assamento/assamento final dos pães.

Pré-assamento: os pães foram submetidos ao pré-assamento durante nove minutos a 225°C em forno turbo (Degânia, modelo Turbo 4, Brasil), apresentado na Figura 2.8 com injeção de vapor durante os 15 primeiros segundos do pré-assamento.

Congelamento: os pães pré-assados foram imediatamente conduzidos ao congelamento sob temperatura ambiente de - 30°C, em câmara climática (TIRAClima, modelo TCC7034, Alemanha), apresentada na Figura 2.9, até que a temperatura no centro geométrico do pão, medido por termopares, atingisse -18°C. A aquisição das temperaturas ambiente e do centro do pão foi realizada através de termopares tipo T e interface National Instruments acoplados a um PC com software LabView 5.1.

Figura 2.9 Câmara climática TIRAClima, modelo TCC 7034, utilizada na etapa de congelamento.

Embalagem e armazenamento: após o congelamento, os pães foram retirados das assadeiras e embalados em sacos plásticos de polietileno selados para armazenamento a - 18°C em *freezer* doméstico (Eletrolux, modelo FFE24). Os pães de uma mesma formulação foram submetidos a tempos de armazenamento que variaram de 1 a 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias). A amostragem seguiu a norma E-2454-05 da ASTM (2005) para determinação de vida de prateleira de produtos para consumo através de análise sensorial.

Assamento final e resfriamento: durante o período de armazenamento congelado, os pães foram retirados do freezer e das embalagens e colocados em assadeiras para assamento final de cinco minutos a 225°C em forno turbo. Após o assamento, os mesmos foram colocados em armário móvel (Induspan, Brasil) com porta semi-aberta para resfriamento à temperatura ambiente por uma hora.

As etapas empregadas para o preparo dos pães apresentam-se na Figura 2.10 e os parâmetros utilizados encontram-se na Tabela 2.1.

Figura 2.10 Representação através de diagrama de blocos do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC).

Tabela 2.1 Parâmetros de processo para a preparação dos pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC).

Etapa do processo	Fonte	
<u>Batimento</u>		
Tempo de batimento velocidade baixa (min)	5	
Tempo de batimento velocidade alta (min)	*	
Tempo de descanso (min)	20	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999
<u>Fermentação</u>		
Temperatura da câmara (°C)	34	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003
Tempo de fermentação (min)	105	FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999
<u>Pré-assamento</u>		
Temperatura de pré-assamento (°C)	200-250 (225)	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002
Tempo de pré-assamento (min)	7-13 (9)	BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; LEBAIL et al., 2005; RIBOTTA; LEBAIL, 2007
<u>Congelamento / Armazenamento</u>		
Temperatura da câmara (°C)	-30	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003
Temperatura do miolo do pão (°C)	-18	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003
Temperatura de armazenamento (°C)	-18	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002; VULICEVIC et al., 2004
<u>Assamento final</u>		
Temperatura forno (°C)	200-250 (225)	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002; LEBAIL et al., 2005; RIBOTTA; LEBAIL, 2007
Tempo de assamento (°C)	4-10 (5)	CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; FERREIRA; WATANABE; BENASSI, 1999; FIK; SURÓWKA, 2002; LEBAIL et al., 2005; RIBOTTA; LEBAIL, 2007
<u>Resfriamento</u>		
Temperatura (°C)	ambiente	BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; RIBOTTA; LEBAIL, 2007
Umidade relativa (°C)	ambiente	BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003; RIBOTTA; LEBAIL, 2007
Tempo (min)	60	BÁRCENAS; BENEDITO; ROSELL, 2004; BÁRCENAS; ROSELL, 2006; CARR et al., 2006; CARR; TADINI, 2003

* Variável, de acordo com o ponto ótimo de consistência (ponto de véu) da massa.

Valores entre parênteses indicam o parâmetro utilizado dentro da faixa prevista na literatura.

2.2.4 Avaliação dos pães

Umidade, método 45-15A da AACC (1995): determinado gravimetricamente, em triplicata, conforme o método de dois estágios, em estufa (FANEM, modelo Orion 515C, Brasil).

Volume específico, método 10-05 da AACC (1995): O volume de quatro amostras de pão com massa conhecida foi determinado em medidor de volume (CHOPIN,

modelo 206, França), conforme a Figura 2.11 calibrado com o padrão do equipamento, através do método de deslocamento de sementes de painço. O volume específico médio dos quatro pães foi obtido em duplicata, utilizando-se a eq. 8:.

$$V_{\text{esp}} = \frac{V}{m} \quad (8)$$

Sendo: V_{esp} = volume específico ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)

V = volume das amostras (cm^3)

m = massa das amostras (g)

Figura 2.11 Medidor de volume CHOPIN, modelo 206, utilizado nas medidas de volume dos pães.

Compressão do miolo do pão, método 74-09 da AACC (1995): A força máxima de compressão do miolo do pão foi medida no analisador de textura (Stable Micro Systems, modelo TA-TX2i, Inglaterra), tomando-se 6 medidas de simples compressão de fatias de 25 mm de pão utilizando-se *probe* cilíndrico de 36 mm de diâmetro com cantos arredondados (P/36R), conforme ilustrado na Figura 2.12.

O teste foi realizado no modo “Measure Force in Compression”, sob as seguintes condições:

- ✓ Velocidade de pré-teste: $1,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;
- ✓ Velocidade de teste: $1,7 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;
- ✓ Velocidade de pós-teste: $10,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;
- ✓ Porcentagem de compressão: 40%;

- ✓ Gatilho: Auto - 5 g (ponto inicial da análise, quando o acessório encontra uma resistência igual ou superior a 5 gf).

Figura 2.12 Analisador de textura TA-TX2i da Stable Micro Systems, com o *probe* P/36R, utilizado para análise de simples compressão do miolo do pão.

Concentração de amido resistente ([AR]), método AOAC 2002.02 modificado: conforme descrito anteriormente no item 2.2.1, porém com secagem prévia em estufa (Nova Ética, série 410D, Brasil) da amostra de pão a 60°C durante 16h, e pulverização da amostra em partículas menores que 250µm (passante em 60 *mesh*) utilizando almofariz e pistilo.

2.2.5 Avaliação da concentração de amido resistente ([AR]) nas etapas do processo produtivo

A avaliação da [AR] foi realizada nas seguintes etapas do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC):

- Formulação: referente à [AR] (base seca) encontrada nos ingredientes. A [AR] nos ingredientes foi obtida através de balanço de massa, considerando-se a farinha de trigo (FT) e o amido resistente de milho (ARM) como os únicos ingredientes que possuíam concentração significativa de AR. Foram obtidos dois valores de [AR] (base seca) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15,0%), a partir das concentrações de AR e dos valores médios de umidade obtidos para a FT e para o ARM na etapa 1 deste trabalho;

- PAnf (Pão pré-assado não forneado): referente às etapas de batimento, descanso da massa, corte, modelagem, fermentação, pré-assamento, congelamento e descongelamento do PFPAC por 1 hora. A [AR] em base seca foi obtida analiticamente (conforme descrito no item 3.2.4) das amostras de pão após o seu descongelamento;
- PAf (Pão pré-assado forneado): compreende as etapas de batimento, descanso da massa, corte, modelagem, fermentação, pré-assamento, congelamento, armazenamento congelado, assamento final e resfriamento por 1 hora à temperatura ambiente. Os pães de uma mesma formulação foram submetidos a tempos de armazenamento que variaram de 1 a 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias). A [AR] em base seca foi obtida analiticamente (conforme descrito no item 2.2.4) das amostras de pão após o resfriamento.

A Figura 2.13 apresenta a divisão do processo produtivo de PFPAC nas etapas formulação, PAnf e PAf.

Figura 2.13 Representação através de diagrama de blocos das etapas do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC) nas quais foi determinada a concentração de amido resistente (AR), sendo elas: formulação, PAnf (pão pré-assado não forneado) e PAf (pão pré-assado forneado).

2.3 Metodologia para avaliação de resultados

Análise de variância (ANOVA) foi aplicada nos resultados utilizando o *software* Statgraphics Plus v. 4.0 for Windows (Manugistics) e as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, no intervalo de confiança de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho estão apresentados por etapa realizada.

3.1 Etapa 1:

3.1.1 Análises na farinha de trigo (FT) e no amido resistente de milho (ARM)

Os valores médios dos teores de umidade e cinzas e da concentração de amido resistente ([AR]) da FT e do ARM estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Valores médios em base úmida dos teores de umidade, cinzas e da concentração de amido resistente ([AR]) determinados na farinha de trigo (FT) e no amido resistente de milho (ARM), utilizados para as misturas.

	Teor de umidade (%)	Teor de cinzas (%)	[AR] (%)
FT	12,87 ± 0,31	0,65 ± 0,02	2,99 ± 0,44
ARM	11,40 ± 0,40	0,13 ± 0,01	45,60 ± 1,11

Os teores de umidade da FT e do ARM estão de acordo com o limite estabelecido pela legislação, ou seja, teor de umidade máximo de 15% (BRASIL, 2005).

O resultado de 0,65% do teor de cinzas da FT em base úmida (0,75% em base seca), permite afirmar que o grau de extração da farinha encontra-se entre 78 e 85%, conforme Tabela 2.1 (CALVEL, 1987).

A [AR] apresenta valores típicos para a FT, e o ARM apresentou valor de [AR] similar ao obtido por McClearly e Monaghan (2002), de 45,7% para um ARM comercial similar ao utilizado neste estudo.

3.1.2 Análises nas misturas

A Tabela 3.2 apresenta os resultados de teor de umidade, teor de glúten úmido e cor das misturas.

Tabela 3.2 Valores médios de teor de umidade, teor de glúten úmido e cor das misturas de farinha de trigo (FT) e amido resistente de milho (ARM).

Mistura	Umidade (%)	Glúten (%)	Cor		
			L*	b*	a*
ARM0	12,87± 0,31 ^a	24,10 ± 0,57 ^c	92,87 ± 0,01 ^a	10,24 ± 0,02 ^d	-0,42 ± 0,00 ^d
ARM5	12,39± 0,32 ^a	22,75 ± 0,57 ^c	93,14 ± 0,01 ^b	9,81 ± 0,02 ^c	-0,30 ± 0,00 ^c
ARM15	12,24± 0,27 ^a	19,95 ± 0,21 ^b	93,49 ± 0,01 ^c	9,20 ± 0,04 ^b	-0,26 ± 0,01 ^b
ARM30	12,46± 0,29 ^a	13,85 ± 0,78 ^a	94,06 ± 0,01 ^d	8,40 ± 0,01 ^a	-0,19 ± 0,01 ^a
DMS	0,71	2,56	0,04	0,12	0,03

Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

DMS: Diferença mínima significativa.

Conforme a Tabela 3.1, o ARM apresentou teor de umidade inferior ao da FT, no entanto, análise de variância (ANOVA) aplicada nos resultados apresentados na Tabela 3.2 indica que o teor de umidade das misturas não variou significativamente ($p>0,05$). O teor de glúten úmido variou significativamente entre as misturas, diminuindo com o aumento da substituição de FT por ARM, como esperado, conforme ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 Glúten úmido (WG) determinado nas misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

Os dados experimentais obtidos do glúten úmido (WG) das misturas (Figura 3.1) foram ajustados e uma função linear foi obtida conforme a equação 4.1 ($r^2 = 0,990$):

$$WG = -0,3421 \times x_{ARM} + 24,439 \quad (9)$$

Onde:

WG = glúten úmido (%)

x_{ARM} = nível de substituição de FT por ARM (%)

Considerando a diferença mínima significativa (DMS) obtida pela ANOVA no intervalo de confiança de 95%, o nível de substituição que resultaria valores significativamente diferentes de ARM0, ou seja, mistura sem amido resistente de milho, foi calculado e é igual ou superior a 8,5%.

Segundo Pizzinatto (1997), uma farinha panificável deve conter entre 23 e 30% de glúten úmido. Aplicando a equação 9 para uma mistura com 23% de glúten úmido como mínimo desejável, obtém-se a substituição de FT por AR de 4,21%, indicando que para valores superiores a esta substituição, espera-se obter pães com menor volume específico.

A ANOVA indicou que os parâmetros de cor luminosidade (L), eixo verde-vermelho (a^*) e eixo azul-amarelo (b^*) foram significativamente diferentes ($p > 0,05$)

em todas as misturas, indicando a perda de pigmentação característica da FT com o aumento da substituição, tendendo ao eixo principal ($L=100$; $a^*=0$; $b^*=0$) e conseqüentemente à coloração branca.

Farinografia

Os parâmetros determinados através do farinograma das misturas estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Parâmetros determinados através do farinograma das misturas.

Mistura	Abs. água (%)	t_c (min)	t_d (min)	E (min)	ITM (UF)
ARM0	61,5	1,6	19,6	> 20	20
ARM5	62,0	1,5	19,0	> 20	25
ARM15	62,5	1,1	15,5	> 20	20
ARM30	63,5	0,8	15,5	> 20	40

Ensaios realizados sem réplica.

Abs. água: absorção de água, porcentagem base farinha; **t_c :** tempo de chegada; **t_d :** tempo de desenvolvimento; **E:** Estabilidade; **ITM:** Índice de tolerância à mistura.

Os ensaios de farinografia mostraram que a absorção de água variou entre 61,5% e 63,5% para substituições entre 0 e 30%, sendo que o maior nível de substituição ocasionou em incremento de 2% da absorção de água em relação ao nível 0% de substituição. Hung, Yamamori e Morita (2005) substituíram a FT convencional por uma com maior teor de amilose, obtendo resultados de absorção de água em farinografia entre 69,0% e 78,2% para substituições entre 0 e 30%, sendo que o maior nível de substituição proporcionou aumento de 13% da absorção de água em relação à FT convencional.

A redução do tempo de desenvolvimento evidencia o enfraquecimento da mistura, porém ainda considerada forte / muito forte, conforme Pizzinatto (1997).

3.1.3 Alveografia

Os parâmetros determinados através do alveograma das misturas estão apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Parâmetros determinados através do alveograma das misturas.

Mistura	P (mmH ₂ O)	L (mm)	P/L (mmH ₂ O/mm)	G (cm ^{3/2})	W (10 ⁻⁴ J)
ARM0	170 ± 5 ^b	26 ± 7 ^{cb}	6,76 ± 1,50 ^{ab}	11,3 ± 1,4 ^{cb}	205 ± 47 ^{cb}
ARM5	160 ± 2 ^b	32 ± 5 ^c	5,18 ± 0,72 ^a	12,4 ± 1,0 ^c	230 ± 36 ^c
ARM15	172 ± 3 ^b	20 ± 2 ^b	8,63 ± 0,93 ^b	10,0 ± 0,6 ^b	157 ± 20 ^b
ARM30	131 ± 2 ^a	7 ± 1 ^a	19,30 ± 2,48 ^c	5,8 ± 0,6 ^a	47 ± 12 ^a
DMS	17	9	3,29	2,0	67

Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$).

P: Pressão máxima; **L**: elasticidade; **G**: coeficiente de inchamento, normalmente expresso sem indicação de unidade, apesar de consistir na raiz quadrada de medida de volume expresso em mL; **W**: energia de deformação; **DMS**: Diferença mínima significativa.

A Figura 3.2 apresenta os valores de pressão máxima (P) e abscissa média de ruptura (L) em função do nível de substituição de FT por ARM. O maior nível de substituição ocasionou em decréscimo de P e L. O aumento da razão entre P e L com o nível de substituição é decorrente de maiores alterações na elasticidade (proporcional a L) do que na resistência à extensão (proporcional a P). O decréscimo observado no coeficiente de inchamento (G) (Figura 3.3), e o decréscimo na energia de deformação (W) (Figura 3.4) também indicam alterações significativas na mistura. Segundo Pizzinatto (1997) e Calvel (1987), os valores de uma farinha panificável consistem em P maior que 45mmH₂O, P/L maior que 0,5 mmH₂O/mm, G maior que 22 cm^{3/2} e W maior que 150 x 10⁻⁴J. Os resultados mostram que todas as misturas apresentam deficiência no G. De acordo com Pizzinatto (1997), farinhas com valor de G inferior a 21 cm^{3/2}, P/L maior que 0,5 mmH₂O/mm e W maior que 160 x 10⁻⁴J são consideradas farinhas melhoradoras, devendo ser usadas em misturas com outras mais fracas.

A partir dos resultados obtidos de W, observa-se que substituições superiores a 15% alteram o desempenho panificável da mistura de tal forma prejudicando sua utilização na formulação de pães.

Figura 3.2 Valores médios de pressão máxima (P) e da abscissa média de ruptura (L) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

Figura 3.3 Valores médios de índice de inchamento (G) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}). O índice G (cm^{3/2}) normalmente é expresso sem indicação de unidade.

Figura 3.4 Valores médios de energia de deformação da massa (W) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

Reofermentografia

Os dados obtidos das curvas obtidas nos ensaios no reofermentógrafo encontram-se a seguir. As curvas de desenvolvimento da massa bem como as de retenção gasosa obtidas das misturas estão apresentadas no Anexo A.

Na Tabela 3.5 encontram-se os parâmetros obtidos a partir das curvas de desenvolvimento das misturas. Vale ressaltar que, para as misturas ARM0, ARM5 e ARM15, não foi possível determinar T_2 , T_2' e conseqüentemente calcular a tolerância (t) devido à altura não decair 10% após atingir a altura máxima (H_m). A mistura ARM30 apresentou comportamento diferenciado das demais misturas, e apresentou valores médios de T_2 e T_2' de 45,2 e 173,5 minutos respectivamente, resultando em uma tolerância de 128,3 minutos.

Tabela 3.5 Valores médios dos parâmetros obtidos das curvas de desenvolvimento das misturas analisadas no reofermentógrafo.

Mistura	H _m (mm)	T1 (h)	h (mm)	v _d (mm.min ⁻¹)	W _c (%)
ARM0	65,2 ± 2,1 ^c	2,21 ± 0,09 ^a	60,5 ± 0,8 ^c	0,847 ± 0,037 ^a	7,1 ± 1,6 ^a
ARM5	60,0 ± 0,9 ^{bc}	2,13 ± 0,18 ^a	57,5 ± 0,6 ^{bc}	0,828 ± 0,007 ^a	4,1 ± 0,6 ^a
ARM15	53,5 ± 3,4 ^b	2,19 ± 0,16 ^a	51,3 ± 3,0 ^b	0,767 ± 0,085 ^a	4,1 ± 0,6 ^a
ARM30	31,8 ± 0,9 ^a	1,86 ± 0,37 ^a	28,1 ± 0,6 ^a	0,729 ± 0,002 ^a	11,7 ± 0,5 ^b
DMS	8,5	0,91	6,5	0,189	3,8

Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$).

H_m: altura máxima; T1: tempo correspondente a H_m; h: altura ao final do teste; v_d: velocidade de desenvolvimento; W_c: Coeficiente de enfraquecimento; DMS: Diferença mínima significativa.

De uma maneira geral, o efeito da substituição de FT por ARM promoveu redução do desenvolvimento da massa, uma vez que a altura máxima (H_m) e final (h) diminuíram com o aumento da substituição de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM), como pode ser observado na Figura 3.5. Na Figura 3.6 pode ser observado que a substituição da FT por ARM não influenciou significativamente ($p > 0,05$) a velocidade de desenvolvimento (v_d) das massas. No entanto, uma ligeira tendência de queda desse parâmetro é verificada com o aumento do nível de substituição. O coeficiente de enfraquecimento (W_c) das misturas não foi influenciado pelo nível de substituição entre as misturas ARM0, ARM5 e ARM15, porém com 30% de substituição (ARM30) observa-se um significativo aumento (Figura 3.7), indicando que a mistura ARM30 possui menor tolerância ao tempo de fermentação que as demais misturas.

Figura 3.5 Valores médios de altura máxima (H_m) e altura final (h) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

Figura 3.6 Valores médios da velocidade de desenvolvimento (v_d) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

Figura 3.7 Valores médios do coeficiente de enfraquecimento (W_c) das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}).

A Tabela 3.6 apresenta os valores médios dos parâmetros obtidos da curva de retenção gasosa das misturas, em função do nível de substituição da FT por ARM.

Tabela 3.6 Valores médios dos parâmetros obtidos das curvas de retenção gasosa das misturas quando submetidas aos ensaios no reofermentógrafo.

Mistura	H'_m (mmH ₂ O)	$T1'$ (h)	T_x (h)	V_t (mL)	V_r (mL)	R_c (%)
ARM0	79,0 ± 2,6 ^a	0,88 ± 0,07 ^a	1,00 ± 0,00 ^a	1638 ± 45 ^c	1301 ± 27 ^b	79,5 ± 0,5 ^a
ARM5	78,1 ± 0,4 ^a	0,91 ± 0,02 ^a	0,95 ± 0,00 ^a	1606 ± 12 ^{bc}	1288 ± 4 ^b	80,2 ± 0,4 ^a
ARM15	76,2 ± 2,8 ^a	1,08 ± 0,04 ^a	0,98 ± 0,11 ^a	1510 ± 23 ^b	1247 ± 31 ^b	82,0 ± 0,8 ^a
ARM30	71,9 ± 0,9 ^a	0,89 ± 0,05 ^a	0,79 ± 0,05 ^a	1387 ± 16 ^a	1108 ± 34 ^a	81,7 ± 1,5 ^a
DMS	8,1	0,20	0,24	110	109	3,7

Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$).

H'_m : aumento máximo de pressão; $T1'$: tempo correspondente a H'_m ; T_x : tempo de separação entre curvas do ciclo direto e indireto; V_t : volume total; V_r : Volume retido; R_c : Coeficiente de retenção gasosa; **DMS**: Diferença mínima significativa.

Os valores da altura máxima de pressão (H'_m), o tempo correspondente a H'_m ($T1'$), e o tempo relativo à separação entre as curvas do ciclo direto e indireto (T_x)

não apresentaram diferenças significativas entre as misturas ($p>0,05$). Interessante observar na Figura 3.8 que os valores de volume total (V_t) e retido (V_r) de gás pelas massas variaram proporcionalmente, como esperado, uma vez que os testes foram conduzidos sempre com a mesma levedura e, portanto as diferenças encontradas são devidas à porosidade das massas formadas em consequência da diminuição do teor de glúten, em decorrência da substituição da FT por ARM. Esta proporcionalidade é evidenciada pela ausência de diferença significativa ($p>0,05$) entre os coeficientes de retenção (R_c) apresentados na Tabela 3.6.

Figura 3.8 Valores médios do volume total (V_t) produzido de gás carbônico e do volume retido (V_r) pelas massas produzidas das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (X_{ARM}).

A Tabela 3.7 apresenta valores médios da taxa de produção de gás (TPG) calculada das curvas de retenção gasosa das misturas, em função do nível de substituição da FT por ARM. Pode ser observado que o nível de substituição não influenciou a TPG, no entanto, verifica-se uma tendência de diminuição da taxa com o aumento do nível de substituição (Figura 3.9). O valor alto encontrado para a DMS é possivelmente devido à diferença da temperatura da massa no início do teste que variou entre 21,2°C a 24,0°C.

Tabela 3.7 Valores médios da taxa de produção de gás (TPG) calculada a partir das curvas de retenção gasosa das misturas quando submetidas aos ensaios no reofermentógrafo.

Mistura	TPG (mmH ₂ O.min ⁻¹)
ARM0	5,11 ± 0,25 ^a
ARM5	4,78 ± 0,09 ^a
ARM15	4,22 ± 0,70 ^a
ARM30	3,82 ± 0,01 ^a
DMS	1,52

Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$). **DMS**: Diferença mínima significativa.

Figura 3.9 Valores médios da taxa de produção gasosa (TPG) pelas massas produzidas das misturas em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (X_{ARM}).

Os resultados de reofermentografia mostram que a mistura ARM5, com 5% de substituição de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM), apresenta comportamento fermentativo similar à ARM0, mistura sem substituição. A partir de 15% de substituição, as misturas apresentaram significativa diminuição do volume total de gás produzido, ou seja, seu emprego na produção de pães possivelmente resultaria em pães com menor volume.

Em função dos resultados obtidos no desempenho em reofermentógrafo, na próxima etapa do trabalho, ficou estabelecido que a substituição de FT por ARM fosse restrita à faixa de 0 a 15% de substituição.

De acordo com os resultados do teor de glúten úmido, obteve-se uma estimativa de que 8,5% de substituição de FT por ARM possivelmente resultaria em diferenças significativas em relação à qualidade dos pães (principalmente em relação ao volume específico e à força máxima de compressão) produzidos acima desse nível de substituição.

Assim para a confecção dos pães de misturas de FT por ARM, cinco níveis de substituição: 0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15,0% foram selecionados.

3.2 Etapa 2

3.2.1 Avaliação dos pães

A avaliação dos pães tipo francês pré assado congelado (PFPAC) produzidos segundo processo convencional, a partir das misturas de farinha de trigo (FT) e amido resistente de milho (ARM) em cinco níveis de substituição: 0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15% foi conduzida após 1, 8, 15, 25 e 46 dias de armazenamento congelado e submetidos ao assamento final em forno turbo (Degânia, modelo Turbo 4, Brasil) durante 5 minutos a 225°C. A avaliação foi realizada através de medidas de umidade, volume específico, força máxima de compressão do miolo (F_m) do pão e concentração de amido resistente ([AR]). Foi aplicada análise de variância (ANOVA) multifator nos resultados, que se encontram na Tabela 3.8 em função do nível de substituição da FT por ARM (x_{ARM}) e na Tabela 3.9 em função do tempo de armazenamento congelado (t_{FS}).

Tabela 3.8 Valores médios obtidos da força máxima de compressão (F_m), volume específico (V_{esp}), umidade e concentração de amido resistente ([AR]) de pães tipo francês pré-assado congelado até 46 dias, em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM})., após uma hora do assamento final.

x_{ARM}	F_m	V_{esp}	Umidade	[AR]
(%)	(mN)	(cm ³ /g)	(%)	(%)
0,0	1309 ± 16 ^a	6,44 ± 0,27 ^d	37,9 ± 2,1 ^a	1,96 ± 0,15 ^a
7,5	1564 ± 20 ^b	5,45 ± 0,26 ^{bc}	37,8 ± 3,1 ^a	4,11 ± 0,08 ^b
10,0	1471 ± 19 ^{ab}	5,71 ± 0,23 ^c	37,4 ± 2,9 ^a	5,46 ± 0,26 ^c
12,5	1763 ± 24 ^c	5,36 ± 0,15 ^b	36,6 ± 2,0 ^a	6,08 ± 0,26 ^d
15,0	3089 ± 52 ^d	4,77 ± 0,19 ^a	36,1 ± 2,9 ^a	6,60 ± 0,74 ^e
p	0,0000	0,0000	0,2146	0,0000
DMS	194	0,29	2,6	0,37

Médias na coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$). **p**: nível de significância. **DMS**: Diferença mínima significativa.

Tabela 3.9 Valores médios obtidos da força máxima de compressão (F_m), volume específico (V_{esp}), umidade e concentração de amido resistente ([AR]) de pães tipo francês pré-assado congelado até 46 dias, em função do tempo de armazenamento (t_{FS}), referentes ao nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho, após uma hora do assamento final.

t_{FS}	F_m	V_{esp}	Umidade	[AR]
(dias)	(mN)	(cm ³ /g)	(%)	(%)
1	1843 ± 73 ^b	5,55 ± 0,61 ^a	37,8 ± 2,5 ^a	4,66 ± 1,59 ^a
8	1907 ± 99 ^b	5,53 ± 0,60 ^a	38,6 ± 2,7 ^a	5,07 ± 1,96 ^b
15	1643 ± 51 ^a	5,55 ± 0,48 ^a	36,6 ± 2,8 ^a	4,98 ± 2,02 ^{ab}
25	1873 ± 59 ^b	5,46 ± 0,69 ^a	36,6 ± 2,4 ^a	4,82 ± 1,74 ^{ab}
46	1932 ± 68 ^b	5,64 ± 0,64 ^a	36,2 ± 2,6 ^a	4,69 ± 1,49 ^a
p	0,0005	0,5144	0,0744	0,0126
DMS	194	0,29	2,6	0,37

Médias na coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$). **p**: nível de significância. **DMS**: Diferença mínima significativa.

Como pode ser observado nas tabelas acima, o nível de substituição de FT por ARM e o tempo de armazenamento congelado influenciaram significativamente a F_m e a [AR]. Entretanto, somente o nível de substituição influenciou o volume específico dos pães. A partir dos resultados obtidos, ANOVA fator único foi aplicada.

A umidade dos pães não foi influenciada ($p>0,05$) pelo nível de substituição de FT por ARM, nem em relação ao tempo de armazenamento.

Força máxima de compressão do miolo

Os resultados de força máxima de compressão (F_m) de acordo com o nível de substituição (x_{ARM}) para cada tempo de armazenamento (t_{FS}) estão apresentados na Tabela 3.10. ANOVA fator único foi aplicada para avaliação destes resultados.

Tabela 3.10 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (mN), do miolo de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento congelado (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final.

x_{ARM} (%)	t_{FS} (dias)										DMS
	1		8		15		25		46		
0,0	1184 ± 92	^{aA}	1211 ± 98	^{aA}	1311 ± 85	^{aA}	1323 ± 130	^{aA}	1524 ± 127	^{aB}	164
7,5	1647 ± 111	^{bcB}	1444 ± 82	^{bA}	1452 ± 54	^{bcA}	1852 ± 138	^{bB}	1425 ± 98	^{aA}	162
10,0	1561 ± 125	^{bB}	1675 ± 107	^{cB}	1317 ± 44	^{abA}	1361 ± 128	^{aAB}	1489 ± 107	^{aAB}	228
12,5	1787 ± 83	^{cBC}	1605 ± 124	^{bcAB}	1484 ± 105	^{cA}	1993 ± 89	^{bC}	1807 ± 97	^{bC}	220
15,0	2954 ± 155	^{dA}	4143 ± 147	^{dB}	2612 ± 137	^{dA}	2850 ± 117	^{cA}	3277 ± 67	^{cB}	253
DMS	191		187		140		206		198		

Médias da mesma coluna com a mesma letra minúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

Médias da mesma linha com a mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

DMS: diferença mínima significativa.

A Figura 3.10 ilustra os valores médios de força máxima de compressão dos pães em função do nível de substituição, para cada tempo de armazenamento, onde se observa que o nível de substituição influenciou significativamente a força máxima de compressão do miolo dos pães produzidas, aumentando com o aumento da quantidade de ARM na mistura, notadamente para valores acima de 12,5%. Este resultado está associado à redução do volume específico do pão, ocasionado pelo decréscimo das propriedades visco-elásticas da massa (HUNG; YAMAMORI; MORITA, 2005).

Figura 3.10 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (F_m) de pães do miolo tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final.

Em relação ao tempo de armazenamento congelado, os resultados apresentados na Figura 3.11 não indicam uma tendência clara, mas nota-se um aumento significativo da F_m com 15% de ARM na mistura, confirmando que nesse nível de substituição, a maciez do miolo dos pães foi comprometida. Importante destacar que a firmeza do miolo dos pães sem substituição, até 25 dias de armazenamento congelado, foi mantida, seguido de aumento no 46º dia de armazenamento. Esse resultado está em desacordo com os obtidos por Bárcenas et al. (2003) que observaram significativo endurecimento do miolo de pães pré-assados congelados a partir do décimo quarto dia de armazenamento, numa escala de avaliação de 5 pontos ao longo de 42 dias de armazenamento a - 18 °C, devido a diferenças entre a formulação empregada neste estudo, que continha gordura vegetal hidrogenada e aditivos alimentares, e a formulação utilizada por Bárcenas et al. (2003), que consistiu em farinha de trigo, fermento biológico fresco (2% base farinha), sal (2% base farinha) e água até que a consistência ótima fosse atingida. A adição de gordura vegetal hidrogenada à formulação de PFPAC resulta em maior maciez do miolo dos pães, ao longo do armazenamento congelado, em relação àquelas sem a adição de gordura vegetal hidrogenada (CARR; TADINI, 2003). Os

aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia, notadamente a enzima alfa-amilase, reduzem o endurecimento do miolo, apesar de seu mecanismo de atuação sobre a estrutura do pão não estar completamente elucidado (GRAY; BEMILLER, 2001). Estudos com aditivos em pão pré-assado congelado realizados por Bárcenas, Benedito e Rosell (2004), mostram que a adição do hidrocolóide hidroxipropil-metilcelulose (HPMC) no produto controla o endurecimento do miolo do mesmo, apresentando estabilidade durante 42 dias de armazenamento a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 3.11 Valores médios obtidos de força máxima de compressão (F_m) do miolo de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), uma hora após o assamento final.

Volume específico (V_{esp})

Os resultados do volume específico (V_{esp}), de acordo com o nível de substituição de FT por ARM (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento congelado (t_{FS}), encontram-se na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Valores médios obtidos de volume específico, expresso em $\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$, de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final.

x_{ARM} (%)	t_{FS} (dias)					DMS
	1	8	15	25	46	
0,0	6,51 $\pm$ 0,16 ^{Ac}	6,49 $\pm$ 0,65 ^{Ab}	6,17 $\pm$ 0,11 ^{Ac}	6,47 $\pm$ 0,09 ^{Ad}	6,56 $\pm$ 0,03 ^{Ae}	1,22
7,5	5,74 $\pm$ 0,06 ^{Cb}	5,31 $\pm$ 0,08 ^{ABab}	5,38 $\pm$ 0,05 ^{Bab}	5,13 $\pm$ 0,02 ^{Ab}	5,73 $\pm$ 0,05 ^{Cd}	0,22
10,0	5,43 $\pm$ 0,19 ^{Ab}	5,60 $\pm$ 0,02 ^{Aab}	5,88 $\pm$ 0,06 ^{Abc}	5,72 $\pm$ 0,26 ^{Ac}	5,96 $\pm$ 0,00 ^{Ac}	0,59
12,5	5,34 $\pm$ 0,05 ^{Ab}	5,39 $\pm$ 0,11 ^{Aab}	5,48 $\pm$ 0,14 ^{Aab}	5,48 $\pm$ 0,07 ^{Abc}	5,14 $\pm$ 0,11 ^{Ab}	0,40
15,0	4,75 $\pm$ 0,64 ^{Aa}	4,90 $\pm$ 0,22 ^{Aa}	4,87 $\pm$ 0,28 ^{Aa}	4,52 $\pm$ 0,01 ^{Aa}	4,84 $\pm$ 0,04 ^{Aa}	0,65
DMS	0,48	1,25	0,61	0,51	0,22	

Médias da mesma coluna com a mesma letra minúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

Médias da mesma linha com a mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

DMS diferença mínima significativa.

O volume específico dos pães foi influenciado significativamente ($p<0,05$) pelo nível de substituição, diminuindo com o aumento do nível de substituição (Figura 3.12). Hung, Yamamori e Morita (2005) demonstraram que substituições de farinha de trigo comum por outra com maior teor de amilose, ocasionaram decréscimo do volume específico de pão de forma em consequência do decaimento das propriedades visco-elásticas da massa. Na Figura 3.13, o volume específico dos pães não variou significativamente ($p>0,05$) em relação ao tempo de armazenamento congelado, para cada nível de substituição. A amostra com 7,5% de substituição de FT por ARM apresentou diferenças no volume específico ao longo do tempo de armazenamento estudado, indicando a não homogeneidade desta amostra.

Figura 3.12 Valores médios obtidos de volume específico (V_{esp}) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final.

Figura 3.13 Valores médios obtidos de volume específico (V_{esp}) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), uma hora após o assamento final.

Concentração de amido resistente ([AR])

Os resultados de concentração de amido resistente ([AR]), de acordo com o nível de substituição de FT por ARM (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento congelado (t_{FS}), encontram-se na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR), expresso em porcentagem sobre base total, de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), para cada tempo de armazenamento (t_{FS}) até 46 dias, uma hora após o assamento final.

x_{ARM} (%)	t_{FS} (dias)					DMS
	1	8	15	25	46	
0,0	1,87 ± 0,09 ^{aA}	2,01 ± 0,04 ^{aAB}	2,05 ± 0,01 ^{aAB}	1,92 ± 0,09 ^{aA}	2,14 ± 0,11 ^{aB}	0,22
7,5	4,04 ± 0,01 ^{bA}	4,08 ± 0,02 ^{bA}	4,22 ± 0,02 ^{bB}	4,21 ± 0,00 ^{bB}	4,09 ± 0,07 ^{bA}	0,11
10,0	5,08 ± 0,09 ^{cA}	5,40 ± 0,08 ^{cB}	5,48 ± 0,04 ^{cB}	5,68 ± 0,10 ^{cB}	5,73 ± 0,06 ^{cB}	0,31
12,5	6,04 ± 0,07 ^{dA}	6,40 ± 0,10 ^{dB}	5,95 ± 0,13 ^{dA}	5,94 ± 0,13 ^{cdA}	5,97 ± 0,11 ^{cA}	0,29
15,0	6,35 ± 0,12 ^{eA}	7,60 ± 0,17 ^{eB}	7,46 ± 0,11 ^{eB}	6,08 ± 0,06 ^{dA}	5,97 ± 0,01 ^{cA}	0,38
DMS	0,25	0,24	0,31	0,26	0,23	

Médias da mesma coluna com a mesma letra minúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

Médias da mesma linha com a mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes ($p>0,05$).

DMS diferença mínima significativa.

Na Figura 3.14 pode ser observado o aumento na [AR] dos pães em função do nível de substituição, para cada tempo de armazenamento, confirmando que o ARM utilizado se manteve resistente mesmo após os dois ciclos de assamento. Na Figura 4.16 interessante notar que pães produzidos de misturas com os níveis de substituição 12,5% e 15,0% apresentaram picos na [AR] nos primeiros 15 dias de armazenamento seguido de decréscimo após este período.

Figura 3.14 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) para cada dia de armazenamento (1, 8, 15, 25 e 46 dias), uma hora após o assamento final.

Figura 3.15 Valores médios obtidos de concentração de amido resistente (AR) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do tempo de armazenamento de até 46 dias (1, 8, 15, 25 e 46 dias) para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM), uma hora após o assamento final.

Rosin, Lajolo e Menezes (2002) verificaram que o congelamento e o armazenamento congelado ao longo de 30 dias a -20°C alterou a [AR] nos alimentos. O pão francês, logo após o congelamento apresentou 8% de aumento de amido resistente sobre o valor inicial de 0,78%, antes do congelamento.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o armazenamento congelado até 46 dias de PFPAC produzidos de misturas sem ARM, ocasionou em um aumento na [AR], de 1,87% para 2,14%, representando um acréscimo de 14,4%, possivelmente devido a retrogradação do amido do trigo, resultados similares aos relatados por Rosin, Lajolo e Menezes (2002). Com relação aos pães produzidos de misturas com 10,0%, 12,5% e 15,0% de substituição de FT por ARM, observa-se que a partir de 15 dias de armazenamento, a [AR] apresentou valores distintos entre si, enquanto que no 25º dia de armazenamento, houve um decréscimo do AR, atingindo valores próximos, mantendo assim até o 46º dia. Este resultado sugere que com ao longo do armazenamento congelado até 46 dias, pães produzidos de misturas com 10,0%, 12,5% e 15,0% de substituição de FT por ARM tendem à mesma [AR], no final do período de armazenamento estudado.

Regressão múltipla

Através da regressão múltipla dos dados experimentais expressos na Tabela 3.10, Tabela 3.11 e Tabela 3.12 para o modelo quadrático, foram obtidos os termos da expressão para força máxima de compressão do miolo do pão (F_m), volume específico (V_{esp}) e concentração de amido resistente ([AR]), respectivamente. A Tabela 3.13 apresenta os valores dos coeficientes obtidos, bem como sua significância.

Tabela 3.13 Termos das equações obtidas através da regressão múltipla para o modelo quadrático dos dados experimentais de força máxima (F_m), volume específico (V_{esp}) e concentração de amido resistente ([AR]) de pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}), e do tempo de armazenamento (t_{FS}).

Termo	F_m (mN)	V_{esp} (cm ³ .g ⁻¹)	[AR] (%)
Constante	1282,9	6,639	1,726
x_{ARM}	-111,6 *	-0,050 *	0,363 *
t_{FS}	0,9	-0,034	0,020
$x_{ARM} \cdot x_{ARM}$	14,4 *	-0,002	0,000
$x_{ARM} \cdot t_{FS}$	-0,4	0,000	-0,002 *
$t_{FS} \cdot t_{FS}$	0,1	0,001 *	0,000
S	392	0,49	0,43
r²	0,687	0,598	0,949

* $p < 0,05$. Condições de contorno: $0,0\% < x_{ARM} < 15,0\%$; $1 < t_{FS} < 46$.

Os valores de força máxima de compressão do miolo (F_m) apresentaram ajuste razoável (em torno de 70% dos pontos experimentais atenderam ao modelo quadrático). A significância dos coeficientes da regressão múltipla realizada para os valores experimentais de F_m revelou que este parâmetro depende, de modo significativo e dentro do intervalo avaliado, apenas do nível de substituição. O valor ótimo de F_m (valor mínimo) estimado com base na equação quadrática obtida foi 1066mN, referente ao nível de substituição 3,90%.

Os valores de volume específico (V_{esp}) não apresentaram bom ajuste (r^2 de 0,598). De acordo com a significância dos termos, o parâmetro mostrou-se dependente do nível de substituição e do quadrado do tempo de armazenamento, porém mostrou-se necessário maior número de réplicas para obter menor desvio e maior clareza com relação aos resultados deste parâmetro no intervalo estudado. A partir do modelo obtido, o valor ótimo de V_{esp} (valor máximo) estimado com base no modelo foi 6,60 cm³.g⁻¹, para o nível de substituição 0,0% e tempo de armazenamento congelado de 1 dia.

A concentração de amido resistente ([AR]) apresentou resultados experimentais com um ótimo ajuste (r^2 de 0,949) ao modelo quadrático, sendo significativos os termos x_{ARM} (nível de substituição da farinha de trigo por amido resistente de milho) e $x_{ARM} \cdot t_{FS}$ (interação do nível de substituição com o tempo de

armazenamento). A representação do modelo obtido para [AR] é realizada através de superfície de resposta (Figura 3.16). O valor máximo de [AR], com base no modelo obtido experimentalmente foi 7,09%, sendo o nível de substituição igual a 15,0% e o tempo de armazenamento congelado igual a 1 dia. De uma forma geral, e com base no modelo obtido, verifica-se que quanto maior o nível de substituição, menor deverá ser o tempo de armazenamento congelado para que a concentração de amido resistente seja a máxima. Interessante observar que para o nível de substituição 0,0%, a concentração máxima de AR foi obtida para o tempo de armazenamento congelado de 46 dias, enquanto que para o nível 7,5%, o tempo correspondente à máxima [AR] correspondeu a 15 dias e para níveis superiores a 10,0% de substituição, o tempo de armazenamento correspondente à concentração máxima de AR foi menor que 3 dias.

Figura 3.16 Representação, através de superfície de resposta, do modelo quadrático obtido para os resultados experimentais de concentração de AR ([AR]) através de regressão múltipla dos fatores nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) e tempo de armazenamento congelado (t_{FS}), no intervalo $0\% < x_{ARM} < 15\%$ e $1 < t_{FS} < 46$.

3.2.2 Concentração de amido resistente ([AR]) de acordo com etapas do processo produtivo

Os resultados obtidos da concentração de amido resistente ([AR]) foram analisados através de ANOVA multifator, considerando-se as etapas do processo produtivo e o nível de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (X_{ARM}).

Na **Error! Reference source not found.** estão mostrados os valores médios de [AR], (% b.s.) obtidos nas diferentes etapas do processo produtivo de pão francês pré-assado congelado (PFPAC), que compreendem as etapas *formulação* (correspondente à quantidade de AR encontrada nos ingredientes), *pão pré-assado não forneado* (correspondente à etapas formulação seguida das etapas de batimento da massa até o congelamento do PFPAC) e *pão pré-assado forneado* (correspondente à etapa pré-assado não forneado seguida das etapas armazenamento congelado, assamento final e resfriamento por 1 hora).

Os resultados de [AR] das etapas do processo produtivo de PFPAC foram submetidos a ANOVA fator único, e são apresentados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 Valores médios obtidos da concentração de amido resistente ([AR]) (%b.s.) de pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC), em função do tempo de armazenamento até 46 dias, para cada nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (X_{ARM}), ao longo das etapas de seu processo produtivo.

ETAPA	X_{ARM} (%)					DMS
	0,0	7,5	10,0	12,5	15,0	
Formulação	3,0 ± 0,4 abA	6,5 ± 0,5 bB	7,7 ± 0,5 aBC	8,8 ± 0,5 aCD	10,0 ± 0,5 bcD	1,9
PAnf	2,7 ± 0,2 aA	6,6 ± 0,1 bB	7,8 ± 0,1 aC	9,1 ± 0,1 aD	* *	0,4
PAf-1d	2,7 ± 0,1 abA	6,2 ± 0,0 abB	7,8 ± 0,1 aC	9,3 ± 0,1 aD	9,5 ± 0,1 abcD	0,5
PAf-8d	2,9 ± 0,1 abA	6,2 ± 0,0 abB	8,2 ± 0,1 aC	9,3 ± 0,1 aD	10,8 ± 0,0 cE	0,3
PAf-15d	3,0 ± 0,0 abA	6,3 ± 0,0 abB	8,0 ± 0,3 aC	8,8 ± 0,2 aD	10,1 ± 0,3 bcE	0,6
PAf-25d	2,9 ± 0,1 abA	6,3 ± 0,0 abB	8,2 ± 0,1 aC	8,7 ± 0,2 aD	9,2 ± 0,1 abE	0,4
PAf-46d	3,3 ± 0,2 bA	5,9 ± 0,1 aB	8,1 ± 0,2 aC	9,0 ± 0,2 aD	8,8 ± 0,0 aD	0,4
DMS	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0	

Médias da mesma coluna com a mesma letra minúscula não são significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Médias da mesma linha com a mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes ($p > 0,05$).

DMS diferença mínima significativa.

Formulação: [AR] (% b.s.) encontrada nos ingredientes. **PAnf (pré-assado não forneado):** referente às etapas de batimento, descanso da massa, corte, modelagem, fermentação, pré-assamento, congelamento e descongelamento do PFPAC por 1 hora. **PAf (pré-assado forneado):** compreende as etapas de batimento, descanso da massa, corte, modelagem, fermentação, pré-assamento, congelamento, armazenamento congelado (de 1 a 46 dias), assamento final e resfriamento por 1 hora à temperatura ambiente. * perda de amostra.

Pode ser claramente observado na Figura 3.17, o aumento da [AR] (% b.s.) em relação à quantidade de ARM nas misturas. Segundo Tovar et al. (2006), o aumento ou diminuição da [AR] está associado de acordo com a temperatura e as quantidades de água e amido presentes no alimento. Ciclos térmicos de aquecimento e resfriamento também influenciam significativamente a quantidade de AR no alimento.

Figura 3.17 Valores médios de [AR] (% b.s.) dos pães tipo francês pré-assado congelado em função do nível de substituição (0,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15%) de farinha de trigo por amido resistente de milho (x_{ARM}) e em função da etapa do processo produtivo.

PFPAC produzidos de misturas sem ARM apresentaram um aumento na [AR] de 10% (subiu de 3,0g para 3,3g) após 46 dias de armazenamento congelado. Resultados similares foram obtidos por Rosin, Lajolo e Menezes (2002), cujo estudo indicou que o período de armazenamento congelado de 1 mês a -20°C para o pão francês comum ocasionou em um aumento significativo de 8% de amido resistente.

É possível verificar que PFPAC produzidos de misturas com 10,0% e 12,5% de substituição de FT por ARM não sofreram alteração significativa ($p > 0,05$) na [AR], em relação às etapas produtivas avaliadas, enquanto que PFPAC produzidos de misturas com 7,5% e 15,0% de substituição, apresentaram tendência de diminuição da [AR].

3.2.3 Estimativa de consumo médio de AR através do PFPAC

Através dos dados de concentração de amido resistente ([AR]) dos pães (Tabela 3.8) e dados de consumo médio de pão tipo francês no desjejum dos brasileiros (Tabela 3.15) foi obtida uma estimativa de consumo médio de AR entre homens e mulheres adultos com mais de 20 anos de idade (Tabela 3.16).

Tabela 3.15 Consumo médio de pão francês nas refeições de indivíduos adultos (com mais de 20 anos de idade) do município de Cotia-SP, em 1990, segundo sexo, adaptado de Mattos e Martins (2000).

Consumo de pão francês nas refeições (g)				
Sexo	Desjejum	Almoço	Jantar	TOTAL
Mulheres	31,70	22,33	-	54,03
Homens	32,95	-	-	32,95

Tabela 3.16 Estimativa de consumo médio de amido resistente (g por dia) nas refeições de indivíduos adultos (com mais de 20 anos de idade), do município de Cotia-SP, segundo sexo, calculada a partir de resultados médios de concentração de amido resistente de pães tipo francês pré-assado congelado produzido com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por amido resistente de milho (X_{ARM}) ao longo do armazenamento congelado de até 46 dias.

		X_{ARM} (%)				
Sexo	Consumo pão (g/dia)	0,0	7,5	10,0	12,5	15,0
Mulheres	54,03	1,06	2,22	2,95	3,29	3,57
Homens	32,95	0,65	1,35	1,80	2,00	2,17

É possível concluir, a partir das estimativas obtidas de consumo médio diário de amido resistente (AR), constantes na Tabela 3.16, que no nível máximo de substituição testado, ou seja, substituição de 15,0% da farinha de trigo por amido resistente de milho, o consumo diário de AR para a população feminina aumentaria de 1,06 g/dia para 3,57 g/dia (aumento diário de 2,51 g) e para a população masculina, o consumo aumentaria de 0,65 g/dia para 2,17 g/dia (aumento diário de 1,52 g), apenas considerando-se o AR proveniente do pão francês.

4 CONCLUSÕES

Na primeira etapa, através das análises das misturas produzidas com 0,0% (ARM0); 5,0% (ARM5); 15% (ARM15) e 30% (ARM30) de substituição de farinha de trigo (FT) por amido resistente de milho (ARM), pode-se concluir:

As misturas ARM 15 e ARM 30 apresentaram teor de glúten úmido estatisticamente diferente em relação ao teor da mistura ARM0. A estimativa com base na diferença mínima significativa ajustada aos dados experimentais, indicou que misturas com valores superiores a 8,5% de substituição de FT por ARM apresentariam qualidade do glúten comprometida.

A absorção de água das misturas variou entre 61,5% e 63,5%, um incremento de 2% na mistura ARM30 na absorção de água em relação à mistura sem quantidade de ARM.

Resultados obtidos de alveografia e reofermentografia demonstraram enfraquecimento das massas produzidas das misturas, com o aumento do nível de substituição, sendo que os resultados alveográficos foram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) a partir de 15% de substituição de FT por ARM. A massa produzida da mistura ARM30 não apresentou características de farinha de bom desempenho para panificação.

Os ensaios em reofermentógrafo indicaram que massa produzida com 5% de substituição apresentou desempenho de retenção de gás similar a mistura ARM0, ou seja, massa somente produzida com FT, enquanto que valores superiores a 15% de substituição produziram massas com menor desempenho.

Dos resultados obtidos na primeira etapa deste trabalho, concluiu-se que o nível adequado de substituição de FT por ARM para produzir massas com desempenho de panificação encontra-se entre 5,0 e 15,0%.

Na segunda etapa, através da determinação de parâmetros de qualidade de pães tipo francês pré-assado congelado (PFPAC), produzidos de com 0,0%; 7,5%; 10,0%; 12,5% e 15,0% de substituição de FT por ARM pode-se concluir:

A força máxima de compressão do miolo dos pães produzidos de misturas com 15% de substituição de FT por ARM foi significativamente superior em relação

aos demais pães, ao longo do período de armazenamento congelado, indicando que este nível de substituição comprometeu a maciez do miolo dos pães.

Houve um pequeno decréscimo do volume específico dos pães com o aumento da substituição de FT por ARM, entretanto o tempo de armazenamento congelado até 46 dias, não alterou o volume específico para todos os níveis de substituição estudados.

Apesar dos pães terem sofrido dois ciclos de assamento, a quantidade de AR presente no produto final aumentou significativamente com o aumento do nível de substituição. Pães (PFPAC) produzidos a partir de misturas com 10,0% de substituição de FT por ARM, apresentaram um acréscimo de 3,5g de amido resistente por 100g de pão em relação aos pães produzidos sem ARM, pelo modo convencional, portanto este produto pode ser caracterizado como “fonte de fibras”.

O presente estudo indica que pães (PFPAC) produzidos de misturas com 10% de substituição FT por ARM apresentaram bom padrão de qualidade nos parâmetros analisados, porém vale ressaltar que a adição de vital glúten, aditivos e coadjuvantes de tecnologia, proporcionarão melhoria na qualidade desse produto, sendo uma alternativa tecnológica na elaboração de pães pré-assados congelados.

Pães produzidos de misturas com FT e ARM, armazenados congelados até 46 dias, apresentaram tendência à redução da [AR] com o aumento do nível de substituição e com o aumento do tempo de armazenamento congelado em relação à quantidade encontrada originalmente nos ingredientes. Desta forma, a etapa que mais contribuiu para a redução da [AR] nos pães foi a etapa PAf.

Estimativas de consumo diário de amido resistente (AR) com base no consumo médio de pão francês por indivíduos adultos do município de Cotia-SP indicam que a substituição de 15% de FT por ARM em pães tipo francês pré assado congelado conduziria a um aumento absoluto de 2,5 g/dia no consumo de AR pelas mulheres e de 1,5 g/dia no consumo de AR pelos homens.

Desta forma, PFPAC produzidos com substituições de amido resistente de milho apresentam-se como uma alternativa para prover fibras alimentares aos consumidores brasileiros, embora seja sugerido para trabalhos futuros a realização de testes focados na etapa PAf para elucidar o comportamento do ARM ao longo do armazenamento congelado.

REFERÊNCIAS¹

AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS). **Approved methods of the AACC**. 9^a ed. St. Paul, Minnesota, 1995.

AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS). AACC report: the definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, v. 46, p. 112-129, 2001.

ABIP – PROPAN (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO – PROGRAMA DE APOIO À PANIFICAÇÃO). Perfil do Setor de Panificação no Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.propan.com.br/perfilpanificacao.asp>>. Acesso em: 3 out. 2006.

ÅKERBERG, A., LILJEBERG, H., BJÖRCK, I. Effect of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices. **Journal of Cereal Science**, v. 28, p. 71-80, 1998.

ANDERSSON, R., WESTERLUND, E., TILLY, A. C., ÅMAN, P. Natural variations in the chemical composition of white flour, **Journal of Cereal Science**, v. 17, p. 183-189, 1992.

ASP, N. G. Preface: Resistant Starch. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. S1, 1992.

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS). **E 2454 – 05**: Standard guide for sensory evaluation methods to determine the sensory shelf life of consumer products. West Conshohocken, United States, 2005.

ATWELL, W. A., HOOD, L. F., LINEBACK, D. R., VARRIANO-MARSTON, E., ZOBEL, H. F. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. **Cereal Foods World**, v. 33, p. 306-311, 1988.

BÁRCENAS, M. E., BENEDITO, C., ROSELL, C. M. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 769-774, 2004.

¹ Baseado na Norma ABNT NBR 6023 (2002).

BÁRCENAS, M. E., HAROS, M., BENEDITO, C., ROSELL, C. M. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. **Food Research International**, v. 36, p. 863-869, 2003.

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

BÁRCENAS, M. E., ROSELL, C. M. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the part-baked bread: low temp and HPMC addition. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 92-99, 2006.

BENASSI, V. T., WATANABE, E., LOBO, A. R. Produtos de panificação com conteúdo calórico reduzido. **B. CEPPA**, v. 19, p. 225-242, 2001.

BORGHT, A. V. D., GOESAERT, H., VERAVERBEKE, W. S., DELCOUR, J. A. Review. Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 221-237, 2005.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária / Ministério da Saúde (SVS/MS). Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. **D.O.U. - Diário Oficial da União**; Brasília, 1997. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o Regulamento Técnico referente a Alimentos para Fins Especiais. Portaria nº 29, de 13 de janeiro de 1998. **D.O.U. - Diário Oficial da União**; Brasília, 1998a. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=17213&word=>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária / Ministério da Saúde (SVS/MS). Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. **D.O.U. - Diário Oficial da União**; Brasília, 1998b. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=97>>. Acesso em: 18 abr. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o "Regulamento técnico que aprova o uso de Aditivos Alimentares, estabelecendo sua Funções e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 7- Produtos de Panificação e Biscoitos". Resolução nº 383, de 05 de agosto de 1999. **D.O.U. - Diário Oficial da**

União, Brasília, 1999a. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=117>>. Acesso em: 08 mar. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Portaria nº 398, de 30 abril de 1999. **D.O.U. - Diário Oficial da União**, Brasília, 1999b. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=11297&word=>>. Acesso em: 14 mar. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO SOBRE ADITIVOS UTILIZADOS SEGUNDO AS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO E SUAS FUNÇÕES", contendo os Procedimentos para Consulta da Tabela e a Tabela de Aditivos Utilizados Segundo as Boas Práticas de Fabricação. Portaria nº 386, de 05 de agosto de 1999. **D.O.U. - Diário Oficial da União**; Brasília, 1999c. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=11541>> . Acesso em: 08 mar. 2007.

BRASIL. Lei nº 10273, de 05 de setembro de 2001. Dispõe sobre o uso do bromato de potássio na farinha e nos produtos de panificação. **D.O.U. - Diário Oficial da União**; Poder Executivo, de 06 de setembro de 2001. Brasília, 2001. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=5852&word=bromato%20pot%C3%A1ssio>>. Acesso em: 15 out. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS E FARELOS", constante do Anexo desta Resolução. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. **D.O.U. - Diário Oficial da União**, Brasília, 2005. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18822&word=>>. Acesso em: 25 mar. 2006.

BROUNS, F. Soya isoflavones: a new and promising ingredient for the health food sector. **Food Research International**, v. 35, p. 187-193, 2002.

BUESO, F. J., ROONEY, L. W., WANISKA, R. D., SILVA, L. Combining maltogenic amylase with CMC or wheat gluten to prevent amylopectin recrystallization and delay corn tortilla staling. **Cereal Chemistry**, v. 81, p. 654-659, 2004.

CALVEL, R. **O pão Francês e os produtos correlatos; tecnologia e prática da panificação**, Prática da panificação, administração e participações, Fortaleza: J. Macedo S.A., 1987. 287p.

CARR, L. G., RODAS, M. A. B., DELLA TORRE, J. C. M., TADINI, C. C. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **LWT – Food Science and Technology**, v. 39, p. 540-547, 2006.

CARR, L. G., TADINI, C. C. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. **LWT – Food Science and Technology**, v. 36, p. 609-614, 2003.

CHAMP, M. Determination of resistant starch in food products: interlaboratory study. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 51-52, 1992.

CRAIG, S. A. S., STARK, J. R. The effect of physical damage on the molecular structure of wheat starch. **Carbohydrate research**, v. 125, p. 117-125, 1984.

DHINGRA, S., JOOD, S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. **Food Chemistry**, v. 77, p. 479-488, 2001.

DOG, T. L. Menopause: a review of botanical dietary supplements. **The American Journal of Medicine**, v. 118, p. 98S-108S, 2005.

DON, C., LICHTENDONK, W. J., PLIJTER, J. J., VLIET, T. V., HAMER, R. J. The effect of mixing on glutenin particle properties: aggregation factors that affect gluten formation in dough. **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 69-83, 2005.

ENGLYST, H. N., WIGGINS, H. S., CUMMINGS, J. H. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. **Analyst**, v. 107, p. 307-318, 1982.

FERREIRA, P. B. M., WATANABE, E. Estudo da formulação na produção de pão francês pré-assado. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 16, 1998, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: SBCTA, 1998. Paper no. 72. CD-ROM.

FERREIRA, P. B. M., WATANABE, E., BENASSI, V. T. Estudo do processo de produção de pão francês pré-assado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, p. 91-95, 1999.

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

FUNG, D. Y. C. Microbiological considerations in freezing and refrigeration of bakery foods. In: KULP, K., LORENZ, K., BRÜMMER, J. **Frozen and refrigerated doughs and batters**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1995. Capítulo 6, p. 119-133.

GOESAERT, H., BRIJS, K., VERAVERBEKE, W. S., COURTIN, C. M., GEBRUERS, K., DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, p. 12-30, 2005.

GOLDRING, J. M. Resistant starch: Safe intakes and legal status. **Journal of AOAC International**, v. 87, p. 733-739, 2004.

GOÑI, I., GARCÍA-ALONSO, A., SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, p. 427-437, 1997.

GOÑI, I., GARCÍA-DIZ, L., MAÑAS, E., SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, p. 445-449, 1996.

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

HAMDAMI, N., MONTEAU, J. and LE BAIL, A. Thermophysical properties evolution of French partly baked bread during freezing. **Food Research International**, v. 37, p.703-713, 2004.

HUG-ITEN, S., ESCHER, F., CONDE-PETIT, B. Staling of bread: Role of amylase and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. **Cereal Chemistry**, v. 80, p. 654-661, 2003.

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.

HUNG, P. V., YAMAMORI, M., MORITA, N. Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high-amylose wheat flour substitutions. **Cereal Chemistry**, v. 82, p. 690-694, 2005.

KATINA, K., SALMENKALLIO-MARTTILA, M., PARTANEN, R., FORSSELL, P., AUTIO, K. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 39, p. 479-491, 2006.

LAZARIDOU, A., DUTA, D., PAPAGEORGIOU, M., BELC, N., BILIADERIS, C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1033-1047, 2007.

LEBAIL, A., GRINAND, C., LE CLEACH, S., MARTINEZ, S., QUILIN, E. Influence of storage conditions on frozen French bread dough, **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 289-291, 1999.

LEBAIL, A., MONTEAU, J. Y., MARGERIE, F., LUCAS, T., CHARGELEGUE, A., REVERDY, Y. Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 503-509, 2005.

LEGAN, J. D. Mould spoilage of bread: the problem and some solutions. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 32, p. 33-53, 1993.

LILJEBERG, H., ÅKERBERG, A., BJÖRCK, I. Resistant starch formation in bread as influenced by choice of ingredients or baking conditions. **Food Chemistry**, v. 56, p. 389-394, 1995.

LINKO, Y. Y., JAVANAINEN, P., LINKO, S. Biotechnology of bread baking. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 339-344, 1997.

MATTOS, L. L., MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, p. 50-55, fev. 2000.

MCCLEARLY, B. V., MCNALLY, M., ROSSITER, P. Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 1103-1111, 2002.

MCCLEARLY, B. V., MONAGHAN, D. A. Measurement of resistant starch. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 665-675, 2002.

MENEZES, E. W., GIUNTINI, E. B., LAJOLO, F. M. Perfil de ingestão de fibra alimentar e amido resistente pela população brasileira nas últimas três décadas. In: LAJOLO, F. M., SAURA-CALIXTO, F., PENNA, E. W., MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud**: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. 1ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001. Capítulo 31, p. 433-444.

MOHAMED, A. A., RAYAS-DUARTE, P., SHOGREN, R. L., SESSA, D. J. Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality. **Food Chemistry**, v.99, p. 686-692, 2006.

MOINHO PACÍFICO. **Laudo de análise do produto Farinha M. SUPER PRIMA 365, M 06 P**. Santos, 2006. 1p. Laudo de análise (LAD 08.039) referente aos resultados físico-químicos do lote M 06 P da farinha de trigo doada pelo Moinho Pacífico.

MORITA, N., MAEDA, T., MIYAZAKI, M., YAMAMORI, M., MIURA, H., OHTSUKA, I. Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 491-495, 2002.

NAKAMURA, M., KURATA, T. Effect of L-ascorbic acid on the rheological properties of wheat flour-water dough. **Cereal Chemistry**, v. 74, p. 647-650, 1997.

NATIONAL STARCH. **Laudo de análise do produto Hi-Maize® 260**, 2006. 1p. Laudo de análise referente aos resultados físico-químicos do lote EFI081 do produto Hi-Maize® 260 doado pela National Starch.

NATIONAL STARCH. **Natural Hi-maize, the 5-in-1 Fiber: 5 key health benefits in 1 easy-to-use ingredient**. Material técnico fornecido pela empresa, 7p., 2005. Disponível em: <<http://www.foodinnovation.com/docs/Hi-maize5-in-1FiberTSB.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2006.

NUTRINEWS. Semi-assados - A nova era da Panificação. 1999. Disponível em: <<http://www.nutrinenews.com.br/edicoes/9905/mat01.html>>. Acesso em: 13 set. 2006.

NUTRINEWS. Fibras: Necessárias para viver... bem. 2001. Disponível em: <<http://www.nutrinenews.com.br/edicoes/Mat03Ed183Fibras.html>>. Acesso em: 13 set. 2006.

ODAME-DARKWAH, J. K., MARSHALL, D. L. Interactive behaviour of *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus pumilus* and *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 19, p. 259-269, 1993.

PATIENT, D., AINSWORTH, P. The chemistry of flour and bread. **Nutrition and Food Science**, v. 94, p. 22-24, 1994.

PHAM, Q. T. Extension to Plank's equation for predicting freezing times of foodstuffs of simple shapes. **International Journal of Refrigeration**, v. 7, p. 377-383, 1984.

PIZZINATTO, A. Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle. Campinas: ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997.

POUTANEN, K. Review: Enzymes: an important tool in the improvement of the quality of cereal foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 300-306, 1997.

QUEIROZ-MONICI, K. S., COSTA, G. E. A., SILVA, N., REIS, S. M. P. M., OLIVEIRA, A. C. Bifidogenic effect of dietary fiber and resistant starch from leguminous on the intestinal microbiota of rats. **Nutrition**, v. 21, p. 602-608, 2005.

RIBOTTA, P. D., LE BAIL, A. Thermo-physical and thermo-mechanical assessment of partially baked bread during chilling and freezing process: Impact of selected enzymes on crumb contraction to prevent crust flaking. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 913-921, 2007.

RIBOTTA, P. D., PÉREZ, G. T., LÉON, A. E., AÑÓN, M. C. Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance on frozen bread dough. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 305-313, 2004.

ROSELL, C. M., ROJAS, J. A., BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 75-81, 2001.

ROSIN, P. M., LAJOLO, F. M., MENEZES, E. W. Measurement and characterization of dietary starches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15, p. 367-377, 2002.

RUPÉREZ, P., BRAVO, L. Oligofructanos y gomas. In: LAJOLO, F. M., SAURACALIXTO, F., PENNA, E. W., MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica:**

tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. 1ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001. Capítulo 4, p. 61-76.

SALGADO, J. M., Saiba mais sobre alimentos funcionais. Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais. Disponível em: <<http://www.sbaif.org.br/SBAF/>>. Acesso em: 13 set. 2006.

SALMENKALLIO-MARTTILA, M., KATINA, K., AUTIO, K. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread. **Cereal Chemistry**, v. 78, p. 429-435, 2001.

SGARBIERI, V. C., PACHECO, M. T. B. Revisão: Alimentos Funcionais Fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, p. 7-19, 1999.

SI, J. Q. Synergistic effect of enzymes for breadmaking. **Cereal Foods World**, v. 42, p. 802-807, 1997.

SINDIPAN (SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO). Análise setorial do mercado de panificação: 1984-2004, 2005. Disponível em:<<http://www.sindipan.org.br/analise/perfset.htm#TOP>>. Acesso em: 03 out. 2006.

SIVARAMAKRISHNAN, H. P., SENGE, B., CHATTOPADHYAY, P. K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 37-45, 2004.

STAMPFLI, L., NERSTEN, B. Review: Emulsifiers in breadmaking. **Food Chemistry**, v. 52, p. 353-360, 1995.

TOVAR, J., BELLO-PÉREZ, L. A., DÍAS, P. O., VILLALOBOS, R. R. Almidón Resistente: Caracterización y análisis. In: LAJOLO, F. M., MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2006. Capítulo 3, p. 67-88.

VULICEVIC, I. R., ABDEL-AAL, E-S. M., MITTAL, G. S., LU, X. Quality and storage life of par-baked frozen breads. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, p. 205-213, 2004.

WASZCZYNSKYJ, N., WILLE, G. M. F. C., PROTZEK, E. C., DE FREITAS, R. J. S., PENTEADO, P. T. P. S. Tecnologia para obtenção de fibras alimentares a partir de matérias primas regionais. Experiência do Brasil. In: LAJOLO, F. M., SAURA-

CALIXTO, F., PENNA, E. W., MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud**: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. 1ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001. Capítulo 16, p. 237-243.

YAMADA, Y., HOSOYA, S., NISHIMURA, S., TANAKA, T., KAJIMOTO, Y., NISHIMURA, A., KAJIMOTO, O. Effect of bread containing resistant starch on postprandial blood glucose levels in humans. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v. 69 (3), p. 559-566, 2005.

ANEXO A – CURVAS DO REOFERMENTÓGRAFO

Curvas de desenvolvimento

Figura A.1 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM0.

Figura A.2 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM5.

Figura A.3 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM15.

Figura A.4 – Curva de desenvolvimento das amostras 1 e 2 de ARM30.

Curvas de retenção gasosa

Figura A.5 – Curva de retenção gasosa de ARM0 e réplica.

Figura A.6 – Curva de retenção gasosa de ARM5 e réplica.

Figura A.7 – Curva de retenção gasosa de ARM15 e réplica.

Figura A.8 – Curva de retenção gasosa de ARM30 e réplica.