

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

EFEITO DE MODIFICAÇÕES FOSFATADA,
INTERCRUZADA E ÁCIDA DURANTE A GELATINIZAÇÃO
POR EXTRUSÃO DA FARINHA DE ARROZ E SUA
INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

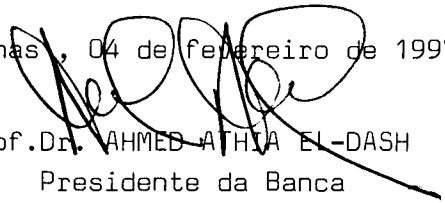
PARECER

Tese de Doutorado

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por MARIA TERESA PEDROSA SILVA CLERICI e aprovada pela Comissão Julgadora em 04.02.97.

Teresa Pedrosa Silva Clerici
Farmacêutica-Bioquímica

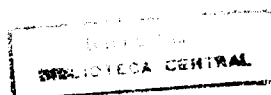
Campinas, 04 de fevereiro de 1997


Prof. Dr. AHMED ATHIA EL-DASH
Presidente da Banca

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

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

Campinas - SP
1997



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA	T/UNICAMP
	C596e
V.	Ex.
TOMBO BC	29964
PROC.	281197
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	02/05/97
N.º CPD	

CM-00099456-1

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

C596e

Clerici, Maria Teresa Pedrosa Silva

Efeito de modificações fosfatada, intercruzada e ácida durante a gelatinização por extrusão da farinha de arroz e sua influência na produção de pão sem glúten / Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici. -- Campinas, [s.n.], 1997.

Orientador: Ahmed Athia El-Dash

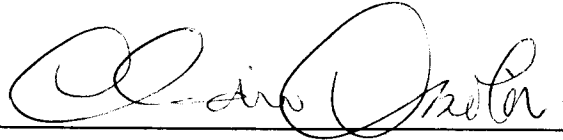
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Pão. 2.Farinha de arroz. 3.Processo de extrusão. I.El-Dash, Ahmed Athia. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.III.Título.

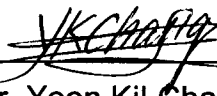
BANCA EXAMINADORA



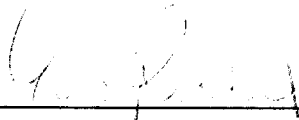
Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
(orientador)



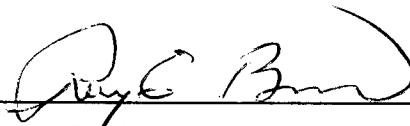
Prof. Dr. Cláudio Airoidi
(membro)



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(membro)



Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela
(membro)



Prof. Dr. Roy Edward Bruns
(membro)

Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackiy
(membro)

Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann
(membro)

Campinas, de fevereiro de 1997

A

João Hermes,

com carinho

Agradecimentos

A Deus, que é a fonte da vida.

Ao Professor Doutor Ahmed A. El-Dash, pela orientação, amizade e incentivo durante todo o trabalho.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, que possibilitou a execução deste trabalho.

À CAPES, FAPESP, FAEP-Unicamp e Universidade de Mogi das Cruzes, pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas, pela doação do arroz utilizado neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Cláudio Airoidi, pela orientação nas análises de infravermelho, RMN- P^{31} e termogravimetria.

Aos Profs. Dr. Roy E. Bruns e Dra. Maria Vitória Grossmann e ao estatístico Emerson Tegen, pela orientação nas análises estatísticas dos dados.

Ao Prof. Dr. Yoon Kil Chang, pelo grande trabalho de reestruturação do Laboratório de Tecnologia de Cereais, o que facilitou a execução da parte prática desta tese.

Aos meus pais, Deículo e Aldina, pelo grande incentivo e apoio.

Às amigas Marta Miranda e Neuzeth, pela amizade e valiosa colaboração durante a escrita da tese.

À amiga Eliana Pinheiro, pelo incentivo e colaboração durante todo o curso.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Tecnologia de Cereais, Andreia, Ana Lúcia, Cristina Ferrari, Marcelo, Luís Carlos, Normandis, Manoel, Luiza Machado e Stefan, pelo incentivo e carinho recebidos.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Tecnologia de Cereais, Nilo, Elena, José e aos estagiários Luís Antônio, Kelly e Carla, pela grande cooperação durante a execução da parte prática da tese.

A todos os amigos que, com palavras e gestos de incentivo e carinho, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE TABELAS DO ANEXO	xiv
RESUMO.....	xix
SUMMARY	xxi
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
A. PÃO	4
1. <i>Considerações sobre as principais hipóteses para formação de glúten</i>	4
2. <i>Funções do amido nos produtos de panificação</i>	7
B. PÃO SEM GLÚTEN	9
1. <i>Importância econômica</i>	9
2. <i>Importância Nutricional</i>	11
3. <i>Principais características do pão sem glúten</i>	12
4. <i>Coadjuvantes e aditivos utilizados no pão sem glúten</i>	15
C. MODIFICAÇÕES DO AMIDO VISANDO OBTER PÃO SEM GLÚTEN.....	18
1. <i>Modificação física: Farinha gelatinizada</i>	18
2. <i>Modificações químicas no amido</i>	21
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
A. MATERIAL	30
1. <i>Matéria-prima</i>	30
2. <i>Equipamentos básicos</i>	30
3. <i>Reagentes químicos</i>	31
B. MÉTODOS.....	31
1. <i>Produção de pão sem glúten a partir de farinha de arroz</i>	31
2. <i>Produção de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas e modificadas quimicamente</i>	35
3. <i>Estudo comparativo entre os melhores pães das farinhas extrusadas e modificadas quimicamente</i>	44
4. <i>Análise estatística</i>	45

A. Otimização da formulação dos pães sem glúten com as farinhas pré-gelatinizadas e modificadas quimicamente	45
B. Análises das características das farinhas modificadas e respectivos pães.....	45
C. Avaliação da qualidade e estudos do envelhecimento dos pães	47
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
A. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DE FARINHA DE ARROZ	48
1. Caracterização da farinha de arroz.....	48
2. Características tecnológicas do pão sem glúten obtido com a farinha de arroz	54
B. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA POR EXTRUSÃO	55
1. Otimização da obtenção de farinha pré-gelatinizada para produção de pão sem glúten.....	55
2. Caracterização tecnológica das farinhas de arroz pré-gelatinizadas	58
3. Características tecnológicas do pão sem glúten obtido com farinha de arroz pré-gelatinizada	70
C. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA E FOSFATADA POR EXTRUSÃO	83
1. Otimização da produção de farinha pré-gelatinizada fosfatada por extrusão para obtenção de pão sem glúten	83
2. Caracterização tecnológica das farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas	86
3. Características tecnológicas do pão sem glúten obtidos com FPG fosfatadas.	93
4. Caracterização da farinha de arroz pré-gelatinizada fosfatada - 108°C-2,5g/100g	102
D. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA.....	107
1. Otimização da produção de FPG inter cruzada por extrusão para obtenção de pão sem glúten	107
2. Caracterização tecnológica das farinhas pré-gelatinizadas inter cruzadas de arroz	109
3. Características tecnológicas do pão sem glúten obtidos com FPG inter cruzadas de arroz.....	117
4. Caracterização da FPG inter cruzada (180°C-0,09ml/100g)	124
E. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA DE ARROZ	128
1. Otimização da produção de FPG ácida para obtenção de pão sem glúten	128
2. Caracterização tecnológica das farinhas pré-gelatinizadas ácidas.....	131
3. Características tecnológicas dos pães sem glúten obtidos com as FPG ácidas	138
4. Caracterização da FPG ácida (150°C-0,5M)	146
F. ESTUDOS COMPARATIVOS DE PÃES OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MODIFICADAS QUIMICAMENTE.....	148

1. Avaliação da qualidade dos pães sem glúten	148
2. Teste de envelhecimento dos pães sem glúten	154
V. CONCLUSÕES	158
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
ANEXO	169

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Unidades de proteína com ligações dissulfeto intermoleculares como pontes entre camadas ou cadeias de glúten	6
FIGURA 2. Representação esquemática das ligações de hidrogênio intermoleculares de moléculas de amilose formando filmes ou fitas capazes de reter gases e água -	6
FIGURA 3. Um segmento de amilose e uma rede de amilopectina sob tensão e relaxamento mostrando a capacidade para extensão e elasticidade.....	7
FIGURA 4. Formação de amidos fosfatados	25
FIGURA 5. Modelo da forma utilizada para a produção de pão sem glúten	34
FIGURA 6. Esquema do sistema CIE-Lab para cores.....	40
FIGURA 7. Espectro de IV da farinha de arroz crua	50
FIGURA 8. Espectro de RMN- P^{31} da farinha de arroz crua.....	52
FIGURA 9. Curva termogravimétrica da farinha de arroz crua	53
FIGURA 10. Fotografia mostrando pães sem glúten obtidos com 100% de farinha de arroz crua	54
FIGURA 11. Caminho de ascendência máxima para otimização das condições operacionais de extrusão da farinha de arroz visando obter pães sem glúten	56
FIGURA 12 . Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre a viscosidade inicial (VI) das farinhas pré-gelatinizadas.....	60
FIGURA 13 . Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre a viscosidade máxima a 95°C (V95) das farinhas pré-gelatinizadas.....	61
FIGURA 14 . Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre a viscosidade a 50°C (V50) das farinhas pré-gelatinizadas	62
FIGURA 15. Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre o índice de absorção de água (IAA) das farinhas pré-gelatinizadas	64
FIGURA 16 . Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre o torque durante o processo de extrusão	66
FIGURA 17. Fotografia mostrando o efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre a expansão dos extrusados	67
FIGURA 18. Efeito da temperatura de extrusão e umidade da farinha de arroz sobre o índice de expansão dos extrusados.....	68
FIGURA 19. Análise de Componentes Principais (CP1 e CP2) das características tecnológicas dos extrusados e suas respectivas farinhas	69
FIGURA 20. Volume específico de pães sem glúten obtidos com diferentes farinhas pré-gelatinizadas.....	72
FIGURA 21. Valor a^* do miolo de pães sem glúten obtidos com diferentes farinhas pré-gelatinizadas.....	75

FIGURA 22. Coesividade de pães sem glúten obtidos com diferentes farinhas pré-gelatinizadas.....	78
FIGURA 23. Análise de componentes principais (CP1 e CP2) das características dos pães sem glúten obtidos com as farinhas pré-gelatinizadas.....	79
FIGURA 24. Fotografia do pão sem glúten obtido com farinha pré-gelatinizada de arroz (180°C-20% de umidade).....	82
FIGURA 25. Caminho de ascendência máxima para otimização das variáveis de processamento visando obter farinha pré-gelatinizada fosfatada para produção de pão sem glúten.	85
FIGURA 26. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de TPS sobre o índice de absorção de água (IAA) das farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas	89
FIGURA 27. Fotografia mostrando o efeito da temperatura de extrusão e concentração de TPS sobre a expansão dos extrusados fosfatados de arroz	90
FIGURA 28. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de TPS sobre o índice de expansão (IE) dos extrusados fosfatados de arroz	91
FIGURA 29. Análise de componentes principais (CP1 e CP2) mostrando o efeito da temperatura de extrusão e concentração de TPS sobre as características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas de arroz.....	92
FIGURA 30. Valor L* do miolo de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas.....	95
FIGURA 31. Valor a* do miolo de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas.....	96
FIGURA 32. Elasticidade de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas.....	98
FIGURA 33. Análise de componentes principais (cp1 e cp2) das características de pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas de arroz	99
FIGURA 34. Fotografia do pão sem glúten obtido com farinha pré-gelatinizada fosfatada (108°C-2,5g/100g)	101
FIGURA 35. Espectro de infravermelho da farinha pré-gelatinizada fosfatada	103
FIGURA 36. RMN-P ³¹ da farinha pré-gelatinizada fosfatada.....	104
FIGURA 37. Curva termogravimétrica da farinha pré-gelatinizada fosfatada.....	105
FIGURA 38. Possíveis ligações de fosfato no amido de arroz	106
FIGURA 39. Caminho de ascendência máxima para otimização das condições operacionais de obtenção da farinha pré-gelatinizada intercruzada visando obter pães sem glúten	108
FIGURA 40. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de POCl ₃ sobre a viscosidade a 95°C (V95) das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas	111
FIGURA 41. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de POCl ₃ sobre a viscosidade final a 50°C das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas	112
FIGURA 42. Fotografia mostrando o efeito da temperatura de extrusão e concentração de POCl ₃ sobre a expansão dos extrusados intercruzados.....	114

FIGURA 43. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de POCl_3 sobre o índice de expansão (IE) dos extrusados inter cruzados de arroz	115
FIGURA 44. Análise de componentes principais (CP1 e CP2) das características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas inter cruzadas	116
FIGURA 45. Análise de componentes principais (CP1 e CP2) das FPG inter cruzadas sobre as características do pão sem glúten	121
FIGURA 46. Fotografia do pão sem glúten obtido com FPG inter cruzada (180°C - $0,09\text{ml}/100\text{g}$).....	123
FIGURA 47. Espectro de infravermelho da farinha de arroz pré-gelatinizada inter cruzada	125
FIGURA 48. RMN- P^{31} da farinha de arroz pré-gelatinizada inter cruzada	126
FIGURA 49. Curvas termogravimétricas da farinha de arroz pré-gelatinizada inter cruzada	127
FIGURA 50. Caminho de ascendência máxima para otimização das condições de obtenção da farinha pré-gelatinizada ácida visando obter pães sem glúten.....	129
FIGURA 51. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de ácido sobre a viscosidade inicial (VI) das farinhas de arroz pré-gelatinizadas ácidas	132
FIGURA 52. Fotografia mostrando o efeito da temperatura de extrusão e concentração de ácido sobre a expansão dos extrusados ácidos de arroz	135
FIGURA 53. Efeito da temperatura de extrusão e concentração de ácido sobre o índice de expansão (IE) dos extrusados ácidos de arroz	136
FIGURA 54. Análise de componentes principais (CP1 e CP2) das características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas ácidas	137
FIGURA 55. Valor L^* do miolo de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas ácidas.....	140
FIGURA 56. Análise de componentes principais das características tecnológicas de pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	143
FIGURA 57. Fotografia do pão sem glúten obtido com farinha pré-gelatinizada ácida de arroz (150°C - $0,5\text{M}$)	145
FIGURA 58. Espectro de infravermelho da farinha pré-gelatinizada ácida (150°C - $0,5\text{M}$)...	147
FIGURA 59a. Fotografia mostrando os pães sem glúten obtidos com FPG e FPGfosfatada	150
FIGURA 59b. Fotografia mostrando os pães sem glúten obtidos com FPGinter cruzada e FPGácida	151
FIGURA 60. Fotografia mostrando os pães sem glúten obtidos com as FPG, FPGfosfatadas, FPGinter cruzada e FPGácida	153
FIGURA 61. Análise do perfil de textura de pães sem glúten obtidos com as FPG, FPG fosfatada, FPG inter-cruzada e FPG ácida.....	156

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Níveis sugeridos para misturas compostas de farinhas de trigo e outras na formulação do pão	10
TABELA 2. Formulações de alguns pães sem glúten, encontradas na literatura	14
TABELA 3. Amidos modificados: tipos, características e reagentes principais.....	22
TABELA 4. Formulação do pão sem glúten.....	34
TABELA 5. Delineamento estatístico linear para obtenção da farinha pré-gelatinizada de arroz	36
TABELA 6. Delineamento composto rotacional para duas variáveis e três níveis de variação	38
TABELA 7. Delineamento estatístico para obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada fosfatada.....	42
TABELA 8. Delineamento estatístico para obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada intercruzada.....	43
TABELA 9. Delineamento linear para obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada ácida.	44
TABELA 10. Classificação granulométrica da farinha de arroz	48
TABELA 11. Composição centesimal da farinha de arroz.....	49
TABELA 12. Bandas químicas para compostos de referência para RMN-P ³¹	52
TABELA 13. Volume específico dos pães com as diferentes farinhas de arroz pré- gelatinizadas.....	55
TABELA 14. Pontos do caminho de ascendência máxima para a equação de regressão do volume específico de pães sem glúten com diferentes farinhas pré-gelatinizadas de arroz	57
TABELA 15. Delineamento estatístico composto rotacional para obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada	57
TABELA 16. Propriedades viscoamilográficas das farinhas de arroz pré-gelatinizadas à concentração de 15%	59
TABELA 17. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas de arroz pré-gelatinizadas a diferentes temperaturas e umidades.....	63
TABELA 18. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade da matéria-prima no torque e no índice de expansão (IE) dos extrusados de farinha de arroz.....	64
TABELA 19. Volume específico de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré- gelatinizadas a diferentes temperaturas e umidades.....	71
TABELA 20. Resultados das análises de cor da crosta e do miolo de pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas (FPG)	73
TABELA 21. Análise do perfil de textura após 1 hora de resfriamento dos pães sem glúten obtidos com as diferentes farinhas de arroz pré-gelatinizadas (FPG)	76

TABELA 22. Volume específico dos pães obtidos com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	84
TABELA 23. Pontos do caminho de ascendência máxima para a equação de regressão do volume específico de pães sem glúten obtidos com diferentes farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	85
TABELA 24. Delineamento estatístico composto rotacional para obtenção da farinha pré-gelatinizada fosfatada de arroz	85
TABELA 25. Propriedades viscoamilográficas das farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas (FPG fosfatada) à concentração de 15%	87
TABELA 26. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas	87
TABELA 27. Efeito da temperatura de extrusão e da concentração de TPS no torque e no índice de expansão (IE) dos extrusados fosfatados de farinha de arroz	89
TABELA 28. Volumes específicos dos pães sem glúten obtidos com farinhas de arroz pré-gelatinizadas fosfatadas.....	94
TABELA 29. Resultados das análises de cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas	94
TABELA 30. Análise do perfil de textura dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	97
TABELA 31. Volume específico dos pães obtidos com as diferentes FPG intercruzadas de arroz	107
TABELA 32. Pontos do caminho de ascendência máxima para a equação de regressão do volume específico de pães sem glúten com diferentes FPG intercruzadas.	109
TABELA 33. Delineamento estatístico composto rotacional para obtenção da farinha pré-gelatinizada intercruzada de arroz	109
TABELA 34. Propriedades viscoamilográficas das FPG intercruzadas de arroz à concentração de 15%	110
TABELA 35. Índice de absorção de água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA) das FPG intercruzadas de arroz	112
TABELA 36. Efeito da temperatura de extrusão e da concentração de POCl_3 no torque e no índice de expansão (IE) dos extrusados intercruzados de farinha de arroz.....	114
TABELA 37. Volume específico de pães sem glúten obtidos com FPG intercruzadas de arroz	117
TABELA 38. Resultados das análises de cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten obtidos com FPG intercruzada de arroz	119
TABELA 39. Análise do perfil de textura após 1 hora dos pães sem glúten obtidos com as diferentes FPG intercruzadas de arroz.....	119
TABELA 40. Volume específico dos pães com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas ácidas (FPG ácida)	129
TABELA 41. Pontos do caminho de ascendência máxima para a equação de regressão do volume específico de pães sem glúten com diferentes FPG ácidas.	130

TABELA 42. Delineamento estatístico composto rotacional para obtenção das FPG ácidas de arroz	130
TABELA 43. Propriedades viscoamilográficas das farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz à concentração de 15%.....	131
TABELA 44. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas pré-gelatinizadas ácidas	133
TABELA 45. Efeito da temperatura de extrusão e da concentração de ácido no torque e no índice de expansão (IE) dos extrusados ácidos de arroz	134
TABELA 46. Volume específico dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	138
TABELA 47. Resultados das análises de cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas ácidas	139
TABELA 48. Análise do perfil de textura dos pães sem glúten obtidos com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	141
TABELA 49. Avaliação da qualidade de pães com FPG, FPG fosfatada, FPG intercruzada e FPG ácida	149
TABELA 50. Perfil de análise de textura de pães sem glúten durante armazenamento por 72 horas	155

LISTA DE TABELAS DO ANEXO

TABELA 1A. Análise de variância para volume específico de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	170
TABELA 2A. Análise de variância para viscosidade inicial (VI) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz	171
TABELA 3A . Análise de variância visc. máx. à 95°C (V95) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz	172
TABELA 4A. Análise de variância para visc. final (V5O) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz	173
TABELA 5A. Análise de variância do Índice de Absorção de Água (IAA) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	174
TABELA 6A. Análise de variância do Índice de Solubilidade em Água (ISA) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz	175
TABELA 7A. Análise de variância para o torque de extrusados de farinha de arroz.....	176
TABELA 8A. Análise de variância para o índice de expansão (IE) de extrusados de farinha de arroz	177
TABELA 9A. Análise de variância para volume específico (vol. esp.) de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz (Modelo quadrático).....	178
TABELA 10A. Análise de variância do valor L* da crosta de pães com farinhas pré-gelatinizadas de arroz	179
TABELA 11A. Análise de variância do valor a* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	180
TABELA 12A. Análise de variância para valor b* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	181
TABELA 13A. Análise de variância para valor L* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	182
TABELA 14A. Análise de variância do valor a* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	183
TABELA 15A. Análise de variância para valor b* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	184
TABELA 16A. Análise de variância da textura: elasticidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	185
TABELA 17A. Análise de variância para textura: gomosidade de pães sem glúten de farinhas pré-gelatinizadas de arroz.....	186
TABELA 18A. Análise de variância da textura: fraturabilidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz	187

TABELA 19A. Análise de variância da textura: coesividade de pães com farinhas pré-gelatinizadas de arroz	188
TABELA 20A. Análise de variância da textura: dureza de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas de arroz.	189
TABELA 21A. Análise de variância da textura: mastigabilidade de pães com farinhas pré-gelatinizadas de arroz	190
TABELA 22A. Análise de variância para volume específico de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas de arroz (Modelo linear)	191
TABELA 23A. Análise de variância para viscosidade inicial (VI) para farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	192
TABELA 24A. Análise de variância para viscosidade máxima à 95°C (V95) para farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas	193
TABELA 25A. Análise de variância para viscosidade final (V50) para farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	194
TABELA 26A. Análise de variância do Índice de Absorção em Água (IAA) para farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	195
TABELA 27A. Análise de variância do Índice de Solubilidade em Água (ISA) para farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas	196
TABELA 28A. Análise de variância do torque de extrusados fosfatados de farinha de arroz	197
TABELA 29A. Análise de variância para Índice de Expansão de extrusados fosfatados de farinha de arroz.....	198
TABELA 30A. Análise de variância do volume específico (Vol. Esp.) de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas	199
TABELA 31A. Análise de variância do valor L* da crosta de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	200
TABELA 32A. Análise de variância do valor a* da crosta de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	201
TABELA 33A. Análise de variância do valor b* da crosta de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	202
TABELA 34A. Análise de variância do valor L* do miolo de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	203
TABELA 35A. Análise de variância do valor a* do miolo de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	204
TABELA 36A. Análise de variância do valor b* do miolo de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	205
TABELA 37A. Análise de variância para textura: elasticidade de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	206
TABELA 38A. Análise de variância para textura: gomosidade de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	207

TABELA 39A. Análise de variância para textura: fraturabilidade de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	208
TABELA 40A. Análise de variância para textura: coesividade de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	209
TABELA 41A. Análise de variância para textura: dureza de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	210
TABELA 42A. Análise de variância para textura: mastigabilidade de pães com farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas.....	211
TABELA 43A. Análise de variância para volume específico de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz (Modelo linear).....	212
TABELA 44A. Análise de variância para viscosidade inicial (VI) das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	213
TABELA 45A. Análise de variância para viscosidade máxima à 95°C (V95) das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	214
TABELA 46A. Análise de variância para viscosidade final (V50) das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	215
TABELA 47A. Análise de variância para Índice de Absorção em Água (IAA) das farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	216
TABELA 48A. Análise de variância para Índice de Solubilidade em Água (ISA) das farinhas pré-gelatinizadas Intercruzadas de arroz.....	217
TABELA 49A. Análise de variância para torque dos extrusados intercruzados de farinha de arroz.....	218
TABELA 50A. Análise de variância para índice de expansão (IE) dos extrusados intercruzados de farinha de arroz.....	219
TABELA 51A. Análise de variância para Volume Específico (Vol. Esp.) de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz (Delineamento quadrático)...	220
TABELA 52A. Análise de variância para valor L* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	221
TABELA 53A. Análise de variância para valor a* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	222
TABELA 54A. Análise de variância para valor b* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	223
TABELA 55A. Análise de variância para valor L* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	224
TABELA 56A. Análise de variância para valor a* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	225
TABELA 57A. Análise de variância para valor b* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	226
TABELA 58A. Análise de variância para textura: elasticidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	227

TABELA 59A. Análise de variância para textura: gomosidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	228
TABELA 60A. Análise de variância para textura: fraturabilidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	229
TABELA 61A. Análise de variância para textura: coesividade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	230
TABELA 62A. Análise de variância para textura: dureza de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	231
TABELA 63A. Análise de variância para textura: mastigabilidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas de arroz.....	232
TABELA 64A. Análise de variância para volume específico de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz (Modelo linear)	233
TABELA 65A. Análise de variância para viscosidade inicial (VI) de farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	234
TABELA 66A. Análise de variância para viscosidade máxima à 95°C (V95) de farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	235
TABELA 67A. Análise de variância para viscosidade final (V50) de farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	236
TABELA 68A. Análise de variância para Índice de Absorção de Água (IAA) de farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	237
TABELA 69A. Análise de variância para Índice de Solubilidade em Água (ISA) de farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	238
TABELA 70A. Análise de variância para torque de extrusados ácidos de farinha de arroz	239
TABELA 71A. Análise de variância para Índice de Expansão (IE) de extrusados ácidos de farinha de arroz.....	240
TABELA 72A. Análise de variância para volume específico (Vol.Esp.) de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz (Modelo quadrático).....	241
TABELA 73A. Análise de variância para valor L* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	242
TABELA 74A. Análise de variância para valor a* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	243
TABELA 75A. Análise de variância para valor b* da crosta de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	244
TABELA 76A. Análise de variância para valor L* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	245
TABELA 77A. Análise de variância para valor a* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	246
TABELA 78A. Análise de variância para valor b* do miolo de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	247

TABELA 79A. Análise de variância para textura: elasticidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	248
TABELA 80A. Análise de variância para textura: gomosidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	249
TABELA 81A. Análise de variância para textura: fraturabilidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	250
TABELA 82A. Análise de variância para textura: coesividade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	251
TABELA 83A . Análise de variância para textura: dureza de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz.....	252
TABELA 84A. Análise de variância para textura: mastigabilidade de pães sem glúten com farinhas pré-gelatinizadas ácidas de arroz	253

RESUMO

As propriedades viscoelásticas das proteínas do trigo são únicas e essenciais para a produção de pão. Recentemente foi proposto um modelo para a rede de glúten do trigo baseada em pontes dissulfeto intermoleculares, que através de ligações entre camadas, formadas por ligações secundárias, criam uma rede tridimensional. Analogamente, foi sugerido que o amido gelatinizado pode ser capaz de produzir uma rede tridimensional (formada por ligações de hidrogênio) tendo propriedades viscoelásticas suficientes para reter gases produzidos durante a fermentação do pão. Portanto, torná-se possível obter produtos similares ao pão, utilizando-se farinhas amiláceas. Este fato é de grande importância para os países em desenvolvimento que produzem outros cereais (que não o trigo), tubérculos e raízes. Uma possível alternativa para fortalecer a rede tridimensional do amido é criar ligações covalentes sintéticas ou aumentar as ligações secundárias (ligações de hidrogênio, forças de van der Waals) através de modificações químicas.

O objetivo deste trabalho foi aumentar e/ou fortalecer as ligações de hidrogênio do amido através do processo de extrusão e de modificações químicas (por tripolfosfato de sódio, oxicleto de fósforo e ácido láctico) da farinha de arroz para produzir farinha pré-gelatinizada de arroz (FPG), FPG fosfatada, FPG intercruzada e FPG ácida, que foram usadas na proporção de 10% (com base na farinha de arroz) na produção de pão sem glúten. A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para a otimização da produção de pão sem glúten com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas. Primeiramente, as características instrumentais (volume, cor da crosta e do miolo e textura) foram usadas para escolher o melhor pão de cada tipo de modificação e depois os pães foram avaliados organolepticamente e comparados. O envelhecimento dos pães durante 72 horas foi analisado através das características de textura.

Os pães sem glúten produzidos com FPG apresentaram melhor volume, características de crosta e de miolo que o pão sem glúten feito somente com farinha de arroz crua (volume específico de 1,2 ml/g), que mostrou-se inadequado para produção e consumo. A FPG (180°C- 20% de umidade) mostrou-se adequada para a produção de pão sem glúten. Nessas condições o pão apresentou coloração de crosta e de miolo próximas à do pão de trigo e volume específico de 2,35ml/g, que indicou que houve retenção de gás durante a produção do pão. Os maiores problemas do pão foram crosta com rachaduras, miolo com células heterogêneas e baixo volume.

Entre as FPG fosfatadas, a que apresentou os melhores resultados para a produção de pão sem glúten foi produzida à temperatura de extrusão de 108°C, 2,5g de TPS/100g e 20% de umidade. Possivelmente, ocorreu fosfatação nos carbonos 1 e/ou 4 da molécula de amido. Os pães produzidos com esta farinha apresentaram crosta sem rachaduras, miolo homogêneo e com textura adequada durante o armazenamento, melhor coloração de crosta e de miolo, sendo considerados superiores aos pães com FPG, porém ainda com baixo volume específico (1,89ml/g).

Entre as FPG intercruzadas, a processada a uma temperatura de extrusão de 180°C, 0,09ml/100g de oxicleto de fósforo e 20% de umidade (com possíveis ligações fosfato nos carbonos 1 e/ou 4) foi a que apresentou os melhores resultados na produção de pães. Os pães obtidos com esta farinha apresentaram características de qualidade semelhantes ao pão com FPG fosfatada, porém apresentaram um perfil de textura inadequado durante o armazenamento.

A otimização do processo da modificação por ácido láctico simultaneamente com o processo de extrusão levou à seleção de uma FPG ácida processada nas condições de 150°C, 0,5M de ácido láctico e 20% de umidade. Essa farinha produziu pães (volume específico de 2,02ml/g) que apresentaram, de modo geral, as melhores características de qualidade em comparação com os outros pães, o miolo apresentou textura adequada durante o maior tempo de armazenamento e com comportamento semelhante ao pão com FPG fosfatada.

Neste trabalho, os pães sem glúten obtidos com as diferentes FPG modificadas quimicamente apresentaram coloração de crosta e de miolo, características de crosta e textura de miolo próximas ao pão de trigo. Apesar de apresentarem um volume baixo, novos estudos podem ser feitos visando melhorar esta qualidade.

Concluindo, a qualidade do pão sem glúten ainda não é semelhante à do pão de trigo. Algumas considerações sobre a real qualidade do pão de trigo, atualmente consumido, devem ser feitas, ou seja, anos de pesquisa, financiamentos maciços bancados pelos países exportadores de trigo e companhias privadas, alta produtividade e propaganda aumentaram rapidamente o consumo e a qualidade do pão no mundo inteiro. Este trabalho mostrou que é possível melhorar a qualidade do pão sem glúten, através de modificações da rede polissacarídica, produzindo pães com boas propriedades tecnológicas. Os resultados obtidos são promissores e podem reverter em benefício para as pessoas alérgicas às proteínas do trigo e para países que não produzem trigo, mas necessitam importá-lo para produzir pão.

SUMMARY

Viscoelastic properties of wheat proteins are unique and essential for bread production. Recently a model was proposed for wheat gluten based on intermolecular disulfide bonds providing bridging between layers formed by secondary bonding, creating a three-dimensional lattice network. Analogously gelatinized starch would be able to produce a three-dimensional network (joined only by hydrogen bonding) having viscoelastic properties sufficient for sustaining gas produced during bread fermentation. Therefore it should be possible to produce products similar to bread from non-wheat starchy flours. This would be of great importance for developing countries where non-wheat cereals or roots are available. A possible alternative to increase the three-dimensional starch network are creation of synthetic covalent bounds or increases in secondary bonds through chemical modifications.

The objectives of this study were to increased and/or reinforce the hydrogen bonds in starch through an extrusion process and chemical modifications (by sodium tripolyphosphate, phosphorus oxychloride and lactic acid) of rice flour to produce extruded rice flour, extruded phosphated rice flour, extruded cross-linked rice flour and extruded acid-modified rice flour, that were used at the level of 10% (rice flour base) in wheatless bread production. The response surface methodology was used for optimization of wheatless bread production with different extruded rice flours. Initially instrumentals characteristics (volume, crust and crumb color and texture) were used to choose the best bread of each type of modification, after which the breads were analyzed organoleptic and compared. The shelf-life of breads during 72 hours was analyzed for texture characteristics.

When wheatless bread was made with extruded rice flour (2.35 ml/g specific volume), it has better quality characteristics than that made with only rice flour (1.2 ml/g specific volume), that was inappropriate for consumption and production. Extruded rice flour at high temperature (180°C) and low moisture (20%) was found to be best suitable for wheatless bread making. Under these conditions the bread had a similar color to that of conventional wheat bread and its volume, showed capability gas this retention during bread production, but was not yet ideal. The problems of wheatless bread were: cracky crust, crumb with heterogeneous cells, poor texture and low volume.

The extruded phosphated rice flour that resulted in the best wheatless bread was produced at a temperature of extrusion of 108°C, 2.5g/100g of sodium tripolyphosphate and 20% moisture. Possibly, with phosphorylation on C1 and/or C4 of anhydroglucose units of starch. Wheatless bread had ideal crust characteristics, crust and crumb color and texture properties, that was better than wheatless bread with extruded rice flour, but the specific volume (1.89ml/g) was not yet improved.

The use of the extruded cross-linked rice flour processed at an extrusion temperature of 180°C with 0.09 ml/100g of phosphorus oxychloride and 20% moisture, possibly, with phosphorylation on C1 and C4 of anhydroglucose units of starch, in wheatless bread production produced the best results. The wheatless bread had characteristics similar to the bread made with extruded phosphated rice flour, but texture properties during storage were inadequate.

The extruded acid-modified rice flour, that gave the best wheatless bread was processed at extrusion temperature of 150°C with 0.5M of lactic acid and 20% moisture. The wheatless bread was better than the other breads with another extruded chemical modified rice flours and its specific volume was 2.02 ml/g.

In conclusion, the quality of the wheatless bread is not yet equal to wheat bread, but considerations about the real quality of bread consumed should be made. In other words, many years of research, massive financing by exporting countries of wheat and private companies, big marketing, increased rapidly the bread consumption around the world. Therefore, there is no doubt that the door is open to the world for improvement of the polysaccharide network structure, that results in wheatless products with good technological properties. This is an advantage for people allergic to wheat proteins (celiac disease) and for countries, that produce non-wheat flour, but import wheat for bread production.

I. INTRODUÇÃO

O pão de trigo é um dos alimentos mais consumidos no mundo e, na maioria dos países, supre grande parte das necessidades calóricas da população.

No entanto, a produção de trigo de boa qualidade para panificação disponível para exportação, está limitada a poucos países: Estados Unidos, Canadá, Austrália, Argentina e França (POMERANZ, 1987), criando uma forte dependência econômica dos demais países, principalmente os em desenvolvimento, em relação a estes.

O estímulo dado pelos países produtores e exportadores de trigo para o consumo de pão em países em desenvolvimento resultou na mudança do hábito alimentar da população e, como consequência, acarretou um impacto negativo na economia destes países, pois levou ao fechamento de diversas indústrias de processamento de farinhas nativas (como milho, mandioca etc), uma vez que diminuiu o consumo destas matérias-primas.

Para resolver este problema, muitas alternativas têm sido testadas: desenvolvimento de espécies de trigo, que se adaptem ao solo e ao clima do país em questão, programas de substituição da farinha de trigo por porcentagens de farinhas nativas nos produtos de panificação e o desenvolvimento de produtos com 100% de farinhas nativas, que sejam semelhantes ao pão.

Muitos empecilhos dificultam a implementação destas alternativas. No primeiro caso, as pesquisas genéticas para desenvolvimento de novas variedades de trigo enfrentam muitas dificuldades de ordem técnica e financeira, uma vez que são pesquisas de longo prazo e exigem pesquisadores com alto grau de especialização.

As farinhas compostas já foram extensivamente estudadas na panificação, porém o seu uso não chegou a causar um impacto econômico significativo nos países importadores de trigo.

Já o desenvolvimento de pães com 100% de farinhas nativas tem sido pouco estudado, devido às grandes dificuldades ocorridas para se substituir a rede de glúten (característica única da farinha de trigo) e formar um pão com estrutura capaz de reter gases e de ter qualidades apreciadas pelo consumidor. Isto se deve ao fato de que, até 1990, as teorias de formação do glúten se baseavam na formação de pontes dissulfeto inter e intramoleculares, como responsáveis pela retenção de gás durante a fermentação e cozimento do pão, sendo que são raras as proteínas que têm estas ligações e que podem apresentar qualidades tecnológicas próximas às do glúten da farinha de trigo.

Em 1991, foi publicada uma teoria de formação do glúten que ressaltou o papel fundamental das ligações secundárias (ligações de hidrogênio e forças de van der Waals para formação do glúten). Estas ligações secundárias são encontradas em todos os amidos, que são abundantes na natureza pois são fornecidos por cereais, raízes e tubérculos, que apresentam as vantagens de poderem ser cultivados em solos e climas variados. Portanto, torna-se possível visualizar a produção de pão, utilizando-se o amido como substituto do glúten.

Um dos benefícios da produção de pão sem glúten pode ser o maior aproveitamento de farinhas de cereais ou tubérculos próprios de cada região, levando a um aumento da produção destas. Estes produtos poderiam ser consumidos como fonte de energia pela população e também seriam utilizados pelas pessoas que possuem a doença celíaca, que se caracteriza por uma reação alérgica às proteínas do trigo, centeio, cevada e aveia.

Para aumentar as ligações secundárias em pães sem glúten, pode-se utilizar amido pré-gelatinizado. Uma das possíveis alternativas para favorecer a formação da rede tridimensional de amido, além da gelatinização, seria promover modificações químicas, para que elas fortaleçam as ligações entre amidos, através da criação de pontes com características de ligações covalentes ou do aumento de ligações iônicas e de hidrogênio.

Portanto, este trabalho visou estudar a substituição da rede do glúten na produção de pães, através:

- da criação de uma rede tridimensional com farinha pré-gelatinizada de arroz via extrusão, que fosse capaz de reter gases e de se expandir, e
- de modificações químicas da rede tridimensional formada pela farinha pré-gelatinizada de arroz, visando criar e/ou aumentar as ligações iônicas, covalentes e de hidrogênio.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. PÃO

O pão consiste predominantemente de proteínas, amido e água na razão aproximada de 1:6:5, respectivamente (WILHOFT citado por POMERANZ, 1983). O mecanismo da rápida formação de massa viscoelástica quando a farinha de trigo é misturada com água, está relacionado com as proteínas formadoras de glúten, sendo que muitas hipóteses têm sido publicadas visando explicar este mecanismo.

1. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PRINCIPAIS HIPÓTESES PARA FORMAÇÃO DE GLÚTEN

A primeira hipótese, de BECKWITH *et al.* (1965) e BECKWITH & WALL (1966), se baseia no fato de que sub-unidades de proteínas se ligam através de pontes dissulfeto intra e intermoleculares durante a formação da massa, para formar uma fase contínua e coerente. Essa teoria foi demonstrada ser correta quando o solvente usado era a água, mas com solvente orgânico ela não é verdadeira. Logo, se a teoria é baseada em pontes dissulfeto, o uso de solvente orgânico não deveria interferir. Sabe-se também que a formação da ligação dissulfeto demora muito e não seria possível no tempo de mistura da massa.

A segunda hipótese, de GREENWOOD & EWART (1975), conhecida como hipótese da concatenação biossintetizada de sulfidrilas-dissulfeto, afirma que a glutenina é o único constituinte das proteínas da farinha de trigo que exhibe propriedades viscoelásticas significativas, e que são inerentes à farinha, ou seja, elas já existem no grão de trigo.

A terceira hipótese, de KASARDA *et al.* (1976), é baseada na formação de agregados microfibrilares de gliadina e de outras proteínas do endosperma. Esta agregação é completamente reversível e envolve somente forças secundárias (ligações de hidrogênio, iônicas e forças de van der

Walls) sem participação de interações covalentes durante a mistura contínua da massa. As microfibrilas interagem e formam macrofibrilas, que são orientadas pela energia da mistura para formar a estrutura tipo gel tridimensional que prende grande quantidade de água.

KASARDA *et al.* (1976) afirmaram que os grupos sulfidrilas e as pontes dissulfeto têm um papel importante na determinação das características viscoelásticas da massa, mas eles admitiram que há detalhes neste mecanismo que não estão bem esclarecidos.

A quarta hipótese, desenvolvida por EL-DASH (1991), é baseada em dois elementos: presença de forças secundárias de agregação responsáveis pela formação de cadeias e camadas na massa e a existência de pontes dissulfetos intermoleculares. As pontes dissulfetos, de algumas dessas moléculas conectadas, separam cadeias e melhora a ligação entre as duas camadas, criando uma rede tridimensional de unidades protéicas capaz de emaranhar e reter grande quantidade de água. A formação da rede tridimensional não requer a oxidação de grupos sulfidrilas para criar novas pontes dissulfeto, uma vez que estas ligações já se encontram presentes durante o processo de mistura. A formação da massa é, portanto, rápida por causa somente das ligações secundárias envolvidas. A visualização desta teoria está na FIGURA 1.

Baseando-se no papel das forças das ligações secundárias na estrutura do glúten, o mesmo autor (EL-DASH, 1991) visualizou uma rede tridimensional de amido baseada somente em ligações de hidrogênio, como sendo capaz de substituir a rede de glúten com as mesmas propriedades tecnológicas, ou seja, com propriedades viscoelásticas suficientes para segurar o gás produzido durante a fermentação do pão e elasticidade similar a do macarrão. As FIGURAS 2 e 3 mostram a representação esquemática desta nova teoria.

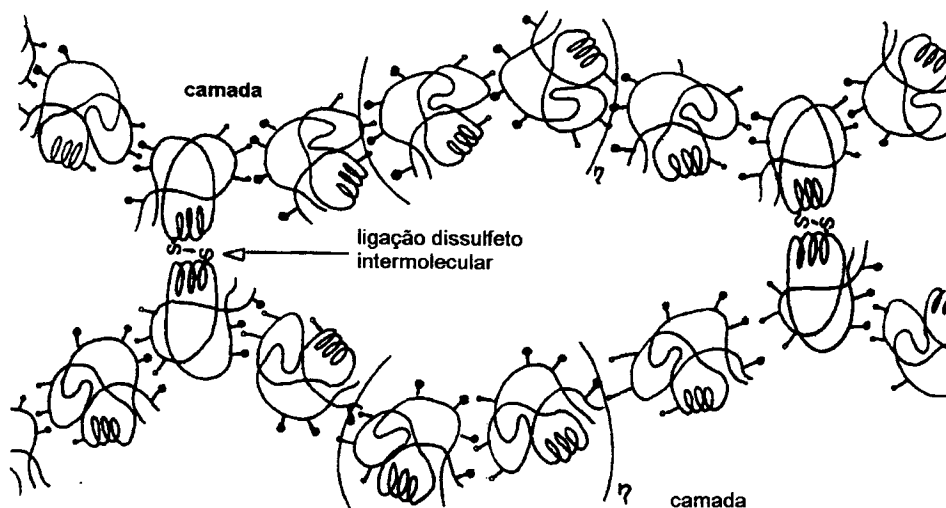


FIGURA 1. UNIDADES DE PROTEÍNA COM LIGAÇÕES DISSULFETO INTERMOLECULARES COMO PONTES ENTRE CAMADAS OU CADEIAS DE GLÚTEN (EL-DASH, 1991)

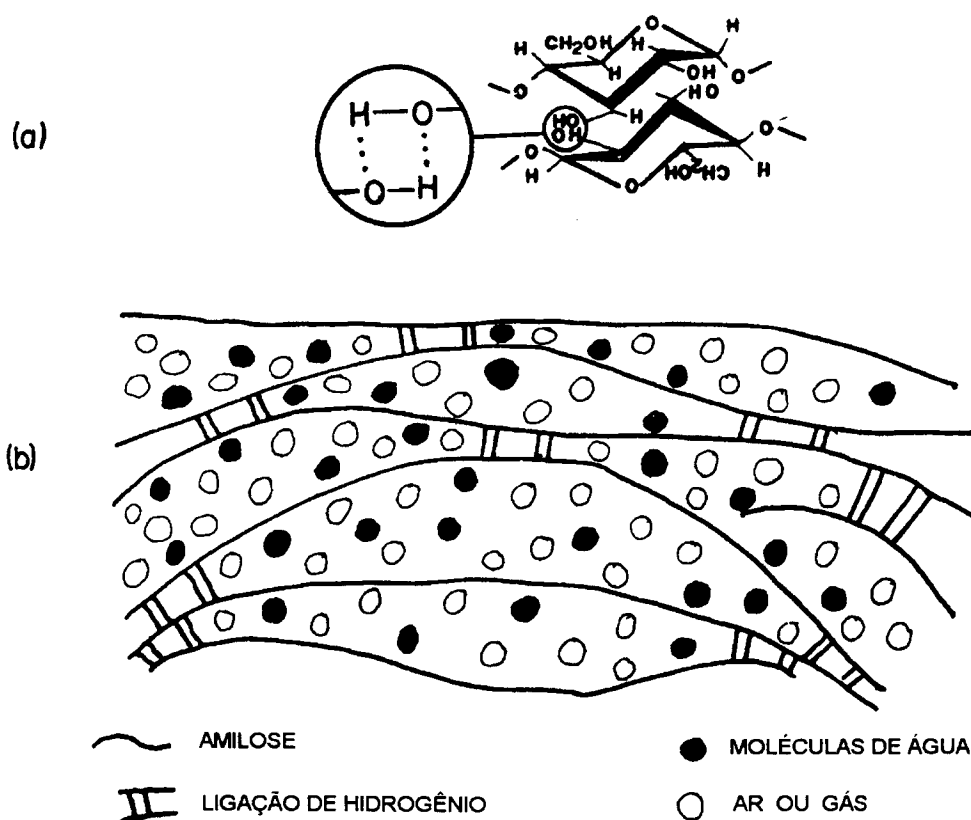


FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS LIGAÇÕES DE HIDROGÊNIO INTERMOLECULARES DE MOLÉCULAS DE AMILOSE FORMANDO FILMES OU FITAS CAPAZES DE RETER GASES E ÁGUA (EL-DASH, 1991)

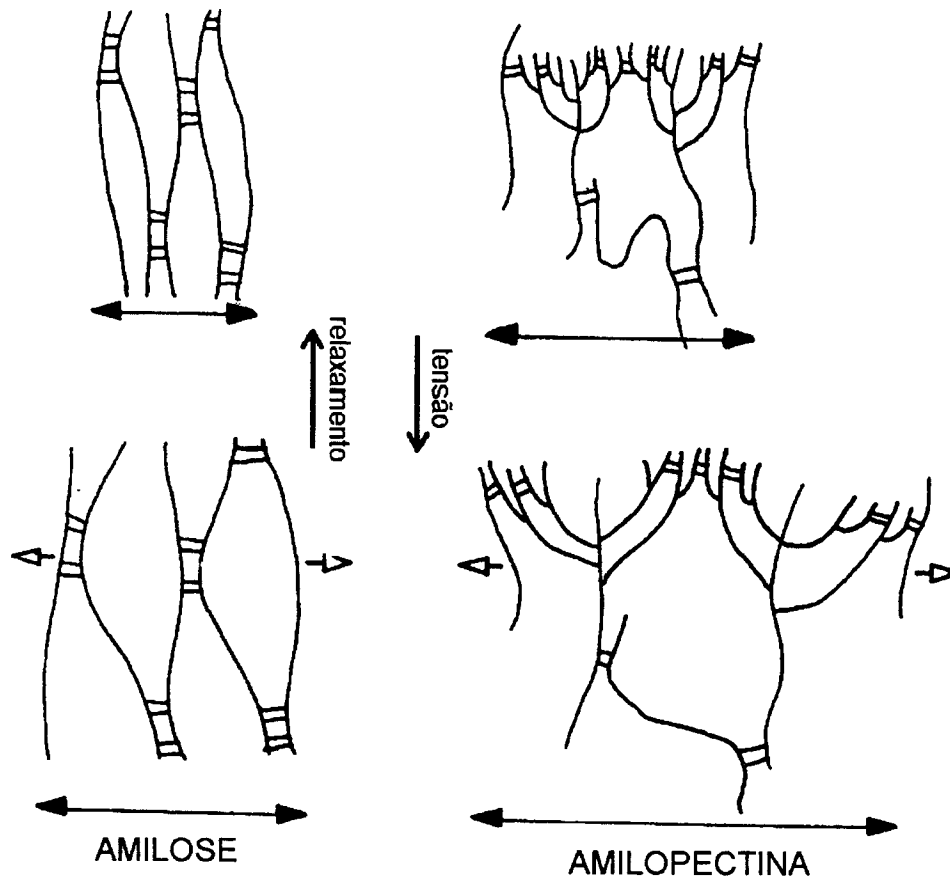


FIGURA 3. UM SEGMENTO DE AMIOLOSE E UMA REDE DE AMILOPECTINA SOB TENSÃO E RELAXAMENTO MOSTRANDO A CAPACIDADE PARA EXTENSÃO E ELASTICIDADE (EL-DASH, 1991)

2. FUNÇÕES DO AMIDO NOS PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO

SANDSTEDT (1961) resumiu as funções do amido na massa do pão como sendo:

- diluir o glúten até uma consistência desejada;
- fornecer maltose para a ação de amilase, durante a fermentação;
- prover uma superfície adequada para uma forte união dentro do glúten;
- tornar-se flexível durante a gelatinização parcial, permitindo o estiramento do filme das células de gás e,
- retirar água do glúten para gelatinização parcial, causando a formação de um filme rígido.

A quantidade de água na massa do pão é de 1:1 (amido:água) sendo insuficiente para a completa gelatinização do amido, que necessita da proporção de 1:3 (amido:água). Muitos grânulos de amido incham o suficiente e perdem a birrefringência, mas retêm sua forma (MARSTON & WANNAN, 1986). Portanto, o estado final do amido contribui para atributos de textura do produto de panificação (HOSENEY *et al.*, 1977), afetando diretamente a firmeza do miolo do pão.

O amido é também o principal responsável pelo envelhecimento do pão, pois segundo KIM & D'APPOLONIA (1977), o processo básico de envelhecimento é devido à retrogradação do amido, cujo mecanismo básico é a nucleação instantânea seguida pelo crescimento em bastão dos cristais. O aumento da cristalização leva a uma maior rigidez no gel de amido, isto porque cristalização envolve um rearranjo das moléculas de amido ou porções desta, formando uma rede tridimensional. Estes mesmos autores demonstraram que a cristalização de géis de amido é caracterizada pela retrogradação de amilose (intensa diminuição) e amilopectina no primeiro dia de estocagem, depois disso somente a amilopectina controla o processo de retrogradação.

O comportamento do amido no pão pode ser resumido em 4 etapas:

- durante o assamento, os grânulos de amido de trigo gelatinizam,
- algumas frações lineares saem dos grânulos inchados e tornam-se concentradas em pequenas quantidades de água intersticial do grânulo,
- durante o armazenamento, particularmente a temperaturas refrigeradas, a molécula ramificada dentro do grânulo sofre uma pequena associação para formar grânulos rígidos inchados, isto endurece a estrutura do miolo, causando o envelhecimento do pão,
- a associação da molécula ramificada é relativamente fraca e prontamente reversível quando aquecida a 50°C. O aquecimento restabelece a estrutura elástica do gel do pão fresco original, porém este aquecimento não solubiliza a rede intergranular de moléculas lineares retrogradada (POMERANZ, 1985).

B. PÃO SEM GLÚTEN

1. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O desenvolvimento de produtos sem trigo baseia-se no fato de que, no mundo todo, apenas um número limitado de países, entre eles Estados Unidos, Canadá, Austrália, Argentina e França, são capazes de produzir trigo de boa qualidade e em quantidade suficiente para exportação (POMERANZ, 1987). Este fato cria uma dependência dos demais países, obrigando-os à importação deste cereal, uma vez que a farinha de trigo é a única, entre as farinhas de outros cereais e tubérculos, capaz de levar a obtenção de produtos de panificação de alta qualidade e que satisfazem o consumidor.

Antes de 1990, o Brasil subsidiava o trigo importado.

A política de subsídio do trigo acarretou:

- grande aumento no consumo deste cereal por todas as classes sociais;
- expansão da produção nacional;
- modificação dos hábitos alimentares da população, deslocando o arroz, o feijão, a mandioca e o milho de suas tradicionais posições e tornando o trigo um dos cereais de maior consumo, per capita, no país; e
- agravamento do desequilíbrio na balança comercial, devido à grande importação do trigo (BORGES *et al.*, 1984).

A produção de trigo no Brasil foi, em 1987, de 6,1 milhões de toneladas, o que representou 90% das necessidades internas. Já, em 1993, a produção foi de 2 milhões de toneladas, suficiente apenas para 30% das necessidades internas. CAMARGO (1995) atribuiu a este fato o acordo entre Brasil e Argentina de comercialização privada e a liberação das importações.

DENDY & TROTTER citado por DENDY (1992) examinaram a possibilidade de redução ou eliminação da importação do trigo pelos países em desenvolvimento, que não possuem trigo de boa qualidade para

panificação. Segundo eles, há quatro alternativas para que o hábito do consumo de pão continue nesses países:

- a) uso de farinhas compostas,
- b) uso de produtos alternativos sem trigo,
- c) aumento do preço do trigo importado, tornando o pão alimento de luxo, viabilizando as alternativas anteriores *a* e *b*, e
- d) produção local de trigo.

O pão com farinhas compostas (alternativa “a”) diminui a dependência de importação do trigo. Através da TABELA 1, pode-se verificar que a farinha de trigo pode ser substituída de 25 a 50% dependendo do tipo de farinha nativa. Muitos programas de farinhas compostas falharam por causa da falta de suprimento regular de matérias-primas. O cultivo de uma cultura com uma nova finalidade, exige planejamento adequado: infra-estrutura para a produção de toneladas de uma nova cultura, estocagem, processamento e transporte (DENDY, 1992).

TABELA 1. NÍVEIS SUGERIDOS PARA MISTURAS COMPOSTAS DE FARINHAS DE TRIGO E OUTRAS NA FORMULAÇÃO DO PÃO (% EM RELAÇÃO À FARINHA TOTAL)*

Farinha	Conteúdo de proteína	Varição dos níveis usados	Máximo sugerido
milho	8-10	18-30	30
sorgo	8-10	15-50	30
mileto	8-10	10-30	30
cevada	8-10	10-30	30
arroz	8-10	10-25	25
mandioca	1-2	13-30	30
amido de mandioca	0	10-50	50
inhame	2-4	10-30	20
batata	2-4	6-30	30
batata doce	2-4	15-30	30

* DENDY (1992)

A alternativa “c” depende da política econômica do país e a “d” depende do avanço da biotecnologia nos países em desenvolvimento, pois a criação de uma variedade de trigo diferente das atualmente produzidas, bem

adaptada ao solo e ao clima de um país, com boas propriedades tecnológicas, consome anos de pesquisa a custos elevados, podendo inclusive, obter resultados negativos.

O desenvolvimento de produtos sem trigo (alternativa “b”) torna-se, então, uma solução para países com pouca ou nenhuma produção de trigo, principalmente onde o hábito de consumo do pão já foi adquirido.

O emprego de uma matéria-prima para o desenvolvimento de produtos alternativos deve obedecer aos seguintes critérios: compatibilidade e disponibilidade. Uma farinha que apresenta boa compatibilidade para substituir o trigo deve ser branca, livre de odores estranhos ou fortes e com o nível de proteína próximo ao do trigo. Já uma farinha com boa disponibilidade é aquela que apresenta preços e custos competitivos e inferiores ao do trigo.

As farinhas obtidas de cereais apresentam vantagens como: alto rendimento durante a produção e processamento, podem ser armazenadas por longos períodos e processadas longe do lugar de produção. O mesmo não pode ser dito a respeito das farinhas de tubérculos e raízes, pois devido ao alto teor de água destes, eles apresentam baixo rendimento e são muito perecíveis, tanto é que eles devem ser processados no local de produção (DENDY, 1992).

2. IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL

O pão sem glúten obtido com farinhas amiláceas nativas de países em desenvolvimento, além de representar a oferta de produtos de custo menor, pode vir a ser também uma grande fonte de energia, devido ao seu alto teor de carboidratos, para as populações carentes.

No Brasil, além do alto índice de pessoas carentes, há um alerta para o fato de que existe uma quantidade razoável de pacientes celíacos.

A enfermidade celíaca consiste numa intolerância permanente a gliadina e outras proteínas afins, contidas na dieta alimentar à base de trigo, aveia, cevada, centeio e triticale, que produz uma atrofia severa nas vilosidades intestinais dos indivíduos com predisposição genética a padecê-

la. Por este motivo, se produz uma mal absorção de vitaminas e minerais a nível intestinal, levando a sérias consequências, como anemia ferropriva, artrites, emagrecimento, parada do crescimento, osteopenia e diarreia crônica (POLANCO *et al.*, 1995, JARMO *et al.*, 1995).

O tratamento para a doença celíaca consiste numa dieta sem glúten, que deve ser seguida durante toda a vida, tanto aos pacientes sintomáticos como aos assintomáticos. Logo, os cereais milho e arroz não são tóxicos para o celíaco e devem substituir o amido de trigo, que contém glúten residual, na fabricação de produtos sem glúten, para que não ocorram riscos desnecessários (POLANCO *et al.*, 1995).

Aparentemente o tratamento na teoria é simples, porém, na prática, encontra algumas dificuldades para ser executado, visto que familiares e pacientes poucas vezes se conscientizam do risco que o pão, bolachas, macarrão etc podem acarretar. Além disso, dificuldades financeiras induzem à transgressão da dieta, pois os alimentos proibidos são os de custo mais baixo (MEDEIROS, s.d.).

No Brasil, foi criada a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA) que já reivindicou a indicação em rótulos da informação se os produtos contém ou não glúten, a exemplo do que é feito em países europeus. Esta associação tem tentado importar produtos como bolos, macarrão e biscoitos isentos de glúten, uma vez que não existem produtos brasileiros deste tipo disponíveis no mercado.

3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PÃO SEM GLÚTEN

Alguns resultados encontrados mostram que o pão sem trigo não possui as características de textura e granulosidade iguais ao pão com trigo (NISHITA *et al.*, 1976). As farinhas sem glúten quando misturadas para formar massa não formam fase contínua e nem estrutura de massa, logo não produzem pão de boa qualidade (RANHOTRA *et al.*, 1975), sendo que uma das características principais do pão sem glúten é o miolo firme e borrachento (YLIMAKI *et al.*, 1988).

Na TABELA 2, estão apresentadas algumas das principais formulações desenvolvidas para o pão sem glúten, que foram relatadas na literatura.

Devido à massa do pão sem glúten não ter propriedades viscoelásticas, ele tem sido produzido em equipamentos para bolos (KIM & RUITER, 1969) e, como a massa tem a forma pastosa, ela não pode ser moldada e tem sido colocada com espátulas nas formas (NISHITA *et al.*, 1976).

KIM & RUITER (1968) testaram vários parâmetros durante a fabricação do pão sem glúten e verificaram que:

- ao variarem o tempo de fermentação de 40 a 68 minutos, este aumento do tempo de fermentação teve pouco efeito no volume do pão e o miolo apresentou textura mais grossa;
- ao testarem o efeito do açúcar nas concentrações de 0, 1, 2 e 4%, o aumento da concentração de açúcar deixou o miolo com textura mais fina e macia e coloração mais clara, já a cor da crosta ficou escura e o pão apresentou sabor doce;
- ao incluírem uma fermentação intermediária no processo, o miolo ficou com textura mais fina e macia; e,
- ao analisarem o efeito da velocidade de mistura, obtiveram uma textura de miolo mais fina e mais macia, quando a mistura foi mais rápida.

Pesquisas para caracterizar a matéria-prima para a produção de pão sem glúten têm sido feitas no sentido de padronizá-la.

As farinhas de tubérculos e raízes são mais difíceis de serem caracterizadas, tanto que KIM & RUITER (1969) verificaram, ao produzir pão de farinha de mandioca, que a farinha apresentou grandes variações na sua qualidade, sendo impossível fazer as especificações físico-químicas dela.

Contudo, a farinha de arroz, tem sido bem caracterizada para a produção de pão sem glúten.

TABELA 2. FORMULAÇÕES DE ALGUNS PÃES SEM GLÚTEN, ENCONTRADAS NA LITERATURA

Autores/ Ingredientes (em %)	KIM & RUITER (1969) ^b	PERDON & JULIANO (1975) ^e	RANHOTRA et al. (1975) ^a	NISHITA et al. (1976) ^a	BORGES et al. (1984)	YLIMAKI et al. (1988) ^b	FAO (1989) ^a	DEFLOOR et al. (1991) ^b
Farinha	80 (mandioca)	100 (arroz)	100 (amido de trigo)	100 (arroz)	80 (polvilho de mandioca)	80,2 (mandioca)	100 (mandioca)	80 (mandioca)
Açúcar	4	25	14	7,5	4	10,6	5	6
Sal	2	0,35	2	2	-	2,6	2	1,5
Gordura	-	-	-	-	-	-	-	-
Gordura vegetal	-	-	10	-	-	-	-	1
Óleo comestível	-	-	-	6	-	5,7	2	-
Fermento	-	-	-	-	-	-	-	-
Seco	-	-	-	-	-	-	-	1,5
Fresco	2	5 ml (suspensão 12%)	7,5	3	2	3,1	1,25	-
Água	60-80	100	120,155,180,195 ^c	75	80	182-220	118	145
Coadjuvantes e aditivos								
Amido								
Amido de batata	-	-	-	-	-	19,2	-	-
Amido gelatinizado	-	-	-	-	-	-	20	12-15 ^d
Proteína								
Farinha de soja	20	-	-	-	20	-	-	-
Isolado protéico de soja	-	-	0,20,30,40 ^c	-	-	-	-	20
Emulsificantes								
Estearoil lactilato de cálcio	0,15	-	-	-	-	-	-	2-3 ^d
Gliceril monoestearato	13,5(emulsão 10%)	-	-	-	3	-	-	-
Gomas								
Carboximetilcelulose	-	-	-	-	-	1-3	-	-
Goma xantana	-	-	-10	-	-	-	-	-
Hidroxipropilcelulose	-	-	-	-	-	7-9	-	-
Hidroxipropilmetilcelulose	-	-	-	-	0,25	-	-	-
Metilcelulose	-	-	180-195 ^c	-	-	-	-	-

a = % em relação a 100% da farinha ou do amido

b = os valores são em relação à soma da % de farinha mais 20% do isolado protéico de soja, amido ou farinha desengordurada de soja

c = quantidade de água varia de acordo com a concentração de isolado protéico

d = foi adicionado um ou outro

e = bolo

NISHITA & BEAN (1979) ao analisarem as propriedades físico-químicas de várias farinhas de arroz para a produção de pão, verificaram que uma farinha proveniente de arroz de grão médio, com conteúdo de amilose aproximado de 20%, com baixa temperatura de gelatinização (60°C), viscosidade de pasta à quente de 750 UA (Unidades amilográficas) e viscosidade após resfriamento a 50°C de 715 UA levou a melhores resultados na produção de pão de arroz, quando foi comparada com outras farinhas que apresentaram características diferentes dessas.

PERDON & JULIANO (1975), ao compararem o efeito do conteúdo de amilose e do armazenamento do arroz na produção de um bolo fermentado tipo pão, verificaram que, em farinhas onde a concentração de amilose era de 20 a 25%, o produto apresentou maior volume e ótima maciez, quando comparado com farinhas de alto ou baixo teor de amilose, que provocaram colapso do pão durante o cozimento. Estes resultados confirmam os obtidos por NISHITA & BEAN (1979).

Para melhorar a qualidade do pão sem glúten, muitos pesquisadores têm feito uso de diversos aditivos. Dentre os aditivos mais utilizados estão as gomas, os emulsificantes e a farinha ou amido gelatinizado (NISHITA *et al.*, 1976; YLIMAKI *et al.*, 1988; FAO, 1989 e DEFLOOR *et al.*, 1991).

4. COADJUVANTES E ADITIVOS UTILIZADOS NO PÃO SEM GLÚTEN

A FAO (1989) publicou a possibilidade de fabricar pães obtidos com sorgo, mandioca e outros amidos nativos usados como alimentos, cuja substituição da rede de glúten foi feita por amido cozido (ver formulação na TABELA 2). O pão apresentou características tecnológicas inferiores ao feito com trigo, e sua produção em escala comercial apresentou problemas como textura e viscoelasticidade do produto final muito abaixo do esperado. O cozimento do amido em grande quantidade leva a um aumento considerável da viscosidade durante o aquecimento, dificultando o manuseio da pasta, e ao alto consumo de energia para gelatinizar o amido e resfriá-lo à temperatura ambiente no processo convencional.

KIM & RUITER (1968) ao testarem gordura, GMS (monoestearato de glicerila), clara de ovo e gliadina na produção de pão com amido puro de trigo, verificaram que todos eles melhoraram a textura do miolo e o volume do pão.

YLIMAKI *et al.* (1988) utilizando farinha de arroz e amido de batata (formulação na TABELA 2), para a produção de pão de arroz, utilizaram a metodologia de superfície de resposta para encontrar a melhor combinação entre água, carboximetilcelulose (CMC) e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), como substitutos do glúten. Os resultados mostraram que a combinação de CMC com H₂O teve o maior efeito, enquanto que a de HPMC apresentou o menor efeito no melhoramento do pão sem glúten.

ROSA e SILVA *et al.* (1994) utilizaram farinha e amido de milho e farinha de mandioca na obtenção de pães mistos “sem glúten” e verificaram que a pré-gelatinização, a pré-fermentação e a adição de carboximetilcelulose (CMC) melhoraram a reologia da massa de amido de milho, embora os pães não apresentassem características adequadas e a adição de outros aditivos (estearoil 2-lactil-lactato de sódio e albumina de ovo) proporcionassem resultados satisfatórios para os pães mistos elaborados com farinha de mandioca e amido de milho “in natura”.

BORGES *et al.* (1984) produziram pão de mandioca e soja com aditivos e uma mistura vigorosa para incorporação de ar e retenção dele e de outros gases, pois quando isto não ocorre os gases escapam facilmente. A mistura deve ser suficiente para produzir número grande e regular de bolhas de ar, a fim de se conseguir uma textura semelhante à do pão de trigo, já que poucas e grandes bolhas acarretam uma textura indesejável (ver TABELA 2).

DEFLOOR *et al.* (1991) testaram o efeito de amido extrusado e de um emulsificante, o glicerilmonoestearato na produção de pão de mandioca com farinha desengordurada de soja (ver TABELA 2), e verificaram que ambos melhoraram a retenção de gás durante a fermentação, influenciaram as propriedades de pasta do amido, tiveram efeito positivo no volume e estrutura do miolo e foram responsáveis pela boa palatabilidade do pão. O emulsificante aumentou a incorporação de ar durante a mistura, devido a

formação de pequenas e numerosas células de gás durante a mistura. Já, o amido extrusado influenciou principalmente a viscosidade. O emulsificante quando a 4% aumentou o volume em 30% enquanto que o amido extrusado aumentou o volume em 12%, quando a 9-12%.

RANHOTRA *et al.*(1975) ao prepararem pão com amido de trigo fortificado com isolado protéico de soja (TABELA 2), verificaram que a soja à 20% melhorou o volume e as características internas do pão, e à 40% os resultados obtidos foram satisfatórios, porém houve piora na qualidade do pão, principalmente nas cores da crosta e do miolo, que se tornaram mais escuras. A sacarose a 14% levou a um pão com sabor agradável, mas não doce e verificaram que os outros ingredientes quando utilizados acima do nível indicado não melhoraram a qualidade do pão.

NISHITA *et al.* (1976) ao desenvolverem uma formulação para pão fermentado de arroz, testaram o efeito de vários ingredientes, entre eles gomas e emulsificantes, na qualidade do pão de arroz. Eles verificaram que a hidroxipropilcelulose foi a única goma capaz de melhorar a massa com viscosidade necessária para reter os gases da fermentação e com liberação de água necessária para gelatinizar o amido durante o cozimento. As gorduras e os emulsificantes tiveram efeito negativo no pão, no entanto o óleo vegetal refinado apresentou pão com volume, granulosidade e textura satisfatórios. Ao analisarem sensorialmente o pão de arroz, eles observaram que quando ele foi comparado com o pão de farinha de trigo, menos da metade deram nota maior que 5, numa escala de 0 a 9.

CASIER *et al.* citado por DENDY(1992) descreveu um processo para fazer pão sem trigo a partir de sorgo e mileto, usando pentosanas insolúveis em água.

SATIN (1988) descreveu um método para pão sem glúten sem o uso de surfactantes ou emulsificantes, que se baseia no fato de que a gelatinização de uma parte da farinha, que não a de trigo, leva a um aumento da viscosidade favorecendo portanto a estrutura da massa.

O principal problema de uso desses aditivos estruturais, como emulsificantes e gomas é que em países em desenvolvimento eles têm

disponibilidades limitadas e alto custo (DENDY, 1992). Então, o uso do amido gelatinizado seria o mais viável, como coadjuvante, para a produção de pão sem glúten em países em desenvolvimento.

C. MODIFICAÇÕES DO AMIDO VISANDO OBTER PÃO SEM GLÚTEN

O amido contém grupos hidroxilas em abundância, e estes são potencialmente capazes de reagir com compostos químicos, incluindo uma variedade de compostos tais como ácidos, organoclorados, aldeídos, epoxi, compostos etilênicos etc. Quando compostos químicos específicos contêm duas ou mais metades capazes de reagir com a hidroxila, há a possibilidade de reagir com duas diferentes hidroxilas resultando num intercruzamento entre hidroxilas de uma mesma molécula ou de diferentes moléculas (WURZBURG, 1989).

O uso de amido modificado em alimentos está relacionado com melhora de qualidade e redução de custos dos produtos.

Segundo LIGHT (1990), o amido modificado é usado em alimentos, por 3 razões principais:

- prover atributos funcionais em aplicações alimentícias que normalmente os amidos nativos não podem prover. Ex.: mistura para pudim,
- é prontamente disponível, e
- fornece vantagens econômicas em muitas aplicações onde aditivos mais caros são usados. Ex.: gomas.

O amido pode ser modificado por métodos físicos ou químicos. A seguir serão abordadas as modificações de maior interesse para uso no pão sem glúten.

1. MODIFICAÇÃO FÍSICA: FARINHA PRÉ-GELATINIZADA

Uma vez que o uso do amido gelatinizado é um dos pré-requisitos para estabelecer a rede tridimensional capaz de reter gases e de se expandir

durante a fermentação e forneamento do pão sem glúten, este se apresenta como um dos coadjuvantes mais viáveis economicamente em países do terceiro mundo para obtenção deste tipo de produto.

Amidos ou farinhas pré-gelatinizadas são produtos formadores de pasta em presença de água fria ou, então, produtos solúveis (parcial ou totalmente) em água fria (COLONNA *et al.*, 1984) e apresentam as seguintes características: dispersam mais facilmente e absorvem mais água que os seus correspondentes não tratados, formam gel à temperatura ambiente e têm menor tendência à deposição (POWELL, 1965).

O uso de amido gelatinizado em alimentos afeta as características e qualidades destes, tais como volume e miolo do pão (WILLIAMS & LESSELLEUR, 1970); elasticidade e maciez de pastas (massa), digestibilidade e palatabilidade, tolerância nas propriedades de batimentos e misturas de bolos, gelados, rosquinhas, crescimento de cristais de açúcar em alimentos (POWELL, 1965); textura, volume, meia vida e estabilidade ao descongelamento de bolos e pães (MICHAEL & BROWN, 1968).

Na indústria de alimentos, amidos pré-gelatinizados são usados para obter espessamento ou retenção de água sem emprego do calor, por exemplo, pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para desjejum; para preparar misturas prontas panificáveis, onde o aumento de absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto, para funcionar como aglutinante na indústria da carne; e, para recheio de tortas de frutas, pois dispensam o uso do calor e aumenta a retenção de aroma. Eles também têm uso não alimentar, como nas indústrias têxteis e em medicamentos, papel, metalurgia etc (POWELL, 1965).

a. Obtenção

As farinhas pré-gelatinizadas podem ser obtidas em escala industrial por extrusão ou secagem em rolos e por utilização de atomizadores.

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

Os rolos secadores são simples e comumente usados, mas apresentam a desvantagem do alto custo dos produtos, devido à baixa eficiência, baixa produção, dificuldade de operação, necessidade constante de manutenção e ajuste dos rolos (GREENWOOD, 1976).

O processo de extrusão apresenta as vantagens de versatilidade, alta produtividade e baixo custo (SMITH, citado por HARPER, 1979) e controle mais rigoroso do grau de gelatinização desejado, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima, podem levar a diferentes resultados finais (EL-DASH, 1982). Segundo LORENZ & JANSEN (1980) o baixo custo da gelatinização por extrusão se deve ao fato de que eles convertem eficientemente a energia elétrica em térmica e também a mão-de-obra e espaços requeridos por quilo de produto cozido são inferiores a qualquer método de cocção.

Portanto, o processo de extrusão apresenta-se como um dos mais vantajosos para substituir o processo convencional na produção de amido ou farinha pré-gelatinizada.

b. Processo de extrusão

O clássico modelo de gelatinização, onde os grânulos de amido são lentamente aquecidos num meio com pouca agitação e muita água, que promove embebição, inchamento e liberação de polímeros (LEACH, 1965), não é válido para o cozimento por extrusão.

EL-DASH (1982) definiu o processo de extrusão termoplástica, como sendo um processo contínuo em que a fricção mecânica é combinada com aquecimento térmico para misturar continuamente, plastificar e gelatinizar o amido, desnaturar materiais protéicos, reestruturando-os para a obtenção de produtos com novas texturas e formas.

O controle do processo de extrusão é bastante complexo, devido ao grande número de variáveis que o afetam (OSTERGARD & BJORCK, 1989). Porém, LAWTON *et al.* (1972) consideraram a temperatura de extrusão e umidade inicial na matéria-prima, como sendo as variáveis com maior efeito na gelatinização do amido, sendo que o grau máximo de gelatinização e

cisalhamento ocorre quando estas variáveis agem com valores extremos opostos e quando ambos os valores são altos ou baixos, ocorrem baixos graus de gelatinização.

O processo de extrusão destrói a estrutura cristalina organizada do grânulo de amido, com diferentes graus de intensidade, que dependem da relação entre amilose e amilopectina e das variáveis independentes utilizadas como umidade e cisalhamento (CHARBONNIER *et al.*, 1973). Assim sendo, o amido pode ser gelatinizado, o que ocorre no extrusor com umidades inferiores a 20% (LINKO *et al.*, 1981), dextrinizado, que acontece em condições mais severas e com conteúdo de umidade baixo (GOMEZ & AGUILLERA, 1984). O processo pode, também, provocar a liquefação de amido e parcial hidrólise das moléculas deste (FAUBION *et al.*, 1982).

As propriedades de índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) são indicadoras dos fenômenos que ocorrem na extrusão (LINKO *et al.*, 1981). Durante a extrusão, o grânulo de amido gelatinizado perde a integridade e também a sua capacidade de inchar quando aquecido em água, o que provoca diminuição da viscosidade à quente (95°C), aumento da tendência a absorver água à temperatura ambiente, aumentando, conseqüentemente, a viscosidade à frio (30°C) e o IAA, já a liberação de cadeias de amilose e amilopectina aumentam o ISA (EL-DASH *et al.*, 1984 e GOMEZ & AGUILERA, 1984).

Alguns pesquisadores usaram simultaneamente um reagente químico e o processo de extrusão para obter amido modificado para diversos fins, tais como produção de extrusados expandidos (LAI *et al.*, 1989); produção de amido fosfatado (CHANG & LII, 1992); produção de álcool (CHANG, 1989) e produção de bebida lática (LEE *et al.*, 1992). O uso simultâneo destas modificações apresenta vantagens como economia de reagente e não formação de efluentes.

2. MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO AMIDO

Amidos alimentícios modificados são amidos nos quais uma ou mais de suas características originais tenham sido modificadas, mediante

processo tecnológico adequado, através de tratamento físico e/ou enzimático e/ou químico. Os amidos modificados por meios físicos e/ou enzimáticos, são considerados amidos genuínos ou naturais e, conseqüentemente, classificados como "ingredientes". Os amidos modificados por meios químicos classificam-se como "aditivos intencionais" (D.O.U. Res. 38/76).

As características de gelatinização e retrogradação das pastas de amido podem ser consideravelmente modificadas por diversos agentes químicos tais como ácidos, álcalis, sais inorgânicos, proteínas e gorduras (OSMAN, 1967). O conhecimento dos agentes que aumentam ou enfraquecem as ligações de hidrogênio poderá ser muito útil para o melhoramento das características do pão sem glúten.

Na TABELA 3 está um resumo das 4 modificações básicas dos amidos.

TABELA 3. AMIDOS MODIFICADOS: TIPOS, CARACTERÍSTICAS E REAGENTES PRINCIPAIS *

Tipo	Características	Reagentes
Branqueado	Oxidado, branco, esterilizado	Peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, clorina
Tratado com ácido	Baixa viscosidade	Ácido clorídrico, ácido sulfúrico
Com ligações cruzadas	Alta temperatura de gelatinização, tolerância a ácido, resitência ao cisalhamento, gel claro, pastas curtas.	Trimetafosfato de sódio, epicloridrina, oxicleto de fósforo
Estabilizado	Baixa retrogradação, estabilidade ao congelamento e descongelamento, alta viscosidade de pasta, baixa temperatura de gelatinização	óxido de propileno, tripolifosfato de sódio, anidrido acético, anidrido succínico

*STAUFFER (1991)

O amido branqueado ou convertido, também chamado amido oxidado, é usado na manufatura de papéis e lavanderias, sendo a forma esterilizada usada em fórmulas farmacêuticas e áreas médicas (STAUFFER, 1991; WURZBURG, 1986).

a. Amido modificado por fosfatação e/ou intercruzamento

Os amidos nativos geralmente contém pequenas quantidades de fósforo (0,1%). Em tubérculos e raízes, o fósforo está covalentemente ligado ao amido (HODGE *et al*, 1948), enquanto que em amidos de cereais, ele ocorre principalmente como contaminante de fosfolipídios (LIM *et al.*, 1994).

Os amidos fosfatados são derivados ésteres do ácido fosfórico. Quando somente uma hidroxila está envolvida na ligação fosfato-amido, o produto é um *monoéster*. A outra classe de amido fosfatado é o tipo *intercruzado* que contém mono, di, e triéster fosfato de amido (HAMILTON & PASCHALL, 1967). Aproximadamente 60-70% do fósforo total do amido monofosfatado está no C-6 enquanto o restante está localizado no C-3 das unidades de anidroglicose (TOBATA & HIZUKURI, *apud* WURZBURG, 1986). A maior parte dos grupos fosfatos (88%) está na cadeia B da amilopectina (WURZBURG, 1986)

O amido com ligações cruzadas é obtido pela introdução de um agente capaz de reagir com grupos hidroxilas de duas diferentes moléculas dentro do grânulo. Estas pontes sintéticas reforçam as ligações de hidrogênio naturais, retardando a velocidade de inchamento do grânulo e reduzindo a ruptura do grânulo inchado (WURZBURG, 1986). Seu principal uso é em recheio de tortas de frutas e enlatados.

O amido estabilizado sofre uma esterificação, que pode ocorrer em qualquer hidroxila. Segundo HAMILTON & PASCHALL (1967) o amido estabilizado exerce funções nos alimentos como: melhorar a aparência do produto, estabilizar ingredientes, melhorar a textura e fixar aromas.

Amidos monofosfatados têm dois pontos de equivalência quando titulados em álcali que são correspondentes a dois prótons no grupo éster. O primeiro está em pH 4 a 5 ($pK=1$ a 2) e o segunddo está em pH 7,5 a 9 ($pK=6$ a 7), já os amidos diéster fosfatados têm somente um ponto em pH 4 a 5 (KOCH *et al.*, 1982).

Geralmente, os monoésteres são introduzidos em maiores níveis de substituição no amido do que os diésteres, porque mesmo quando ocorre pouco intercruzamento, pode haver alteração drástica nas propriedades de pasta e gel do amido. A formação de diamido fosfatos é geralmente considerada a reação mais importante usada para preparar amidos modificados (LIM & SEIB, 1993).

Os reagentes mais usados para intercruzar o amido são: anidridos mistos de acético e adípico, que formam adipato diamido; oxiclreto de fósforo (POCl_3) ou trimetafosfato de sódio, que formam diamido fosfato, e epiclridrina que forma diamido glicerol, porém somente os diamidos adipatos e fosfatos são usados para amidos alimentícios. Diamidos fosfatos podem ser feitos por reação de grânulo de amido em suspensão aquosa com POCl_3 (FELTONN & SCHOPMEYER, *apud* WURZBURG, 1986) ou trimetafosfato de sódio, sob condições alcalinas (KONIGSBERG, citado por WURZBURG, 1986).

Na FIGURA 4, pode-se visualizar a reação entre os principais reagentes para fosfatação do amido, segundo KOCH *et al.* (1982).

Os sais dos ácidos fosfórico, metafosfórico e pirofosfórico são compostos que penetram pobremente no grânulo de amido, porém eles podem ser usados com co-reagentes (álcali ou uréia), que levam a perda da matriz do grânulo de amido (MARUSZA & TOMASIK, 1991).

A "Food and Drug Administration (FDA)", dos Estados Unidos da América, permite que o amido para uso alimentar seja modificado com ortofosfato de sódio, desde que o fosfato residual no amido não exceda a 0,4%, calculado como fósforo, já com trimetafosfato de sódio (TMPS) e tripolifosfato de sódio (TPS), o fósforo residual não pode exceder a 0,04% e com POCl_3 , o máximo permitido para tratamento é 0,1% em relação ao amido (Code of Federal Regulations, citado por WURZBURG, 1986). A legislação brasileira (D.O.U., Res. 39/76) prescreve o uso em amido modificado de um máximo de 0,10% de oxiclreto de fósforo e não determina o máximo para timetafosfato de sódio, porém determina que o fosfato residual, no amido modificado seja no máximo 0,04%, calculado como fósforo, apesar de

constatar que algumas féculas de batata in natura cheguem até 0,10% em fósforo.

ISLAM *et al.* (1974) verificaram que o inter cruzamento de amido de arroz cru com POCl_3 e trimetafosfato de sódio não teve o sucesso esperado e relacionaram este fato com o grau de cristalinidade do grão não gelatinizado, enquanto que o arroz parboilizado, devido à grande região amorfa, apresentou resposta satisfatória aos dois reagentes citados.

MARUSZA & TOMASIK (1991) produziram amido de batata com alto grau de substituição de grupos fosfatos a partir de óxido fosfórico em meio de benzeno ou piridina.

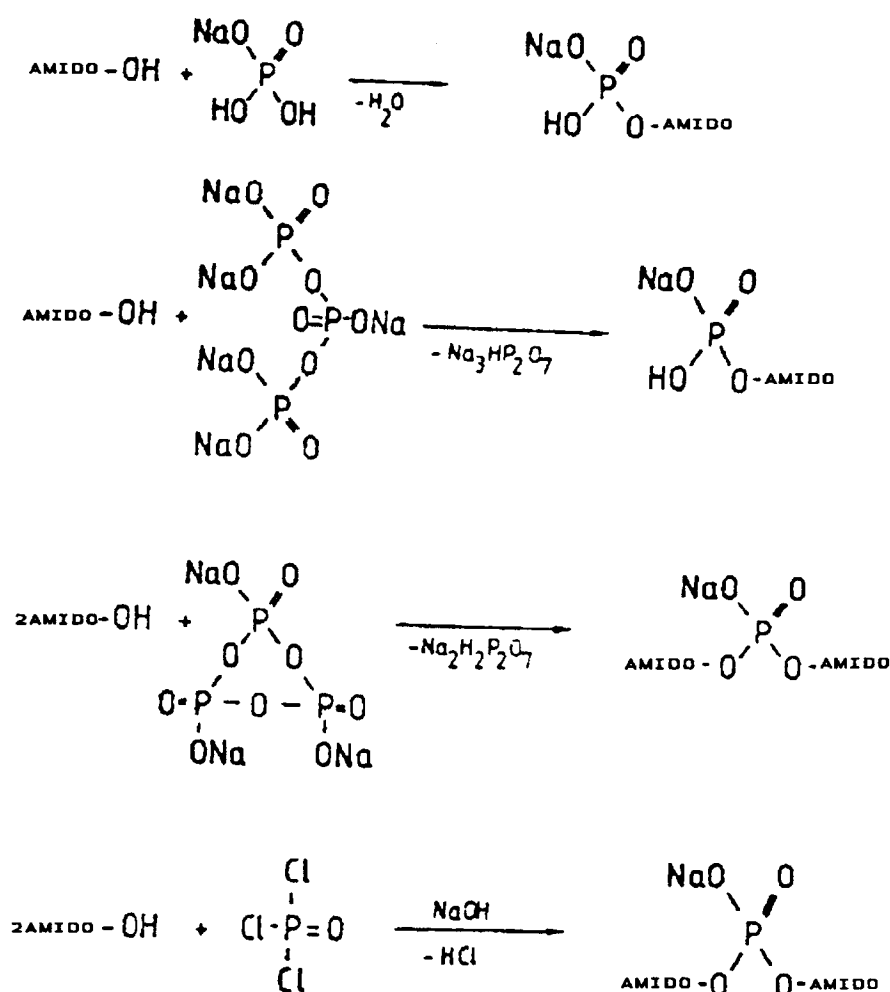


FIGURA 4. FORMAÇÃO DE AMIDOS FOSFATADOS (KOCH *ET AL.*, 1982)

O intercruzamento do amido reforça as ligações de hidrogênio no grânulo com ligações químicas, que atuam como ponte entre moléculas (WURZBURG, 1986; YOOK *et al.*, 1993). Logo, o intercruzamento vai restringir o inchamento interno e manter a resistência à ação mecânica do amido (RADLEY, 1976). Assim, um intercruzamento por várias centenas de unidades de glicose elimina a coesividade e estabiliza a viscosidade da pasta quente (OSMAN, 1967). Neste caso, o amido não incha e pode ser autoclavado em altas temperaturas e pressões.

YEH & YEH (1993) ao intercruzarem amido de arroz com POCl_3 , verificaram que o amido exibiu uma estrutura tridimensional de rede quando analisado no microscópio eletrônico de varredura, sendo que parece haver pontes entre moléculas do amido que retém, portanto, a integridade do grânulo.

A viscosidade de pastas de amido de milho e batata aumentou com o grau de intercruzamento, enquanto que a solubilidade do amido diminuiu para amido de milho intercruzado, tendo sido a amilopectina preferencialmente intercruzada e se tornado insolúvel (JANE *et al.*, 1992).

SINGHAL & KULKARNI (1991) intercruzaram o amido de *Amaranthus paniculatus* usando 5 ml de POCl_3 /100g de amido e verificaram que houve melhora na estabilidade do amido em condições de agitação mecânica, baixo pH e nas condições de enlatamento (pressão, agitação e esterilização).

Diferentes graus de intercruzamento podem ser obtidos pela variação das condições de reação, tais como concentração dos reagentes, temperatura e tempo de reação. A adição de NaCl à pasta de amido serve para diminuir a decomposição do POCl_3 e como catalisador da reação de intercruzamento (SINGHAL & KULKARNI, 1991).

Ao fazerem o intercruzamento com POCl_3 à 25°C em meio alcalino contendo sulfato de sódio e amido ceroso de cevada, WU & SEIB (1990) verificaram que as condições de maior consistência de pasta junto com maior estabilidade ao cisalhamento foram em pH 11,1 e 11,5, concentrações de POCl_3 de 0,005- 0,007% e tempo de reação de 20-60 min. Já para o amido

de milho ceroso, mantendo o mesmo pH e tempo de reação, o nível de POCl_3 foi de 0,010 e 0,015%.

Segundo LIM & SEIB (1993), quando amidos de milho e trigo são fosfatados com tripolifosfato de sódio (TPS) e trimetafosfato de sódio (TMPS) em $\text{pH} < 7,0$, eles dão pastas claras com textura longa e filamentosa, indicando a presença do fosfato monoamido com pouco ou nenhum intercruzamento. Por outro lado, reações do amido com TPS a $\text{pH} > 10$ e com TMPS a $\text{pH} > 9,5$ produziram pastas com consistência reduzida e claridade comparada à de amidos otimamente fosforilados, indicando excessivo intercruzamento.

ROBERTS (1965) propôs que a fosforilação do amido com TPS no estado semi-seco pode ocorrer pelo mesmo mecanismo da hidrólise do TPS numa solução aquosa, exceto que o grupo hidroxila do amido substitui a molécula da água.

CHANG & LII (1992) compararam o processo convencional com o de extrusão para fosfatação de amidos de mandioca e milho e verificaram que, para preparar o amido fosfatado com similar grau de substituição, o processo de extrusão requer menos reagente do que o método convencional, sendo que este requer uma quantidade excessiva de reagentes e causa poluição da água, aumentando o custo da produção.

SALAY & CIACCO (1990) também verificaram que é possível obter amido fosfatado com baixo valor de grau de substituição (DS) pelo processo de extrusão e observaram que a temperatura de extrusão de 200°C , concentração igual ou maior que 1,4g/100 ml de TPS e pH de 8,5 foram as condições que resultaram em maior valor de DS.

O intercruzamento de amido dispersado e pré-gelatinizado causou menores diferenças na proporção de amilose solúvel e amilopectina do que o intercruzamento de amido granular nativo. O amido intercruzado mostrou um aumento da amilopectina como resultado do intercruzamento de duas ou

mais moléculas de amilose e os resultados mostraram que a amilose foi intercruzada com a amilopectina (JANE *et al.*, 1992).

Métodos para analisar amidos modificados envolvem análises químicas e instrumentais. O conteúdo de fósforo em amido intercruzado pode ser analisado quimicamente segundo método descrito por SMITH & CARUSO (1964), sendo um método complexo que requer toda a lavagem do sal de ortofosfato. Dentro das análises instrumentais, a espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear tem considerável importância, apesar de que na RMN-C¹³, as modificações do amido resultem em funções com picos que sobrepõem aos dos carboidratos (BERNETTI *et al.*, 1990).

Já a RMN-P³¹ tem sido usada para localizar ligações fosfoésteres em amidos modificados e amidos de batata (LIM & SEIB, 1993, LIM *et al.*, 1994 e BAY-SMIDT *et al.*, 1994), e ligações fosfodiésteres (KASEMSUWAN & JANE, 1994).

b. Amido modificado por ácido

O amido modificado por ácido sofre hidrólise de algumas ligações glicosídicas, o que ocorre primeiramente nas regiões amorfas do amido, que contém pontos ramificados e ligações α -D (1 $\rightarrow$ 6), reduzindo o tamanho molecular e diminuindo a viscosidade da pasta. Dependendo da intensidade do tratamento, há formação de dextrinas (WURZBURG, 1986). KERR, citado por WURZBURG (1986) mostrou que durante a modificação ácida, a quantidade de amilose do amido aumenta, indicando que o ácido preferencialmente hidrolisa a amilopectina.

Amidos modificados por ácido são normalmente feitos à partir de uma pasta de amido (cerca de 36 a 40% de sólidos) aquecida a temperatura abaixo da temperatura de gelatinização do amido (cerca de 40-60°C) e adição de ácido mineral, agitação por período variado (cerca de uma a várias horas). Quando a viscosidade ou grau de conversão desejados são alcançados, o ácido é neutralizado e o amido é recuperado por filtração ou centrifugação, lavagem e secagem. O tipo de ácido mineral, a sua

concentração, temperatura, concentração do amido e tempo de reação influem nas propriedades do amido (WURZBURG, 1986).

Amidos modificados por ácidos diferem do amido granular pela menor viscosidade da pasta a frio e a quente e outras propriedades. Entretanto, têm a mesma forma física, insolubilidade em água fria e birrefringência similar. Provavelmente, há o rompimento de regiões amorfas e enfraquecimento da estrutura do grânulo, o que permite o seu rompimento com pequeno inchamento, além da hidrólise das ligações glicosídicas (SHILDNECK & SMITH, 1967).

A literatura indica, na maioria das vezes, a modificação do amido por ácido mineral. Porém, MEHLTRETTER (1967) usou ácidos orgânicos para modificar o amido e verificou que alguns ácidos carboxílicos como ácido fórmico reagem com amido a temperatura ambiente e na presença de água; já, outros ácidos como o acético e o cítrico não reagem em meio aquoso e requerem aquecimento para forçar a reação.

OSMAN (1967) verificou que a adição de ácido cítrico em amido de trigo, na concentração de 0,05N e 0,2N, causou um aumento na viscosidade máxima, mas provocou a quebra da pasta, muito rapidamente.

Na indústria de alimentos, este tipo de amido é muito usado em balas e doces de goma (OSMAN, 1967).

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. MATERIAL

1. MATÉRIA-PRIMA

- Arroz em casca, cedido pelo IAC (Instituto Agrônômico de Campinas), foi beneficiado, limpo e moído em moinho de trigo Quadrumat Senior Brabender nas passagens de quebra e redução, para transformação em farinha de arroz.
- Sal refinado, marca Cisne, obtido no comércio
- Açúcar refinado, marca União, obtido no comércio.
- Óleo vegetal de soja, marca Heloisa, obtido no comércio.
- Fermento seco, marca Fermipan, obtido no comércio.
- Gordura vegetal hidrogenada, marca Sadia, obtida no comércio.

2. EQUIPAMENTOS BÁSICOS

Aagitador de peneiras para análise granulométricas, marca Bertel, tipo magnético

Balança analítica, marca Mettler Toledo, mod. AB204

Balança semi-analítica, marca Mettler Toledo, mod. PB3002

Batedeira planetária, marca Arno

Centrífuga Fanem, mod. 204-NR

Computador tipo PC-486

Do-Corder Brabender com extrusora, mod. GNF 1014/2

Espectrofotômetro de reflectância difusa, marca Macbeth color-eye, modelo: M2020 PL

Espectrômetro de RMN AC300/P Bruker

Espectrofotômetro de Infra-vermelho Perkin-Elmer - FTIR-1600-M-80-SPECORD

Estufa de secagem com circulação forçada de ar, marca Fanem,
modelo 315 SE

Estufa incubadora para B.O.D., marca Fanem, mod. 347F

Fatiadora elétrica

Forno elétrico doméstico, marca Scarceli, com controlador de
temperatura

Macro e Micro - Kjeldahl, marca Tecnal, mod. TE036-E- valvulado

Máquina limpadora e classificadora de arroz marca D'Andrea

Maturógrafo, marca Brabender, tipo 87103

Moinho de faca Renard, mod. MFC-180-75-01

Moinho Quadrumat Senior Brabender

Mufla, marca Forlabo

Paquímetro

Peneiras marca Produtest para análise granulométrica

Termoanalizador Du Pont modelo 2000

Texturômetro Texture Analyser TaXT2

Viscoamilógrafo Brabender

3. REAGENTES QUÍMICOS

Nas determinações químicas e nas modificações químicas do
amido foram utilizados reagentes de grau analítico.

B. MÉTODOS

1. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DE FARINHA DE ARROZ

a. Caracterização físico-química da farinha de arroz

Foram feitas as seguintes análises para caracterização físico-química
da farinha de arroz:

i. Classificação granulométrica

A granulometria foi determinada pela passagem de 200 g de farinha de arroz por um conjunto de peneiras vibratórias Produtest, com agitação constante por 15 minutos. Posteriormente, as quantidades retidas em cada peneira e no fundo foram pesadas e calculadas as respectivas porcentagens.

ii. Umidade

Método nº 44-15A, AACC (1983).

iii. Proteína

Método AACC 46-12 (1983), utilizando-se o fator de conversão 6,25 para obter o teor de proteína.

iv. Cinzas

Método AACC 08-01(1983).

v. Lipídios

Método de BLIGH & DYER (1959).

vi. Teor de amilose

Método de SOWBHAGYA & BHATTACHARYA (1979).

vii. Propriedades viscoamilográficas

Foi utilizada a concentração de 15% de farinha em base de 14% de umidade para 450 ml de água. Foi seguida a metodologia de BRABENDER (s.d.) e foram determinados os seguintes parâmetros:

• **Viscosidade inicial (VI):** é o valor da viscosidade da suspensão em unidades amilográficas (UA) no início do ciclo de aquecimento a 30°C;

• **Temperatura inicial de pasta (TIP):** é a temperatura em °C calculada em base no tempo de funcionamento do amilógrafo (1,5°C/minuto), correspondente ao ponto onde se inicia a formação da curva no amilograma (aumento de 20 UA da linha base);

• **Viscosidade máxima à 95°C (V95):** corresponde ao valor, em unidades amilográficas (UA), quando a suspensão chega a 95°C no ciclo de aquecimento;

• **Viscosidade final no ciclo de resfriamento (V50):** corresponde ao valor de viscosidade em (UA) à temperatura final de resfriamento (50°C).

viii. Espectro de Infravermelho

Foram analisadas amostras de farinhas no estado sólido, preparadas em pastilha de KBr, segundo técnica descrita por STINE (s.d.). Os espectros obtidos foram comparados com os encontrados na literatura.

ix. Análise de RMN-P³¹

Os espectros no estado sólido foram obtidos no espectrógrafo AC 300/P Bruker, utilizando-se a técnica de rotação do ângulo mágico (MAS), onde a amostra gira com ângulo de 54,7° em relação ao campo aplicado e que serve para anular ou reduzir as interações anisotrópicas da amostra. O Ácido fosfórico 85% ($\delta = 0$) foi usado como padrão primário e o fosfato de amônio ($\delta = 0,8$) foi usado como padrão secundário. A técnica utilizada foi HPDEC.AUR (High Potencial Decoupler), com os seguintes parâmetros:

- D1= relaxação (intervalo entre pulsos) = 5s, foi aplicado um pulso de 45°
- Campo (SF) = 121,5 MHz, que é a frequência de ressonância do fósforo
- Largura espectral = 35,714Hz

x. Termogravimetria

As curvas de termogravimetria foram obtidas em uma atmosfera inerte de nitrogênio, num sistema DuPont, modelo 2000, em um intervalo de temperatura de 25 a 950°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min.

b. Método de produção de pão sem glúten

A formulação básica do pão sem glúten pode ser visualizada na TABELA 4. Esta formulação seguiu a utilizada pela FAO(1989) e teve algumas modificações segundo resultados obtidos por MACHADO (1996) que obteve pães sem glúten com farinha de arroz com maiores volumes, quando utilizou 10% de pasta cozida de arroz e quantidade de água de 110-120%. O fermento fresco foi substituído proporcionalmente pelo fermento seco.

TABELA 4. FORMULAÇÃO DO PÃO SEM GLÚTEN*

Ingredientes	(%)
Farinha de arroz	100
Farinha pré-gelatinizada de arroz**	10
Sal**	2
Açúcar**	5
Fermento seco**	1
Óleo**	2
Água**	110

*adaptado de FAO (1989) e MACHADO (1996)

** % em relação à quantidade de farinha de arroz

Técnica de preparo dos pães: os ingredientes secos foram colocados na batedeira planetária e misturados por 30 segundos à velocidade 1 (baixa), a seguir o óleo e água foram adicionados e misturados por 5 minutos à velocidade 2 (alta). Da massa resultante, 120g foram colocadas em forma própria para pão, de acordo com a FIGURA 5, fermentada por 90 minutos à 30°C e em seguida, assada a 200°C por 30 minutos.

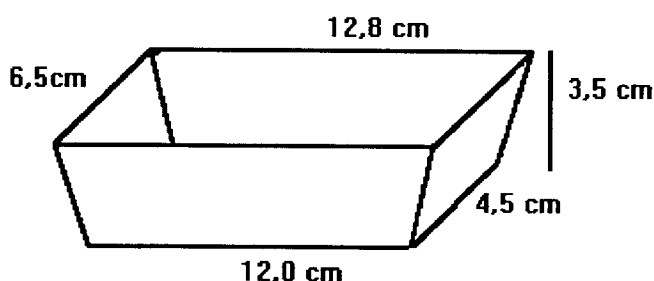


FIGURA 5. MODELO DA FORMA UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

Inicialmente foi feito um pão somente com farinha de arroz e sem o uso de farinha gelatinizada. Este pão teve o teor de água adicionado modificado para 100%, tendo o mesmo processo de obtenção.

A técnica de preparo do pão sem glúten, segundo a FAO (1989) e MACHADO (1996) mostrou-se muito trabalhosa, pois uma parte do amido e/ou farinha é cozido em água (em quantidade suficiente), resfriado e depois incorporado aos ingredientes restantes. Neste trabalho foi usado o processo de extrusão para se obter a farinha pré-gelatinizada de arroz, visando facilitar a incorporação deste ingrediente na massa do pão e a padronização do processo.

2. PRODUÇÃO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MODIFICADAS QUIMICAMENTE

Nesta etapa foram escolhidas três modificações químicas para serem feitas simultaneamente com o processo de extrusão: modificação ácida, por fosfatação e por ligações cruzadas. Foram obtidos os seguintes tipos de farinha:

- Farinha de arroz pré-gelatinizada por extrusão,
- Farinha de arroz pré-gelatinizada e fosfatada por extrusão,
- Farinha de arroz pré-gelatinizada e intercruzada por extrusão, e
- Farinha de arroz pré-gelatinizada e modificada com ácido láctico por extrusão

A farinha de arroz pré-gelatinizada por extrusão foi usada como referência para as outras farinhas, logo foi feito todo o processo de otimização para produção de pães com esta farinha e em seguida, se fez as outras farinhas modificadas que seguiram o mesmo processo de otimização.

a. Obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada por extrusão (FPG)

Para se fazer a extrusão da farinha de arroz, foram escolhidas, para o processo, as variáveis temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima (TABELA 5). As outras variáveis foram mantidas fixas.

TABELA 5. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO LINEAR PARA OBTENÇÃO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE ARROZ

Umidade (valores codificados) X_1	Temperatura (valores codificados) X_2	Umidade (valores reais) x_1 (%)	Temperatura (valores reais) x_2 (°C)
-1	-1	20	120
1	-1	24	120
-1	1	20	180
1	1	24	180
0	0	22	150
0	0	22	150
0	0	22	150

i. Características do extrusor Brabender

Foi utilizado um extrusor de laboratório rosca única. A taxa de compressão da rosca foi 3:1 e mantida à velocidade de 120 rpm, a temperatura da primeira zona foi fixada em 80°C, enquanto que as temperaturas da segunda e terceira zonas variaram de acordo com o delineamento estatístico (TABELA 5). O diâmetro da matriz circular foi de 3mm e o alimentador foi mantido à velocidade de 70-80 rpm.

ii. Condicionamento das amostras

Para condicionar as amostras de farinha de arroz nas umidades desejadas, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\% \text{água} = \frac{(100 - y)}{(100 - x)} \times Z$$

onde: y = umidade inicial da amostra
 x = umidade final desejada
 z = peso em gramas da amostra a ser condicionada

iii. Preparo das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão

Após a extrusão termoplástica, os extrusados foram secos por aproximadamente 15 horas em estufa com circulação de ar à 50°C, até teor de umidade inferior a 10%. Foram passados em moinho de facas e em seguida em moinho Quadrumat Senior, nas passagens de quebra (2 vezes) e redução (2 vezes), obtendo-se assim as respectivas farinhas pré-gelatinizadas.

iv. Otimização da formulação do pão sem glúten

Para cada farinha pré-gelatinizada obtida no item 2.a.iii, foram feitos pães sem glúten em duplicata e após resfriamento por 1 hora, foi medido o volume específico dos pães. Foi escolhido o volume como resposta principal para a otimização do processo, porque ele é o parâmetro mais significativo na demonstração da capacidade da farinha gelatinizada de se estender e reter gases durante a fermentação e o assamento.

O volume foi medido pelo método do deslocamento de sementes e o volume específico calculado da seguinte forma:

$$Vol.esp.= \frac{vol. \text{ pão}(ml)}{Peso \text{ pão}(g)}$$

A partir dos resultados obtidos foi aplicada a metodologia de superfície de resposta para análise dos resultados e após esta análise foi feita a otimização das condições de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, através do caminho de ascendência máxima, descrito por BOX *et al.* (1978) e BARROS NETO *et al.* (1995), visando obter o melhor volume para os pães.

Após estabelecer o caminho de ascendência máxima, foi feito um novo delineamento quadrático, apresentado na TABELA 6, na região encontrada para maior volume específico, conforme BOX *et al.* (1978) e BARROS NETO *et al.* (1995), onde foram analisadas as características das farinhas pré-gelatinizadas dos pães obtidos nesta região.

TABELA 6. DELINEAMENTO COMPOSTO ROTACIONAL PARA DUAS VARIÁVEIS E CINCO NÍVEIS DE VARIAÇÃO

Umidade (valores codificados)	Temperatura (valores codificados)
X_1	X_2
-1	-1
1	-1
-1	1
1	1
0	0
0	$\sqrt{2}$
0	$-\sqrt{2}$
$\sqrt{2}$	0
$-\sqrt{2}$	0
0	0
0	0
0	0
0	0

v. Caracterização das farinhas pré-gelatinizadas

• Propriedades viscoamilográficas

Foi utilizado o viscoamilógrafo Brabender, com as farinhas pré-gelatinizadas à concentração de 15% em farinha (14% de umidade) por 450 ml de água, homogeneizadas na velocidade baixa por 15 segundos em liquidificador, com o objetivo de impedir formação de grumos, e os mesmos parâmetros descritos anteriormente para farinha de arroz crua foram analisados (item III.B.1.a.vii).

• Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

Foi realizado, em triplicata, segundo ANDERSON *et al.* (1969) nas farinhas pré-gelatinizadas.

- **Análises complementares do processo de extrusão**

Torque

O valor do torque, que é o trabalho desenvolvido durante o processo de extrusão, foi obtido pela leitura no gráfico registrador do extrusor durante a fase mais estável do processo (menor oscilação).

Índice de expansão dos extrusados (IE)

Este índice foi realizado no produto após a extrusão e antes da secagem, sendo utilizadas 10 diferentes secções de cada amostra, e usada a seguinte fórmula:

$$IE = \frac{\text{diâmetro do extrusado}}{\text{diâmetro da matriz}}$$

vi. Características dos pães sem glúten

Foram feitos pães com todas as farinhas pré-gelatinizadas (de acordo com o procedimento descrito em III.B.1.b.) e as seguintes características foram analisadas:

- **Volume específico**, em duplicata, conforme item III.B.2.a.iv.
- **Cor da crosta e do miolo**, em triplicata, foi utilizado o espectrofotômetro, seguindo o sistema CIE-Lab, medindo os valores L*, a*, b*, com iluminante D e ângulo de 10° cuja representação esquemática está na FIGURA 6.
- **Textura do pão fresco**

Foi feito o teste denominado Perfil de Análise de Textura (PAT) no analisador de textura TA-XT2, onde foi utilizado o software XTRA Dimension da Stable Micro System.

Para se fazer a textura do miolo dos pães, estes foram resfriados por 1h a temperatura ambiente, fatiados em fatiadora elétrica e descascados com faca elétrica. Foram, então, colocadas duas fatias do miolo do pão no

texturômetro, que mediram juntas 7cm x 2,5cm. O texturômetro foi ajustado, segundo técnica descrita pelo próprio fabricante para textura de pães, nas seguintes especificações:

Compressão: 5 mm

Sonda: diâmetro 25,4 mm

Força "threshold" = 20g

Distância "threshold" = 0,50 mm

Força de contato = 5,0g

Velocidade de teste = 2,0mm/s

Velocidade do pré e pós teste = 5,0 mm/s

Distância = 5,0 mm

Ciclo até contagem de 10 e com medida de força em compressão

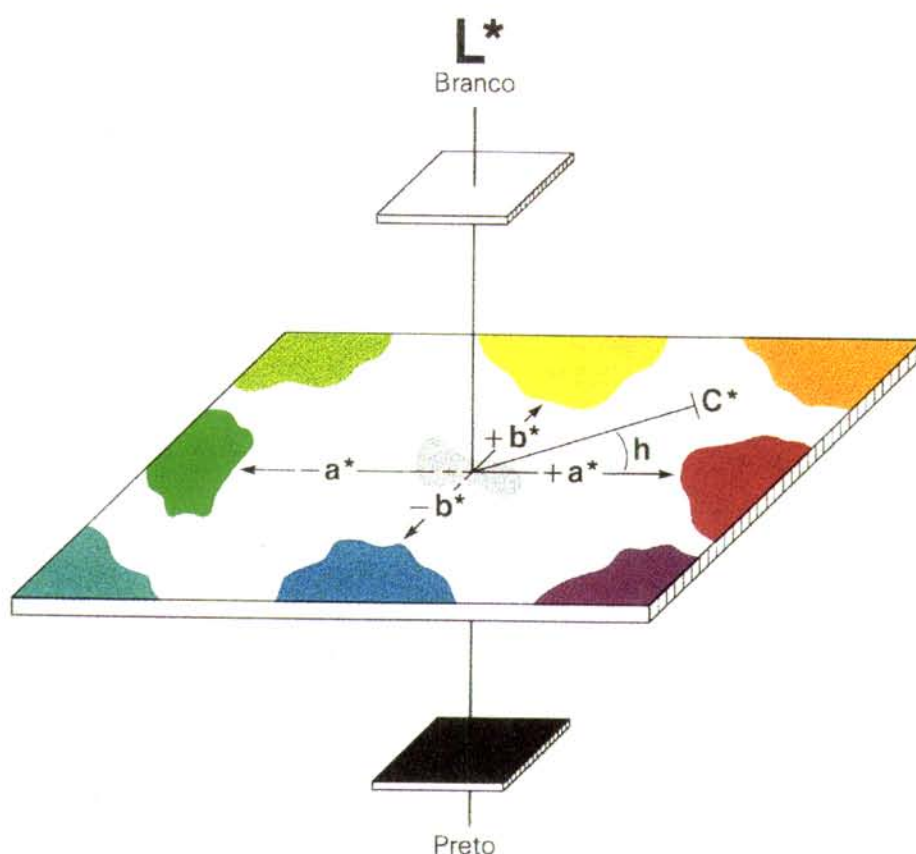


FIGURA 6. ESQUEMA DO SISTEMA CIE-LAB PARA CORES.

Os seguintes parâmetros foram analisados:

- *Dureza*: a força necessária para obter uma dada deformação, em gramas.
- *Elasticidade*: a velocidade em que uma amostra deformada volta a sua condição inicial de não deformação, após a remoção da força deformante.
- *Coesividade*: quantidade para simular o rompimento das pontes internas que compõem o corpo da amostra.
- *Gomosidade*: dureza x coesividade
- *Fraturabilidade*: a força com que o material fratura.
- *Mastigabilidade*: gomosidade x elasticidade x adesividade

b. Obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada fosfatada por extrusão (FPG fosfatada)

Foi adicionado tripolifosfato de sódio (TPS) em concentrações conhecidas, expresso por g de TPS/100g de farinha, à farinha de arroz e em seguida esta foi extrusada com temperaturas variáveis e a umidade final do condicionamento foi fixa de acordo com o melhor pão obtido com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas (item III.B.2.a). O delineamento linear, composto das variáveis concentração de tripolifosfato de sódio e temperatura de extrusão feito, inicialmente visando a otimização do processo, pode ser visualizado na TABELA 7.

O processo de otimização e análise das características dos extrusados fosfatados e dos pães foi o mesmo descrito para farinhas pré-gelatinizadas.

Após a escolha da farinha pré-gelatinizada fosfatada mais adequada para produzir pão sem glúten, esta foi analisada nos espectros de Infravermelho (IV) e Ressonância Magnética Nuclear (RMN-P³¹) e na curva termogravimétrica, conforme método descrito em III.B.1.a.viii, III.B.1.a.ix e III.B.1.a.x., porém as amostras foram previamente dialisadas por 48h com água para retirada do máximo possível do fósforo livre e depois secas em estufa a 50°C.

TABELA 7. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA.

Concentração de TPS(valores codificados) X_1	Temperatura (valores codificados) X_2	Concentração de TPS(valores reais) x_1 (g/100g)	Temperatura (valores reais) $x_2(^{\circ}\text{C})$
-1	-1	1	120
1	-1	4	120
-1	1	1	180
1	1	4	180
0	0	2,5	150
0	0	2,5	150
0	0	2,5	150

*c. Obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada
intercruzada por extrusão (FPG intercruzada)*

Foi adicionado 0,1% de NaCl à farinha de arroz e em seguida esta foi condicionada com concentrações conhecidas de oxicloreto de fósforo (POCl_3), expressas em ml de POCl_3 /100g de farinha, e umidade final do condicionamento fixa de acordo com o melhor pão obtido com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas (item III.B.2.a), em seguida as amostras foram extrusadas a temperaturas variáveis. O delineamento linear, composto de duas variáveis: concentração de POCl_3 e temperatura de extrusão, feito inicialmente para a otimização do processo, pode ser visualizado na TABELA 8.

O processo de otimização seguiu a mesma linha do descrito para farinhas pré-gelatinizadas.

Após a escolha da farinha pré-gelatinizada intercruzada mais adequada para produzir pão sem glúten, esta foi analisada através dos espectros de infravermelho, RMN- P^{31} e pelas curvas termogravimétricas, conforme método descrito em III.B.1.a.viii, III.B.1.a.ix e III.B.1.a.x. porém as amostras foram previamente dialisadas com água por 48h para retirada do máximo possível de fósforo livre e depois secas em estufa a 50°C

TABELA 8. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA.

Concentração de POCl_3 (valores codificados) Y	Temperatura (valores codificados) X	Concentração de POCl_3 (valores reais) y (ml/100g)	Temperatura (valores reais) x(°C)
-1	-1	0,01	120
1	-1	0,09	120
-1	1	0,01	180
1	1	0,09	180
0	0	0,05	150
0	0	0,05	150
0	0	0,05	150

d. Obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada ácida por extrusão (FPG ácida)

A farinha de arroz foi condicionada com soluções de concentrações conhecidas de ácido láctico, expressa em Molaridade (M), levando-se em consideração a umidade inicial da farinha, sendo que a umidade final do condicionamento foi fixada de acordo com o melhor pão obtido com as diferentes farinhas pré-gelatinizadas (item III.B. 2.a).

Foi feito um delineamento linear, para as variáveis concentração de ácido láctico e temperatura de extrusão, conforme TABELA 9. As condições do processo de extrusão foram as mesmas descritas anteriormente, com exceção da velocidade da rosca que foi de 100 rpm, visando aumentar o tempo de residência da farinha de arroz na extrusora.

A otimização do processo, a caracterização das farinhas pré-gelatinizadas ácidas e dos pães sem glúten obtidos com as respectivas farinhas foi idêntica a descrita anteriormente para farinhas pré-gelatinizadas.

Após a escolha da farinha pré-gelatinizada ácida mais adequada para produzir pão sem glúten, esta foi analisada no espectro de infravermelho, conforme método descrito em III.B.1.a.viii.

TABELA 9. DELINEAMENTO LINEAR PARA OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA.

Concentração de ácido (valores codificados) X_1	Temperatura (valores codificados) X_2	Concentração de ácido (valores reais) x_1 (M)	Temperatura (valores reais) x_2 (°C)
-1	-1	0,1	120
1	-1	0,9	120
-1	1	0,1	180
1	1	0,9	180
0	0	0,5	150
0	0	0,5	150
0	0	0,5	150

3. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MELHORES PÃES DAS FARINHAS EXTRUSADAS E MODIFICADAS QUIMICAMENTE

a. Avaliação da qualidade

Após a escolha dos melhores pães produzidos em cada tipo de modificação, foi feita uma avaliação de qualidade dos mesmos, segundo ficha descrita por EL-DASH *et al.* (1982).

b. Estudo comparativo do envelhecimento dos pães

Os melhores pães, provenientes do uso de cada tipo de farinha modificada de arroz, foram submetidos a um teste de envelhecimento, numa câmara climática com temperatura controlada de 25°C e umidade relativa de 85%. Depois de assados, os pães foram resfriados por 1h30min em temperatura ambiente, após este tempo foi analisada a textura do miolo de cada tipo (item III.B.2.a. vi) e os pães restantes foram embalados em filme de polietileno de baixa densidade e armazenados na câmara climática, até os tempos de 6, 24, 48 e 72 horas.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A. OTIMIZAÇÃO DA FORMULAÇÃO DOS PÃES SEM GLÚTEN COM AS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MODIFICADAS QUIMICAMENTE.

Foi feita a análise de variância (ANOVA) para o delineamento linear nos valores codificados das variáveis independentes, e através da equação obtida determinou-se o caminho de ascendência máxima, para a otimização das condições de obtenção das farinhas modificadas.

A ANOVA foi feita utilizando-se o SAS, versão 6.02c, (1990) e o programa QUIMIO (BARROS NETO *et al.*, 1995). O caminho de ascendência máxima foi realizado segundo BOX *et al.* (1978) e BARROS NETO *et al.* (1995).

B. ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS DAS FARINHAS MODIFICADAS E RESPECTIVOS PÃES.

A análise estatística foi realizada por dois métodos:

a. Metodologia de superfície de resposta

Foi feita a ANOVA, nos valores reais das variáveis independentes, para se encontrar a equação mais adequada para descrever as características da região analisada.

Inicialmente na análise de variância foi observado a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança pelo teste F, e também foi analisado o coeficiente de determinação (R^2).

O R^2 indica que quanto maior o seu valor (mais próximo de 1, ou seja, 100%) melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados observados (BARROS NETO *et al.* 1995).

A falta de ajuste significativa de um modelo pode indicar uma ou ambas das seguintes causas:

1. O modelo não tem número suficiente de termos, ou seja, fatores que afetam a resposta foram omitidos do modelo proposto.

2. A omissão de termos de maior ordem, envolvendo os fatores no modelo proposto, que são necessários para explicar adequadamente o comportamento da resposta (KHURI & CORNELL, 1987).

O modelo para ser considerado preditivo para descrever determinada característica na região analisada, deve apresentar regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e alto valor para R^2 (mais próximo de 1, ou seja, 100%).

Porém, pode ocorrer do modelo apresentar regressão significativa, alto valor para R^2 e falta de ajuste significativa. Uma alternativa seria a dada por HENIKA (1978) em comunicação pessoal com WASZCZYNSKYJ *et al.* (1981), que sugeriu analisar o quadrado médio do erro puro. Se ele apresentar valores extremamente baixos, então o teste de significância pode ser considerado irrelevante. Estes autores fizeram então uma análise de variância modificada, para confirmar a significância da regressão. Esta ANOVA modificada consistiu em usar o quadrado médio da falta de ajuste ao invés do quadrado médio do resíduo, para calcular o valor F da regressão.

Este procedimento (ANOVA modificada) foi utilizado neste trabalho, quando necessário.

Após a seleção do modelo, quando este apresentou algum parâmetro (x , x^2 , y , y^2 ou xy) não significativo ao nível de 95% de confiança, foi feito o procedimento de ajuste do modelo pelo "stepwise" ao nível de 85% de confiança.

No procedimento de "stepwise", as variáveis que já estão significativas no modelo, não serão necessariamente as que entrarão no modelo final. Neste método as variáveis são adicionadas uma a uma no modelo e o valor F calculado deve ser significativo pelo nível de confiança estipulado. Após a variável ser adicionada, o método de "stepwise" analisa as variáveis que já estão no modelo e deleta a variável que não produz um valor F significativo no nível de confiança estipulado. O procedimento "stepwise" termina quando não existe mais nenhuma variável significativa para entrar no modelo e quando as variáveis não significativas já foram deletadas (SAS, 1990).

A equação selecionada foi representada graficamente no programa STATISTICA 5.0 (1995).

b. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica usada para analisar um pequeno número de combinações lineares, os componentes principais (CP), de um conjunto de variáveis que detém o máximo de informações das variáveis originais quanto possível. Ela pode também ser vista, como um esforço para descobrir dependências aproximadamente lineares entre as variáveis (SAS, 1990).

Para melhor visualização da influência das modificações da farinha nas características tecnológicas delas e dos respectivos pães, foi feita a Análise de Componentes Principais (ACP), pelo SAS (1990) e a representação gráfica no Origin 4.1 (1996).

C. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E ESTUDOS DO ENVELHECIMENTO DOS PÃES

Para a avaliação da qualidade e para o estudo do envelhecimento dos pães foi feito teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança. As análises estatísticas foram realizadas no SAS (1990). A representação gráfica das equações foi realizada no programa STATISTICA 5.0 (1995) e os gráficos foram feitos no Origin 4.1 (1996).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DE FARINHA DE ARROZ

1. CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE ARROZ

a. Classificação granulométrica

A granulometria da farinha de arroz pode ser vista na TABELA 10.

TABELA 10. CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA FARINHA DE ARROZ

Mesh	% de farinha
20	0,00
32	0,12
60	21,62
80	42,45
100	6,59
170	19,96
Fundo	9,26
Total	100,00

b. Composição centesimal

A composição centesimal da farinha de arroz pode ser observada na TABELA 11.

c. Teor de amilose

O teor de amilose do amido de arroz foi de 23,88% em base de 14% de umidade.

TABELA 11. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA DE ARROZ

	%
Umidade	12,88
Cinzas	0,27
Proteínas	7,56
Lipídios	0,32
Carboidratos totais*	78,97
TOTAL	100,00

* calculado pela diferença

d. Propriedades viscoamilográficas

A farinha de arroz apresentou as seguintes características viscoamilográficas:

- *Viscosidade inicial (VI):* 0 UA
- *Temperatura inicial de pasta (TIP):* 66°C
- *Viscosidade máxima à temperatura constante (V95):* 1460 UA
- *Viscosidade final a 50°C (V50):* 1560 UA

e. Espectro de infravermelho

Não existem regras rígidas para a interpretação de um espectro de infravermelho (IV). Costuma-se interpretá-lo a partir de comparações empíricas com outros espectros e da extrapolação de resultados obtidos para o caso de moléculas mais simples. As tabelas constando frequências características de grupos devem ser interpretadas com cuidado quando em compostos mais complexos, uma vez que as frequências podem variar muito devido a interações complexas entre os grupos de moléculas (SILVERSTEIN *et al.*, 1979).

Na FIGURA 7 pode-se observar o espectro de IV da farinha de arroz. Este espectro foi usado como referência para as farinhas de arroz que foram modificadas quimicamente, com o objetivo de se detectar as novas ligações químicas formadas.

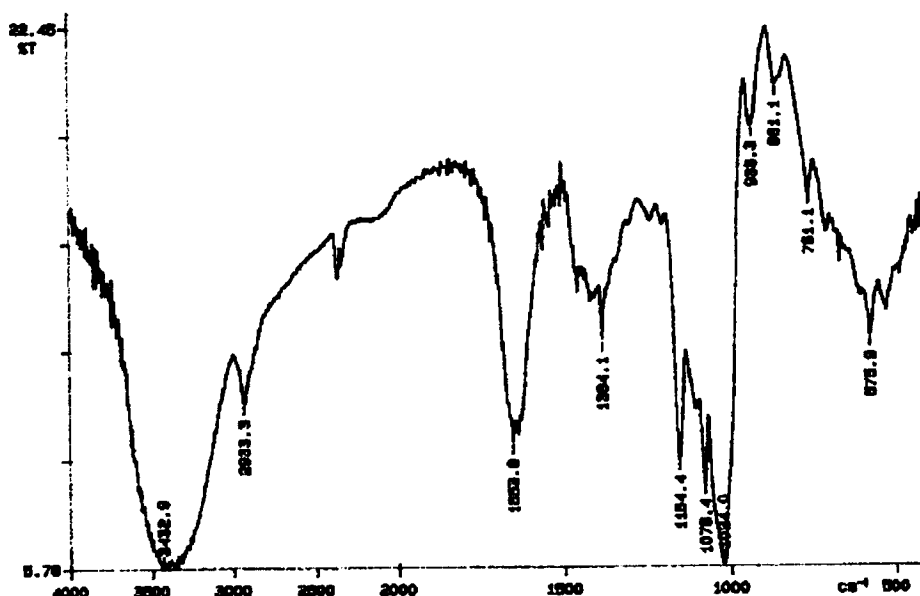


FIGURA 7. ESPECTRO DE IV DA FARINHA DE ARROZ CRUA

SRISUTHEP *et al.* (1976), comparando espectros de malto-oligossacarídeos com dados da literatura, encontraram que bandas entre $3600\text{--}3100\text{cm}^{-1}$ podem ser associadas com ligações -OH, inclusive com a presença de ligações de hidrogênio. As ligações C-H vibram em uma banda de pequena intensidade em 2900 cm^{-1} ; a banda muito intensa de absorção à 1640cm^{-1} é característica da água, sendo esta banda relacionada, às vezes, a absorção de água durante a preparação da amostra; as bandas entre 1320 e 1220 cm^{-1} envolvem O-H no plano e dos grupos C-H e CH_2 ; as bandas à $1147\text{--}1150\text{cm}^{-1}$ correspondem à C-C no plano; bandas à $1105\text{--}1150$ têm sido atribuídos a ligação C-O-C e as bandas entre $960\text{--}730\text{ cm}^{-1}$ indicam $\alpha\text{-D-glicopiranosídeos}$. Já CAEL *et al.* (citado por SRISUTHEP *et al.*, 1976) ao analisarem amilose e celulose atribuíram às bandas 1432 , 1334 e 1263 cm^{-1} aos grupos CH_2 , C-O-H e C-C-H, respectivamente. Segundo tabela de NAKANISHI & SOLOMON (1977), as ligações do fósforo com oxigênio, hidrogênio e carbono estão entre bandas que variam de 1185 a 875cm^{-1} .

Os dados da literatura permitem identificar os grupos ligados ao carbono, hidrogênio e oxigênio, nas várias combinações no amido. Como

alguns destes grupos vibram quase na mesma frequência que os grupos contendo P, H, O e C e os grupos fosfatos se encontram em quantidades muito baixas, a presença ou não de fósforo na farinha de arroz precisou ser confirmada por outros métodos.

f. Espectro de RMN- P^{31}

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) é basicamente uma outra forma de espectroscopia de ressonância. Sob condições apropriadas, uma amostra pode absorver radiação eletromagnética na região de radiofrequência numa frequência governada pelas características estruturais da amostra, sendo a absorção função de determinados núcleos de moléculas. A interpretação do espectro de RMN pode ser feita com maior detalhe que a do espectro de IV (SILVERSTEIN *et al.*, 1979).

A espectroscopia de RMN- P^{31} tem sido usada para localizar a fosforilação em amidos modificados e localizar também as ligações cruzadas tipo fosfodiéster. Geralmente, cereais contêm fósforo principalmente na forma de fosfolipídio; amidos cerosos, raízes e tubérculos contêm fósforo como fosfato monoéster (LIM *et al.*, 1994; JANE *et al.*, 1992)

Verifica-se pelo RMN- P^{31} da farinha de arroz, apresentado na FIGURA 8, que o fósforo presente na farinha de arroz está na forma de fosfolipídio, uma vez que o deslocamento químico em -0,50 ppm, indicado em relação ao ácido fósfórico, é característica deste composto, como pode ser visto na TABELA 12, e confirmado por LIM *et al.* (1994) que extraíram o lipídio do amido de arroz e este mostrou sinais entre 0 e 1 ppm. As bandas laterais à banda -0,50 ppm são considerados ruídos.

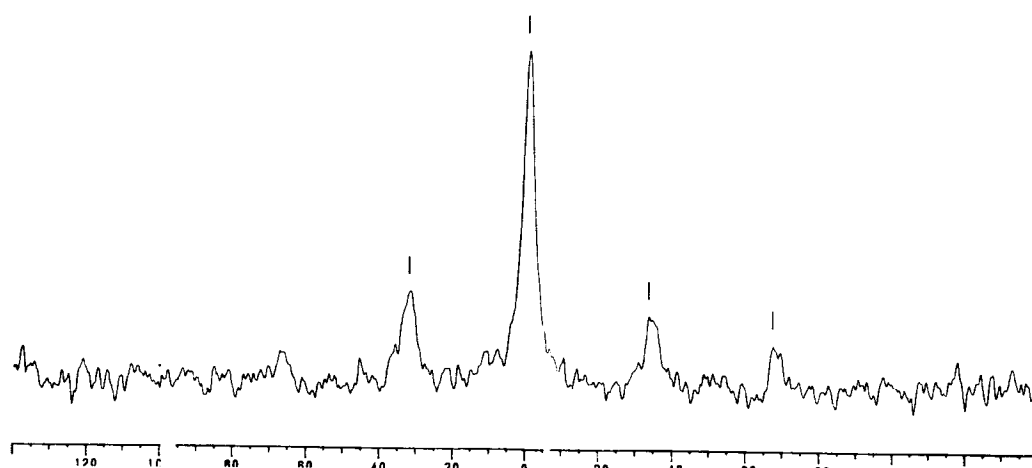


FIGURA 8. ESPECTRO DE RMN-P³¹ DA FARINHA DE ARROZ CRUA

TABELA 12. DESLOCAMENTOS QUÍMICOS PARA COMPOSTOS DE REFERÊNCIA PARA RMN-P³¹. *

Composto de referência	Deslocamento químico (ppm)
Glicose-2-fosfato	4,3
Glicose-3-fosfato	4,7
Glicose-6-fosfato	4,9
Fosfato inorgânico	2,9
Pirofosfato inorgânico	-6,6
Amido monoéster fosfato	-6,6; 2,9; 3,7; 4,3; 4,7 e 4,9
Lecitina (fosfodiéster)	-1,0 a 1,0
Fosfato mio-inosital 1,2- cíclico	15,5

* TEBBY & GLONEK, citado por KASEMSUWAN & JANE (1984)

g. Curva termogravimétrica

Basicamente todas reações químicas estão associadas com a perda ou ganho de energia. O uso de análises térmicas pode indicar ou medir o tipo de reação química que ocorreu num composto durante o seu aquecimento, sob condições controladas.

Uma técnica térmica importante é a termogravimetria, que permite deduzir, através da perda de massa, as várias trocas químicas que ocorrem num composto durante o aquecimento, podendo, inclusive, ser usada para identificar um composto. (BETTERIDGE & HALLAM, 1972).

Na FIGURA 9 pode-se ver a curva termogravimétrica da farinha de arroz, as primeiras perdas de massa foram devido à presença de água e depois houve a perda de matéria orgânica. Na curva perto de 700-800°C, a leve inclinação pode indicar a presença de fosfato que se transforma em pirofosfato, nesta faixa de temperatura. Este fato pode ter acontecido devido a concentração de fosfato ser muito baixa e portanto a velocidade de varredura não conseguiu detectar as reações onde possivelmente aconteceram a quebra de ligações fosfo-diéster, liberando o fosfato, que na etapa seguinte se transforma em pirofosfato.

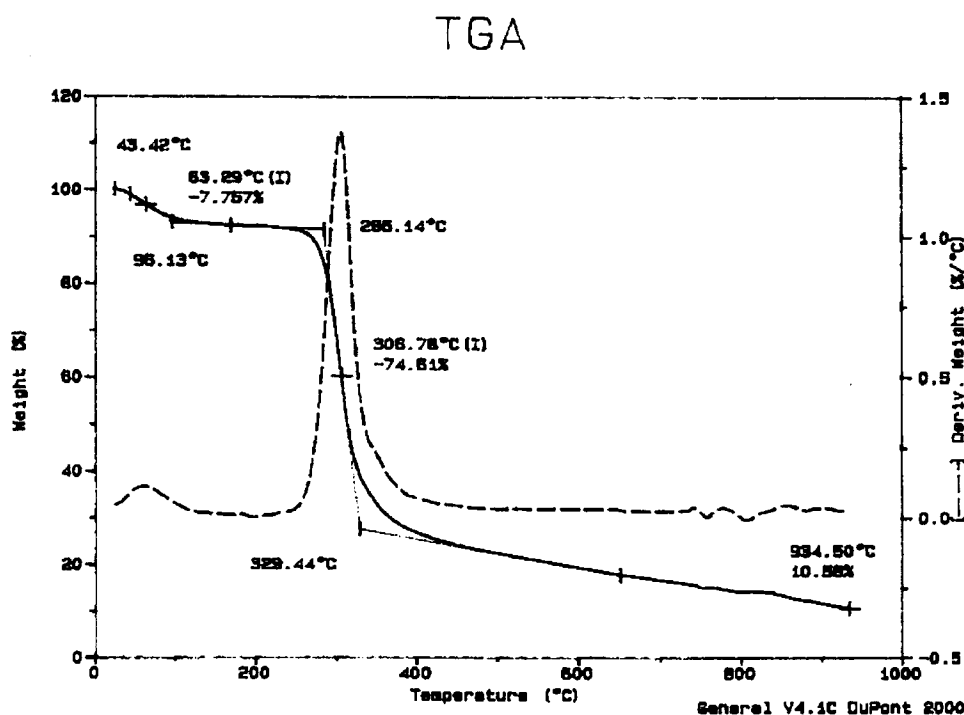
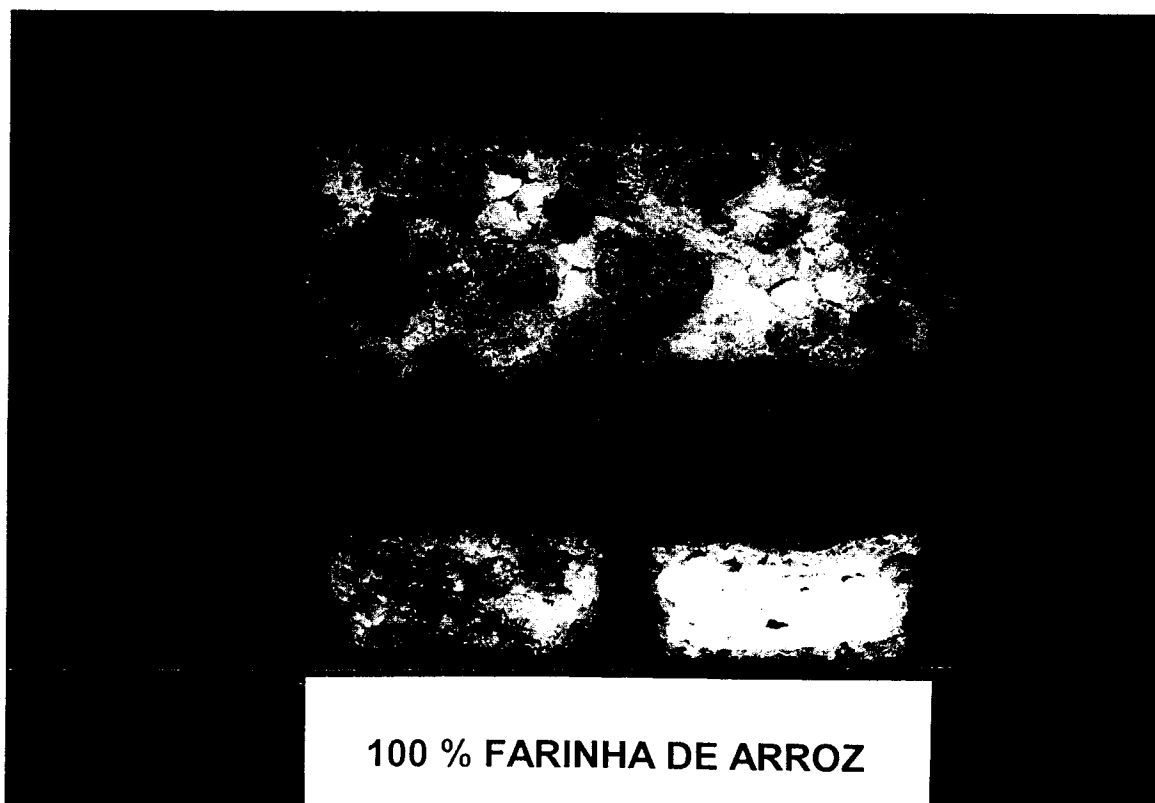


FIGURA 9. CURVA TERMOGRAVIMÉTRICA DA FARINHA DE ARROZ CRUA

2. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM A FARINHA DE ARROZ

Os pães obtidos com 100% de farinha de arroz e sem a adição de farinha pré-gelatinizada apresentaram volume específico médio de 1,2ml/g. Pela FIGURA 10 pode-se verificar que eles apresentaram crosta com cor heterogênea e com rachaduras e o miolo ficou compacto e desuniforme. Não foi possível fazer a análise do perfil de textura porque não se conseguiu obter as fatias do miolo no tamanho necessário para a análise. Após o resfriamento, o pão ficou muito duro. Desta forma, conclui-se que os pães obtidos com apenas farinha de arroz apresentaram características de qualidade inaceitáveis, indicando a necessidade de uso de um agente capaz de se expandir e reter os gases formados durante a fermentação e assamento do pão. Neste trabalho o agente escolhido para desempenhar esta função foi a farinha pré-gelatinizada de arroz, uma vez que se levou em conta a disponibilidade e o custo da matéria-prima para países em desenvolvimento.



**FIGURA 10. FOTOGRAFIA MOSTRANDO PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS
COM 100% DE FARINHA DE ARROZ CRUA**

B. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA POR EXTRUSÃO

1. OTIMIZAÇÃO DA OBTENÇÃO DE FARINHA PRÉ-GELATINIZADA PARA PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

Foi feita a extrusão da farinha de arroz, seguindo o delineamento linear (TABELA 5). Após secagem e moagem, estas farinhas pré-gelatinizadas (FPG) foram utilizadas na produção do pão sem glúten. O volume específico dos pães foi calculado e os resultados podem ser visualizados na TABELA 13.

TABELA 13. VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES COM AS DIFERENTES FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS

Farinhas pré-gelatinizadas		Volume específico dos pães
Temperatura (°C)	Umidade (%)	(ml/g)
120	20	1,93
120	24	1,71
180	20	2,35
180	24	2,19
150	22	2,14
150	22	2,02
150	22	2,03

A análise de variância (ANOVA) nas variáveis codificadas (TABELA 1A) mostrou que o modelo foi significativo ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), não apresentou falta de ajuste e explicou 94,14% da variação da resposta. Os fatores temperatura e umidade foram importantes para a variação do volume específico. A equação da regressão para o volume específico (vol. esp.) foi:

$$\text{Vol. esp.} = 2,055 + 0,225x_1 - 0,095x_2 \quad R^2 = 0,9414$$

onde x_1 = valores codificados para temperatura

x_2 = valores codificados para umidade

Através da equação para volume específico, pode-se observar que os pães com maiores volumes foram os obtidos com as farinhas pré-gelatinizadas processadas nas mais altas temperaturas de extrusão e nos mais baixos teores de umidade.

Após análise dos resultados, foi feito o caminho de ascensão máxima para otimização do volume específico de pães sem glúten obtidos com as farinhas pré-gelatinizadas de arroz, que pode ser visto na FIGURA 11. Este caminho indicou os novos pontos a serem obtidos para se conseguir a FPG.

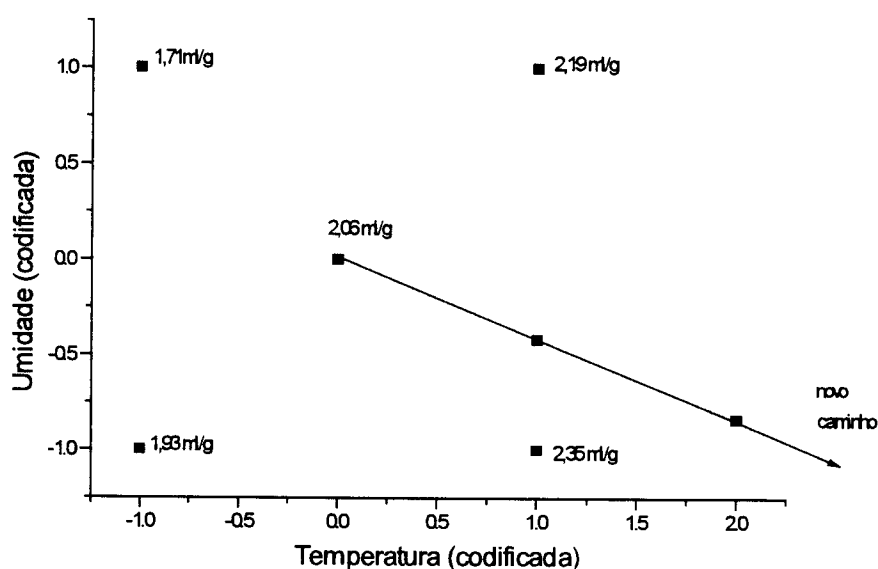


FIGURA 11. CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE ARROZ VISANDO OBTER PÃES SEM GLÚTEN

Os resultados, apresentados na TABELA 14, mostraram que os novos pães não apresentaram volumes superiores ao já encontrados no delineamento linear. Considerou-se, então, a região como ideal para a produção de farinha pré-gelatinizada (FPG) de arroz para produção de pão sem glúten. Mesmo o delineamento linear tendo se mostrado adequado para o modelo, ele foi acrescido de novos pontos em estrela para se tornar um delineamento composto rotacional, numa tentativa de melhorar ainda mais o

coeficiente de determinação (R^2) e melhor caracterizar a região a ser estudada. O novo delineamento pode ser observado na TABELA 15.

Durante todo o processo de extrusão termoplástica da farinha de arroz, como análises complementares fez-se o registro do torque e após o processo, foi medido o índice de expansão dos extrusados. Em seguida, as amostras foram secas e moídas para a determinação das características tecnológicas e para utilização na produção de pão sem glúten.

TABELA 14. PONTOS DO CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA A EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DO VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

	X_1 (codificado)	X_2 (codificado)	X_1 (temperatura, °C)	X_2 (umidade, %)	volume esp. (ml/g)
Condições centrais	0	0	150	22	2,06
Passos do caminho	1	-0,42	180	21	2,18
	2	-0,84	210	20	1,60

TABELA 15. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO COMPOSTO ROTACIONAL PARA OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA

Temperatura (valores codificados)	Umidade (valores codificados)	Temperatura (valores reais)	Umidade (valores reais)
X	Y	x(°C)	y (%)
-1	-1	120	20
-1	1	120	24
1	-1	180	20
1	1	180	24
0	0	150	22
$\sqrt{2}$	0	192	22
$-\sqrt{2}$	0	108	22
0	$\sqrt{2}$	150	24,8
0	$-\sqrt{2}$	150	19,2
0	0	150	22
0	0	150	22
0	0	150	22
0	0	150	22

2. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS

a. Características viscoamilográficas

A temperatura inicial de formação de pasta de farinhas pré-gelatinizadas dá uma indicação do grau de cozimento que a mesma sofreu durante o processamento. No entanto, a viscosidade inicial de pasta ou viscosidade a frio irá variar de acordo com a gelatinização que ocorreu no amido. Assim quanto mais gelatinizado estiver o amido, maior será a viscosidade a frio da pasta de amido (EL-DASH *et al.*, 1983). Por outro lado, quando ocorrer também a dextrinização, a viscosidade irá diminuir, porque a capacidade de retenção de água tem uma relação inversa com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina (GOMEZ & AGUILERA, 1983).

A viscosidade à quente, ou seja a 95°C, está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, conseqüentemente, apresenta baixa viscosidade a 95°C (GROSSMANN, 1986).

A viscosidade final, ou viscosidade a frio após cozimento é uma medida da retrogradação do amido e, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorreram nas estruturas do grânulo e das moléculas (GROSSMANN, 1986).

As características viscoamilográficas das farinhas pré-gelatinizadas de arroz podem ser observadas na TABELA 16.

Verifica-se na TABELA 16 que todos os tratamentos foram efetivos para a gelatinização da farinha, uma vez que todas as farinhas tiveram temperatura inicial de pasta (TIP) de 30°C, significando que elas formaram pasta à temperatura ambiente.

TABELA 16. PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS À CONCENTRAÇÃO DE 15%

Farinha pré-gelatinizada		VI	TIP	V95	V50
Temp (°C)	Umidade (%)	(UA)	(°C)	(UA)	(UA)
120	20	420	30	150	300
120	24	440	30	240	540
180	20	1760	30	200	520
180	24	1200	30	150	300
150	22	460	30	150	300
192	22	1610	30	180	280
108	22	420	30	150	320
150	24,8	480	30	180	350
150	19,2	340	30	140	240
150	22	540	30	200	380
150	22	560	30	180	360
150	22	500	30	180	480
150	22	540	30	180	340

A análise de variância (ANOVA) para a viscosidade inicial (VI), apresentada na TABELA 2A, mostrou que o modelo é significativo ($\text{Prob} > F = 0,0008$) e explica 92,58% da variação da VI. Porém a falta de ajuste foi significativa, o que lançou dúvidas sobre a utilização do modelo, então a ANOVA modificada foi feita, conforme explicações no item 4.B.a, de Material e Métodos, e mostrou significância para o efeito linear da regressão. O procedimento de ajuste do modelo foi feito e mostrou uma pequena diminuição do R^2 em relação ao modelo completo. A equação ajustada foi utilizada para prever esta resposta na região analisada:

$$VI = 5986,393 - 88,709x + 0,348x^2 \quad R^2 = 0,8900$$

Pela FIGURA 12 pode-se verificar que farinhas processadas a maior temperatura apresentaram maior viscosidade.

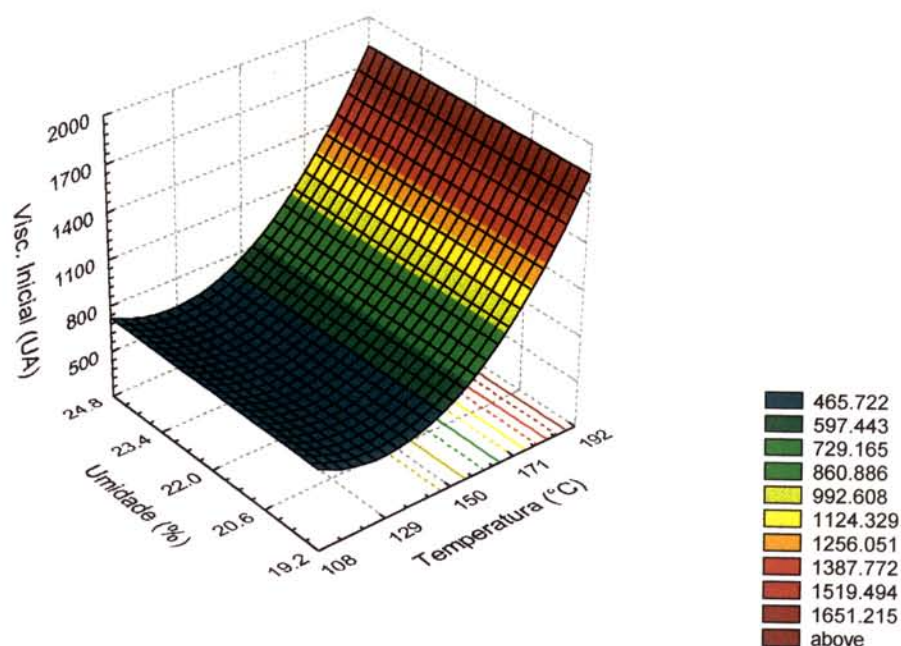


FIGURA 12 . EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE A VISCOSIDADE INICIAL (VI) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

A ANOVA para os dados de viscosidade máxima a 95°C (V95), TABELA 3A, mostrou que o modelo foi significativo para o fator de interação, não apresentou falta de ajuste e explicou 65,83% (R^2) da variação da resposta. O modelo pode ser usado para analisar a tendência da resposta de V95 na região estudada, devido ao R^2 possuir um valor médio. O modelo completo foi utilizado para a equação, porque o procedimento de "stepwise" não foi capaz de ajustá-lo.

$$V95 = -2295,75 + 13,08x + 129,56y - 0,0008x^2 - 0,82y^2 - 0,58xy \quad R^2 = 0,6583$$

A FIGURA 13 mostra que a V95 apresentou tendência para os maiores valores quando temperatura e umidade estavam em valores extremos opostos.

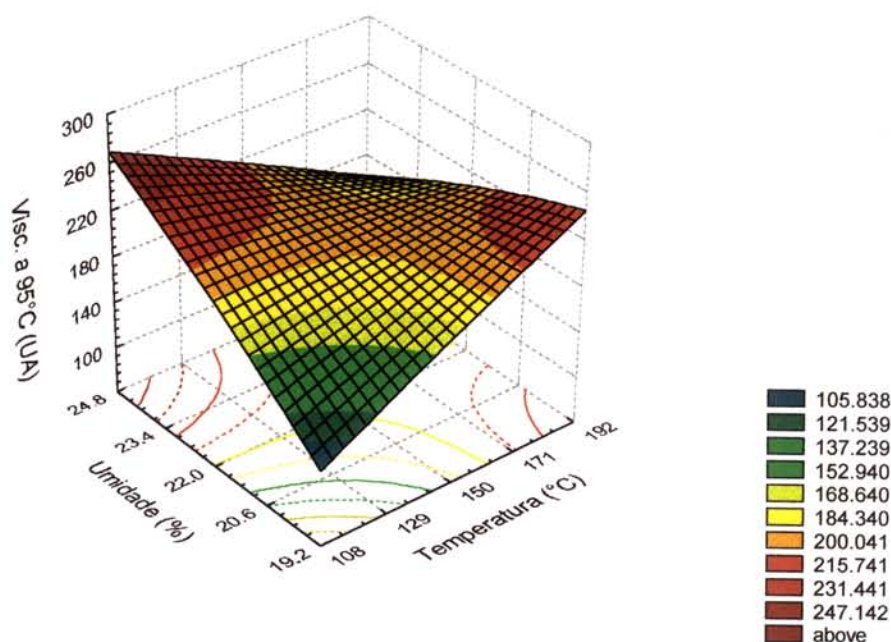


FIGURA 13 . EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE A VISCOSIDADE MÁXIMA A 95°C (V95) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

A viscosidade a 50°C (V50) apresentou comportamento semelhante a V95. A ANOVA, TABELA 4A, também mostrou que o modelo foi significativo para o efeito de interação, não apresentou falta de ajuste e explicou 55% da variação da resposta, podendo ser usado para analisar a tendência da resposta, devido possuir um R^2 de valor médio. A equação foi feita com o modelo completo, pois o "stepwise" não ajustou o modelo.

$$V50 = -7317,40 + 43,81x + 391,42y - 0,0066x^2 - 2,11y^2 - 1,92xy \quad R^2 = 0,5459$$

A Figura 14 mostra a V50, que apresentou a tendência para maiores valores quando as farinhas foram processadas em temperatura e umidade em valores extremos opostos.

Comparando a VI com a V95 e a V50, pode-se observar maiores valores para VI, a V95 foi a que apresentou os menores valores. Durante o resfriamento até 50°C, a viscosidade (V50) aumentou, indicando a retrogradação do amido.

Estas características de viscosidade foram explicadas por EL-DASH *et al.* (1984) e GOMEZ & AGUILERA (1984). Segundo estes autores, durante a

extrusão, o grânulo de amido gelatinizado perde a integridade e também sua capacidade de inchar quando aquecido em água, o que provoca uma diminuição da viscosidade a 95°C e um aumento da tendência a absorver água à temperatura ambiente, aumentando a viscosidade a frio (VI).

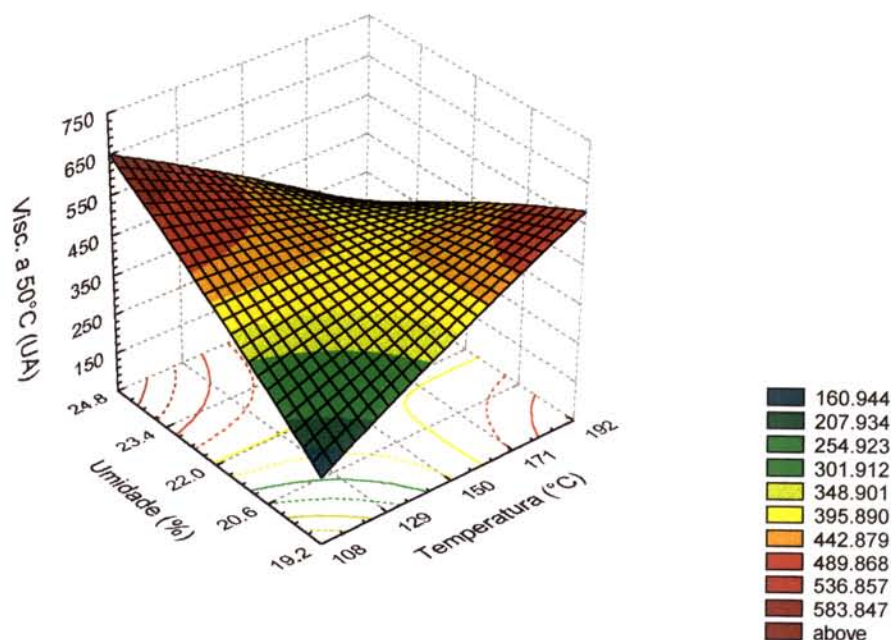


FIGURA 14 . EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE A VISCOSIDADE A 50°C (V50) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

b. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O IAA e o ISA variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o tratamento por extrusão, assim quanto maior a gelatinização, maior o número de hidroxilas disponíveis para formar ligações de hidrogênio com a água e como consequência, maior o IAA.

Já quanto maior a dextrinização, maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA.

O índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) podem ser observados na TABELA 17.

TABELA 17. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E UMIDADES

Amostra		IAA	ISA
Temp (°C)	Umidade (%)		
120	20	7,66	15,92
120	24	7,24	8,46
180	20	8,31	6,78
180	24	8,16	9,75
150	22	8,05	17,12
192	22	8,34	9,96
108	22	6,97	9,79
150	24,8	8,04	12,46
150	19,2	9,02	21,53
150	22	8,83	18,37
150	22	8,37	18,65
150	22	8,30	18,41
150	22	7,08	17,66

A ANOVA para o IAA (TABELA 5A) mostrou que o modelo foi significativo (Prob > F = 0,0006), não apresentou falta de ajuste e explicou 64% da variação da resposta. O ajuste do modelo foi realizado e resultou numa pequena diminuição do R^2 , de 64% para 63%. Como o R^2 apresentou valor médio, a equação foi usada para verificar a tendência da resposta do IAA na região analisada.

$$IAA = -0,54 + 0,14x - 0,13y - 0,0004x^2 \quad R^2 = 0,6308$$

Na FIGURA 15 está a representação gráfica da equação para o IAA. Pode-se observar que o IAA foi influenciado pela temperatura e pela umidade, tendendo a atingir maiores valores nas mais altas temperaturas e mais baixas umidades.

MERCIER & FEILLET (1975) verificaram em vários amidos extrusados que o IAA aumentou com a temperatura até um máximo, que ocorreu por volta de 180-200°C e diminuiu a seguir.

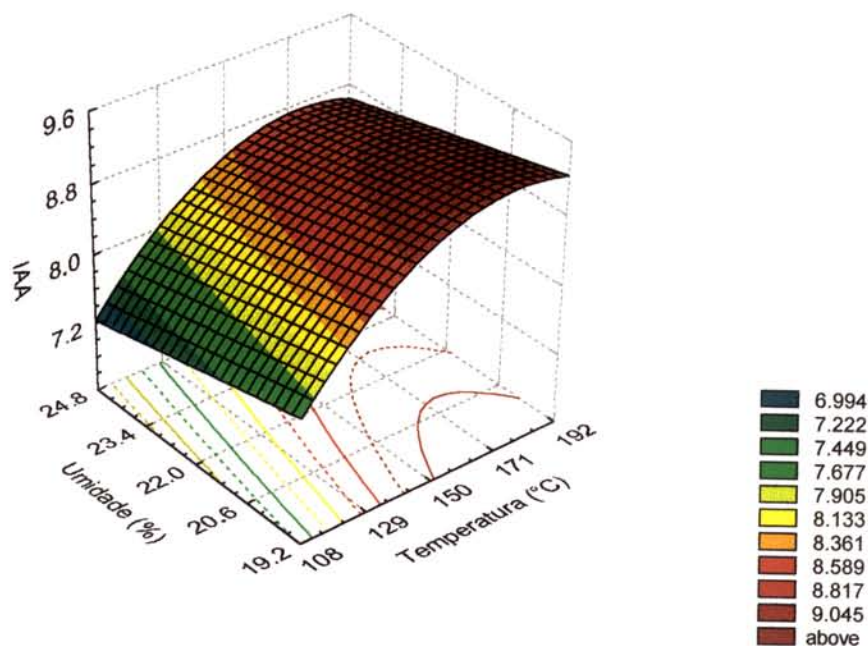


FIGURA 15. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE O ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

A ANOVA para o ISA (TABELA 6A) mostrou que 84,28% da variação da resposta foi explicado pelo modelo, tendo a regressão sido significativa, porém a falta de ajuste foi altamente significativa. Foi feita a ANOVA modificada para testar a significância da regressão, podendo-se verificar que realmente a falta de ajuste influiu no modelo. Logo, não se pode analisar a resposta de ISA por esta metodologia. O valor médio do ISA foi de 14,22% na região analisada.

c. Análises complementares do processo de extrusão

i. Torque

Os valores de torque em extrusão medem o trabalho mecânico necessário para bombear o material através da matriz.

Na TABELA 18 pode-se observar as características do torque dos extrusados de arroz.

TABELA 18. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DA UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NO TORQUE E NO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS DE FARINHA DE ARROZ

Extrusados		Torque (gf.m)	IE
Temp. (°C)	Umidade (%)		
120	20	5500	2,86
120	24	5575	1,37
180	20	6000	2,46
180	24	4350	1,84
150	22	6100	2,61
192	22	5250	1,80
108	22	6625	1,62
150	24,8	4500	2,36
150	19,2	6875	3,08
150	22	5625	2,64
150	22	5725	2,67
150	22	5750	2,69
150	22	5525	2,62

A ANOVA para o torque, TABELA 7A, mostrou que o modelo explicou 80% da variação da resposta e foi significativo para a regressão. Devido a apresentar ligeira falta de ajuste ($\text{prob} > F=0,0442$), foi usado para analisar a tendência da resposta. Após a obtenção da equação ajustada, verificou-se uma pequena diminuição do R^2 (de 80 para 77,59%).

$$\text{Torque} = -9594,06 + 146,97x + 768,78y - 7,19xy \quad R^2=0,7759$$

Observa-se na FIGURA 16 que, quando a temperatura e umidade aumentaram, o torque diminuiu e quando a umidade diminuiu, o torque aumentou, mesmo em altas temperaturas.

Este resultado foi explicado por EL-DASH (1982) quando verificou que com o aumento da temperatura e do teor de umidade, a viscosidade do material diminui e o material menos viscoso produz menor torque no extrusor.

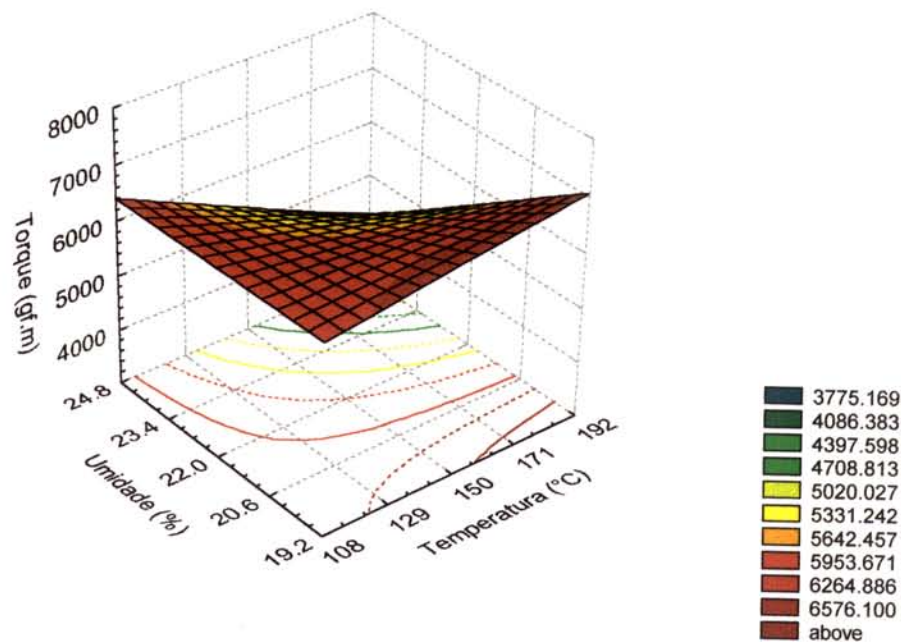


FIGURA 16 . EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE O TORQUE DURANTE O PROCESSO DE EXTRUSÃO

II. Índice de expansão (IE)

A expansão é uma decorrência da evaporação da água superaquecida, em virtude da descompressão que o produto sofre ao sair da matriz. Assim sendo, quanto maior for a temperatura, maior será a evaporação e, conseqüentemente a expansão. Contudo, em temperaturas muito elevadas, a evaporação ocorre de modo violento, rompendo a estrutura do produto e impedindo a expansão (EL-DASH, 1982).

Na TABELA 18 pode-se observar os resultados do IE e na FIGURA 17 as características de expansão dos extrusados de arroz.

Através da ANOVA para o IE, Tabela 8A, pode-se verificar que 92% da variação dos dados observados foram explicados pelo modelo e a regressão foi significativa. Porém como houve falta de ajuste significativa, fez-se a ANOVA modificada, que indicou a significância do efeito quadrático da regressão. O modelo foi ajustado e constatou-se que ele permaneceu completo e com o mesmo R^2 , podendo ser usado para prever o IE na região analisada.

$$IE = 5,182 + 0,131x - 0,954y - 0,0005x^2 + 0,0008xy + 0,0153y^2 \quad R^2 = 0,9171$$

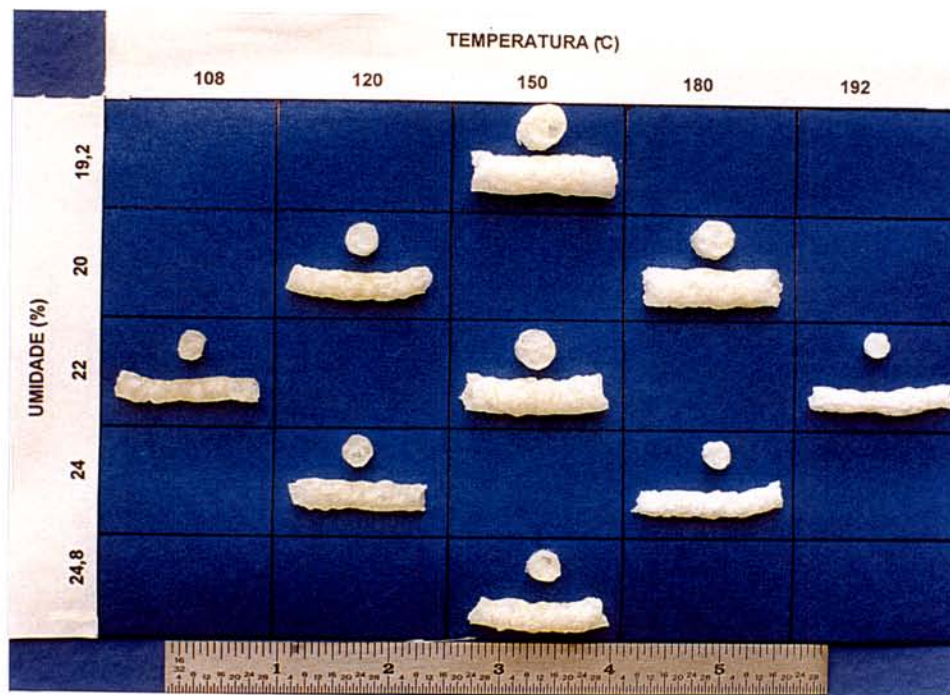


FIGURA 17. FOTOGRAFIA MOSTRANDO O EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE A EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS

Pode-se observar na FIGURA 18 um maior índice de expansão nas amostras com valores menores de umidade e intermediários de temperatura, sendo que amostras processadas a altas e baixas temperaturas e com maior umidade apresentaram menor índice de expansão.

MERCIER & FEILLET (1975) também verificaram um efeito inverso entre expansão e umidade durante o processamento de farinhas por extrusão.

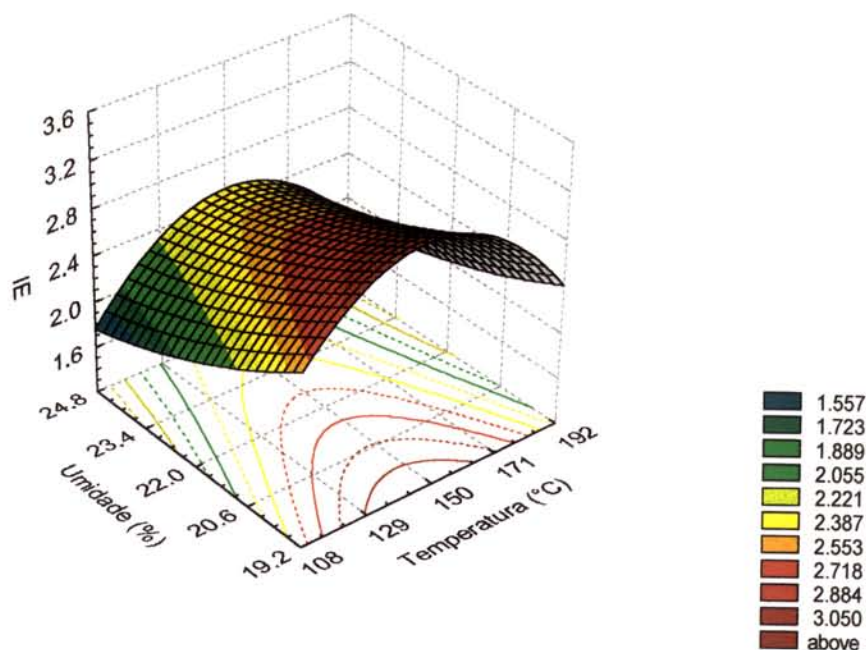


FIGURA 18. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA FARINHA DE ARROZ SOBRE O ÍNDICE DE EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS

d. Análise de componentes principais para as características tecnológicas das farinhas de arroz pré-gelatinizadas

Foram analisadas todas as características da farinha pré-gelatinizada e do processo de extrusão, os tratamentos com as variáveis independentes foram 13, tendo 5 repetições no ponto central 150°C-22% de umidade.

Na representação gráfica da ACP, que pode ser observada na FIGURA 19, cada eixo explica uma porcentagem da variação total que existe entre as amostras. O primeiro eixo explicou a maior parte da variabilidade entre as amostras (CP1=42,72%), seguido pelo segundo eixo (CP2=19,57%), que juntos representaram 62,29% da variação, portanto, ambos explicaram a maior parte da variação dos resultados. O restante da variação (37,71%) foi devido a outros componentes principais, que não foram apresentados por não haver necessidade.

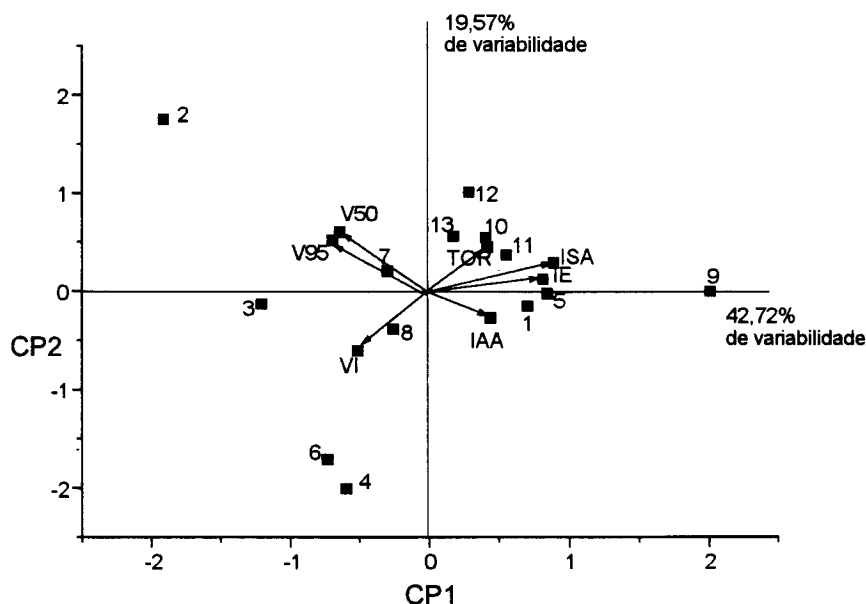


FIGURA 19. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS EXTRUSADOS E SUAS RESPECTIVAS FARINHAS (1=120°C-20%, 2=120°C-24%, 3=180°C-20%, 4=180°C-24%, 5,10,11,12,13=150°C-22%, 6=192°C-22%, 7= 108°C-22%, 8=150°C-24,8%, 9=150°C-19,2%, VI= visc. inicial, V50= visc. a 50°C, V95= visc. máxima a 95°C, TOR= torque, IE= índice de expansão, IAA= Índice de absorção de água, ISA=índice de solubilidade em água)

Os vetores que apresentam menor ângulo com um dado CP e, que ao serem decompostos naquele CP, apresentam-se como um vetor longo, explicam a variabilidade mostrada naquele CP. Assim, no CP1, a variabilidade entre as amostras foi devida, principalmente, ao índice de solubilidade em água (ISA) e ao índice de expansão (IE), enquanto no CP2, a variabilidade foi devida à viscosidade inicial (VI) e à viscosidade a 50°C (V50)

Quando se analisa os tratamentos (amostras) deve-se observar que quando eles estão próximos entre si, significa que são similares em relação aos atributos julgados, já quando distantes uns dos outros, apresentam altas diferenças entre eles.

Na FIGURA 19, vê-se que os tratamentos 5, 10, 11, 12 e 13, que são repetições do ponto central 150°C-22% estão próximos, apenas o 5 se

Na FIGURA 19, vê-se que os tratamentos 5, 10, 11, 12 e 13, que são repetições do ponto central 150°C-22% estão próximos, apenas o 5 se mostrou mais perto do 1(120°C-20%) do que dos outros tratamentos. Logo a ACP pode ser usada para verificar a dependência das respostas em relação aos tratamentos.

Os tratamentos 4(180°C-24%) e 6(192°C-22%) apresentaram comportamento similar em relação às características estudadas.

A localização de cada tratamento sugere, também, qual atributo se apresenta em maior intensidade nele.

Pode-se ver que a VI foi mais influenciada pelos tratamentos 4 e 6, com relação aos maiores valores, e pelo 2 (120°C-24%), com relação aos menores valores.

O IE, o ISA e o torque foram mais influenciados pelo tratamento 9 (150°C-19,2%), que apresentou os maiores valores, e em seguida pelos 5, 10, 11, 12, 13 e 1. Pelo fato do torque estar quase à mesma distância entre o CP1 e o CP2, ele também foi influenciado pelo tratamento 2 (120°C-24%). Portanto, o IE e o ISA foram maiores para amostras com temperaturas entre 120-150°C e umidade entre 19,2-22%.

3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA

a. Volume específico

A TABELA 19 apresenta os volumes específicos dos pães sem glúten.

A ANOVA para o volume específico, TABELA 9A, mostrou que a regressão foi significativa e explicou 85% da variação da resposta. Como o modelo apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro foi muito baixo, foi feita a ANOVA modificada, que mostrou a significância do efeito linear da regressão.

TABELA 19. VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E UMIDADES

Farinha pré-gelatinizada		Volume específico
Temp. (°C)	Umidade (%)	(ml/g)
120	20	1,94
120	24	1,71
180	20	2,35
180	24	2,20
150	22	2,18
192	22	2,06
108	22	1,62
150	24,8	1,91
150	19,2	2,12
150	22	2,02
150	22	2,04
150	22	2,02
150	22	2,03

O modelo foi ajustado e ocorreu apenas uma pequena diminuição do R^2 , de 85,07% para 84,56%. Logo a equação ajustada foi usada para prever o volume específico na região analisada.

$$\text{Vol. específico} = 0,104 + 0,032x - 0,042y - 0,00009x^2 \quad R^2 = 0,8456$$

Pela FIGURA 20, que mostra a representação gráfica da equação para o volume específico, verifica-se que os pães feitos com farinhas tratadas a altas temperaturas e baixas umidades apresentaram maior volume em relação aos outros.

AKOBUNDU *et al.* (1988) obtiveram o volume de 2,35 ml/g para pães sem glúten obtidos com misturas de farinha de milho, amido de milho, leguminosa e água, enquanto que DeFLOOR *et al.* (1991) obtiveram volume específico de 2,6 ml/g para pães feitos com farinha de mandioca, farinha de soja e amido extrusado de milho e, quando este último componente foi substituído por gliceril monoestearato de sódio, o volume foi de 2,9 ml/g.

BORGES *et al.* (1984) obtiveram pães de farinha de mandioca e farinha de soja com volume específico de 2,48 ml/g. Volumes específicos

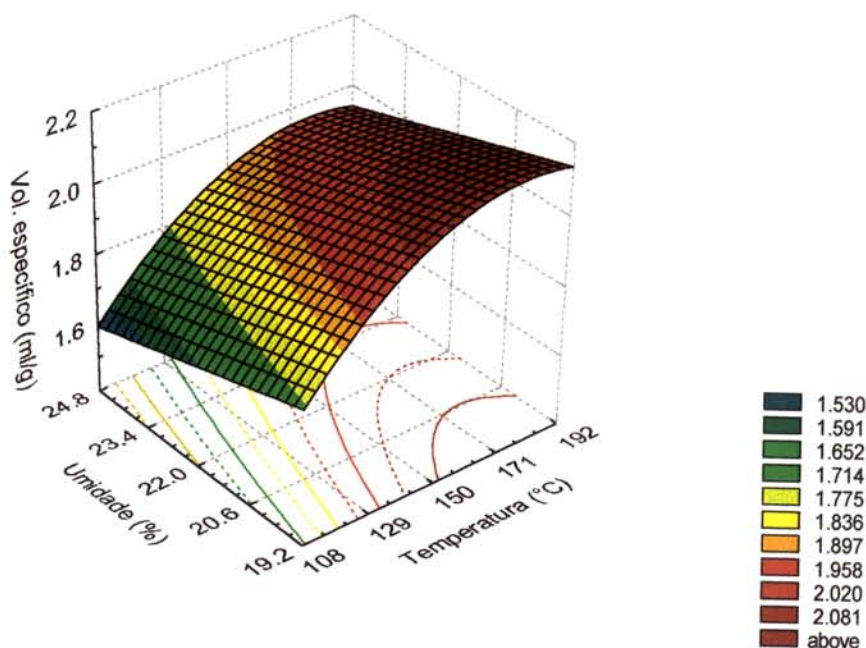


FIGURA 20. VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

mais baixos (de 1,7 a 2,0 ml/g) foram obtidos por KIM & RUITER (1969) que fizeram pães com farinha de inhame e farinha desengordurada de amendoim.

MACHADO (1996) obteve volume específico de 0,94 a 1,34 ml/g para pães sem glúten obtidos com farinhas gelatinizadas de arroz em diferentes formulações.

Os resultados encontrados na literatura para volume específico de pães sem glúten são baixos, quando comparados com os pães de farinha de trigo, que é de aproximadamente 6ml/g (EL-DASH *et al.*, 1982).

b. Cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten

Na representação do sólido do sistema CIE-Lab, como visto anteriormente na FIGURA 6, os valores de L* (luminosidade) vão de 0 (preto) até 100 (branco); +a* (até 100) corresponde ao vermelho, -a* (até -80) corresponde ao verde; +b* (até +70) corresponde ao amarelo e -b* (até -100) ao azul (FERREIRA, 1981).

Na TABELA 20 estão os resultados para cor da crosta e do miolo do pão nos valores L^* , a^* , b^* .

As análises de variância para os valores L^* , a^* e b^* da cor da crosta, TABELAS 10A, 11A e 12A, respectivamente, apresentaram características semelhantes, como regressão significativa, uma baixa explicação da variação dos dados observados (R^2 entre 30 e 40%) e falta de ajuste muito significativa. Logo os modelos não puderam ser analisados, pois indicaram que não houve diferenças significativas destes valores na região estudada. Os valores médios para L^* , a^* e b^* foram 59,01, 6,01 e 27,10, respectivamente.

TABELA 20. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR DA CROSTA E DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS (FPG)

FPG		Cor da crosta			Cor do miolo		
Temp(°C)	Umidade (%)	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
120	20	58,54	6,36	29,02	60,16	-1,24	3,44
120	24	60,60	1,87	23,58	62,40	-1,40	5,55
180	20	54,33	11,56	32,95	65,83	-1,45	5,45
180	24	54,34	11,04	32,21	61,48	-1,35	4,13
150	22	58,63	6,42	23,48	61,25	-1,33	4,87
192	22	58,19	2,76	22,78	52,73	-1,48	4,94
108	22	59,28	2,95	20,82	63,17	-1,46	4,27
150	24,8	63,40	4,73	27,42	57,83	-1,29	3,33
150	19,2	60,70	5,76	27,89	59,27	-1,21	3,45
150	22	58,69	6,75	30,71	59,52	-1,31	4,56
150	22	61,76	5,51	27,50	62,28	-1,32	4,74
150	22	59,52	6,27	26,76	59,65	-1,33	4,64
150	22	59,69	6,23	27,23	61,02	-1,32	4,72

Segundo dados de YLIMAKI *et al.* (1988), a cor da crosta de um pão de farinha de trigo no sistema Lab foi: $L^*=41,3$, $a^*=13,2$ e $b^*=17,7$. Comparando estes resultados com os obtidos neste trabalho, verifica-se que o pão sem glúten apresentou maior luminosidade, menor a^* (menos vermelho) e maior b^* (mais amarelo) em relação ao pão de trigo.

MACHADO (1996) obteve para a cor da crosta de pães sem glúten, feitos com farinhas de arroz gelatinizada pelo processo de aquecimento e cozimento em água, os valores de L^* = 48 a 66, a^* = 14 a 24 e b^* = 20 a 25. Comparando estes valores com os obtidos neste trabalho, verificou-se que os pães com FPG de arroz nas condições de 120°C-24%, 192°C- 22% e 108°C- 22% apresentaram valores semelhantes, enquanto que os outros pães tiveram maiores valores de a^* e b^* , indicando pães com melhores colorações de crosta.

Os valores de L^* dos miolos dos pães sem glúten apresentaram na ANOVA, TABELA 13A, modelo não significativo. Logo, não houve diferença significativa deste valor na região estudada, cujo valor médio de L^* foi 60,50.

A ANOVA para o valor a^* da cor do miolo, Tabela 14A, mostrou que a regressão foi significativa e o modelo explicou 89% da variação dos dados observados. Como houve uma pequena falta de ajuste, foi feita a ANOVA modificada, que constatou a significância dos efeitos quadrático e de interação da regressão. O modelo foi ajustado e ocorreu uma redução muito pequena do R^2 , de 89,15% para 89,12%. Logo a equação ajustada foi usada para prever o valor a^* do miolo dos pães na região estudada.

$$\text{Valor } a^* \text{ do miolo} = 5,251 - 0,582y - 0,00008x^2 + 0,0011xy + 0,0092y^2 \quad R^2=0,8912$$

Na FIGURA 21 pode-se visualizar uma região de maiores valores de a^* (menor tendência ao verde) perto do ponto central (150°C-22% de umidade), que se expande para as regiões de maiores temperatura e umidade e de temperatura menor que 170°C e umidade menor que 20%.

O valor b^* do miolo apresentou valores tendendo para a tonalidade amarela e muito próximos. A ANOVA para os valores b^* da cor do miolo, Tabela 15A, indicou que a regressão foi significativa ao nível de 95% de confiança e o modelo explicou 81% da variação dos dados observados. Como o modelo apresentou falta de ajuste muito significativa e baixo valor para o quadrado médio do erro puro, foi feita a ANOVA modificada, que constatou que nenhum efeito da regressão foi significativo. Portanto o comportamento do valor b^* do miolo não apresentou diferenças significativas na região estudada, tendo um valor médio de 4,47.

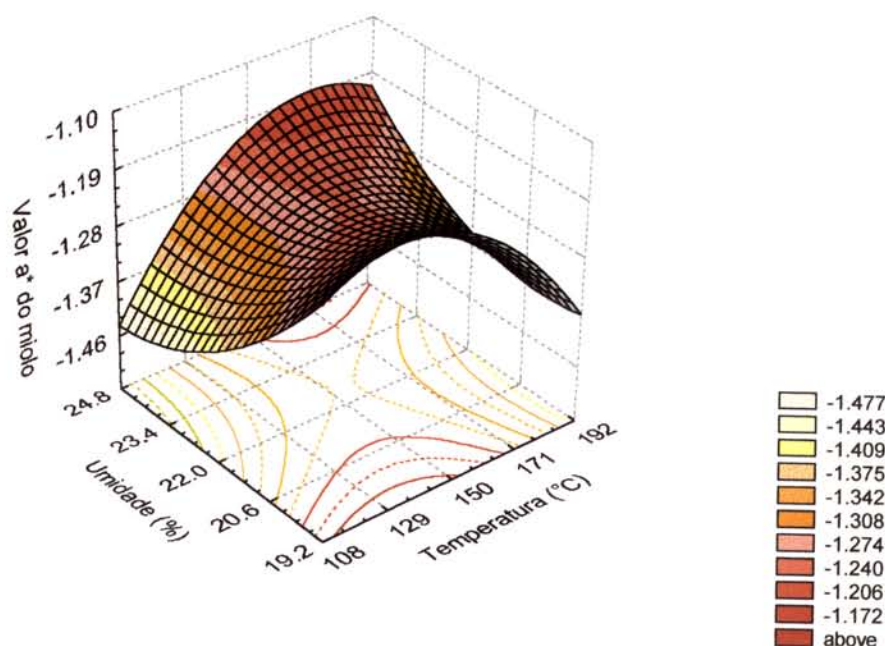


FIGURA 21. VALOR A* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

YLIMAKI *et al.* (1988), analisou a cor do miolo de pão de trigo e os valores foram: $L^*=64,2$, $a^*=-1,2$ e $b^*=7,9$. Comparando estes resultados com os dos pães sem glúten, pode-se observar que os componentes L^* e a^* foram muito próximos aos do pão de trigo, já o b^* foi menor, indicando que o pão sem glúten apresenta miolo de tonalidade mais branca em relação ao pão de trigo.

MACHADO (1996) ao elaborar pão sem glúten com farinha de arroz gelatinizada obteve cor de miolo nas seguintes variações: $L^*=77$ a 85 ; $a^*=0,30$ a $3,22$ e $b^*=4,39$ a $7,33$. Comparando estes dados com os encontrados neste trabalho, verifica-se que os pães com farinhas pré-gelatinizadas via extrusão apresentaram menores valores de L^* e a^* e valores de b^* semelhantes.

c. Análise do perfil de textura

A textura pode ser considerada como uma manifestação das propriedades reológicas de um alimento e constitui um atributo importante de

qualidade (CAMPOS *et al.*, 1989), uma vez que influi grandemente no julgamento da aceitabilidade do pão.

O perfil de textura de BRANDT *et al.* (citado por CAMPOS *et al.*, 1989) compreende características mecânicas, geométricas (tamanho e forma) e outras (percepção de gordura, umidade etc). As características mecânicas são importantes porque determinam a maneira pela qual o alimento se comporta na boca. Elas incluem cinco parâmetros primários: dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e adesividade. Os quatro primeiros se relacionam às forças de atração que agem entre as partículas do alimento em oposição à desintegração, enquanto a adesividade está relacionada com as propriedades de superfície.

Neste trabalho, a análise do perfil de textura (PAT) foi obtida de forma objetiva no texturômetro.

Na TABELA 21, estão os resultados da avaliação de textura, obtida após 1 hora da saída dos pães do forno e com resfriamento à temperatura ambiente.

TABELA 21. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA APÓS 1 HORA DE RESFRIAMENTO DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS DIFERENTES FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS (FPG)

FPG Temp (°C)	Umida de (%)	Elasti cidade	Gomo sidade	Fratura bilidade (g)	Coesi vidade	Dureza (g)	Mastiga bilidade
120	20	-1,102	94,272	214,05	0,456	207,00	-103,863
120	24	-1,157	81,935	183,85	0,458	178,85	-94,760
180	20	-1,127	92,817	212,10	0,457	207,35	-106,848
180	24	-1,261	64,543	142,75	0,463	139,40	-81,361
150	22	-1,105	107,78	241,10	0,456	236,50	-119,116
192	22	-1,140	88,004	199,10	0,455	193,40	-100,379
108	22	-1,126	89,768	201,15	0,458	196,10	-101,035
150	24,8	-1,125	82,576	186,15	0,458	180,70	-92,938
150	19,2	-1,128	82,514	187,30	0,454	181,80	-93,095
150	22	-1,145	103,068	235,20	0,454	227,00	-117,996
150	22	-1,124	83,580	189,55	0,458	182,75	-93,969
150	22	-1,122	78,760	167,35	0,457	168,25	-63,126
150	22	-1,157	75,590	164,20	0,456	161,00	-58,242

As análises de variância para as características de elasticidade, gomosidade, fraturabilidade, dureza e mastigabilidade, TABELAS 16A, 17A, 18A, 20A e 21A, respectivamente, mostraram características comuns como valores muito baixo de R^2 e regressão não significativa ao nível de 95% de confiança. Logo, estas características não apresentaram diferenças significativas entre os pães obtidos com as diferentes FPG. Os valores médios destas características na região estudada foram: elasticidade = -1,14; gomosidade = 86,55; fraturabilidade = 194,14g; dureza = 189,23g e mastigabilidade = - 94,36.

A ANOVA para a coesividade, TABELA 19A, indicou que a regressão foi significativa, explicou 48% da variação dos dados observados e não apresentou falta de ajuste. O modelo foi ajustado e ocorreu uma grande diminuição do R^2 , de 48% para 33%. Segundo DRAPER & SMITH, citados por GROSMANN (1986), é preverível usar o modelo completo, quando o modelo simplificado apresenta grande redução no valor de R^2 . Logo optou-se por usar o modelo completo para analisar a tendência da resposta da coesividade na região estudada, uma vez que o valor de R^2 não permite usar o modelo como preditivo.

$$\text{Coesividade} = 0,56 - 0,0009x - 0,004y + 0,0000006x^2 + 0,000013y^2 + 0,00003xy$$

$$R^2 = 0,4788$$

Nota-se pela FIGURA 22, que a tendência da coesividade do miolo do pão foi aumentar com o aumento da umidade e da temperatura.

Ao determinar a análise do perfil de textura de um pão com farinha de trigo, GUTKOSKI *et al.* (1996) encontraram os seguintes valores: dureza= 230,8g, mastigabilidade= -116,78, elasticidade=-1,304, coesividade= -0,388, gomosidade=89,71 e fraturabilidade= 242,6g. Comparando estes resultados com os obtidos neste trabalho para pães sem glúten, pode-se constatar que os pães cuja textura mais se aproximou do pão de trigo foram os obtidos com as FPG 180°C-20%, 150°C-22% e 120°C-20%.

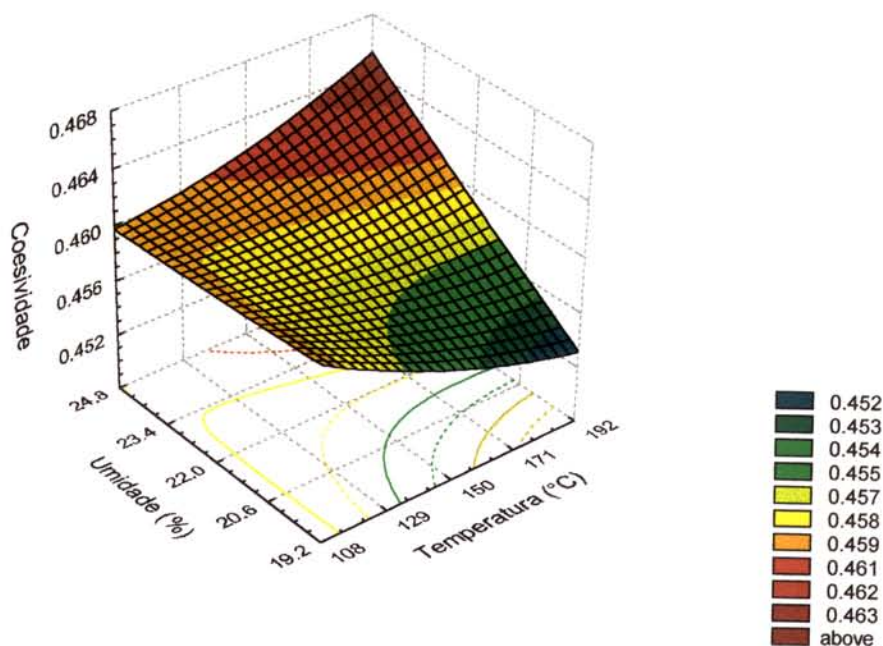


FIGURA 22. COESIVIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

d. Análise de componentes principais (ACP) das características de qualidade dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas.

Na FIGURA 23 está a ACP para as características de qualidade dos pães sem glúten, sendo que o gráfico A mostra as características de volume e cor da crosta e do miolo dos pães e o gráfico B, as características de textura.

No gráfico A pode-se observar que o CP1 explicou 45,63% da variação e o CP2 explicou 28,85%, dando um total de 74,48% de explicação da variação dos dados. No CP1, a maior variabilidade entre as amostras foi devido às características de volume (VOL), valor L* da crosta (CL), valor a* da crosta (CA), valor b* da crosta (CB) e valor L* do miolo (ML) e no CP2, foi devido aos valores a* e b* do miolo (MA e MB, respectivamente).

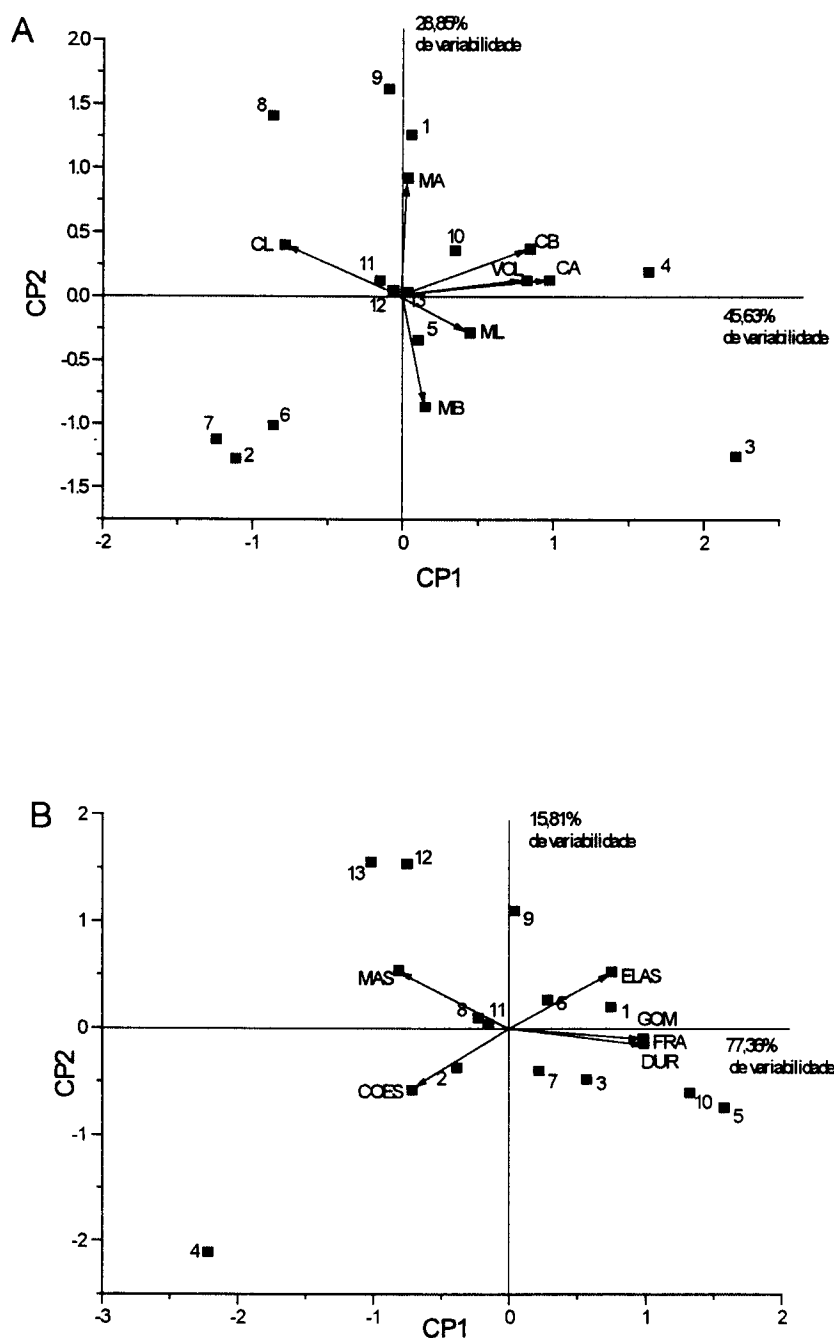


FIGURA 23. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DAS CARACTERÍSTICAS DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS (1=120°C-20%, 2 =120°C-24%, 3 =180°C-20%, 4 =180°C-24%, 5, 10, 11, 12, 13 =150°C-22%, 6=192°C-22%, 7= 108°C-22%, 8=150°C-24,8%, 9=150°C-19,2%, VOL=volume específico, CL= valor L* crosta CB= valor b* crosta, CA= valor a* crosta, ML= valor L* miolo, MA= valor a* miolo, MB= valor b* miolo, COES=coesividade, ELAS=elasticidade, FRA = fraturabilidade, DUR = dureza, GOM = gomosidade, MAS = mastigabilidade)

Analisando os tratamentos, verifica-se que as repetições 5, 10, 11, 12 e 13, do ponto central 150°C-22%, estão próximas e indicam que a ACP pode ser usada para descobrir a dependência das características analisadas em relação aos tratamentos.

Os tratamentos 7(108°C-22%), 2(120°C-24%) e 6(192°C-22%) apresentam similaridades em relação às características analisadas.

As variáveis VOL, CB, CA e ML foram mais influenciadas pelos tratamentos 3 (180°C-20%) e 4 (180°C-24%), sendo que o tratamento 3 foi o que apresentou maiores valores de VOL, CB e CA.

As variáveis ML e MB foram afetadas pelos tratamentos 2 e 3, apresentando nestes tratamentos os maiores valores.

A variável CL foi mais afetada pelos tratamentos 8 (150°C - 24,8%) e 2. Já, a variável MA foi mais influenciada, apresentando maiores valores, pelos tratamentos 1(120°C - 20%), 8(150°C - 24,8%) e 9(150°C - 19,2%),

Analisando o gráfico B, da FIGURA 23, pode-se observar que a ACP para as características de textura dos pães sem glúten explicou 93,17% da variabilidade dos dados, sendo que o CP1 explicou 77,36% e o CP2, 15,81%.

No CP1, a variabilidade foi devida a todas as características de textura, já no CP2, foi devida a elasticidade (ELAS), coesividade (COES) e mastigabilidade (MAS).

Em relação aos tratamentos, verifica-se que as repetições no ponto central, 5, 10, 11, 12 e 13, estão muito dispersas tanto no CP1 quanto no CP2, este fato impede que seja feita a relação de dependência entre os tratamentos e as características de textura. Podendo-se considerar que somente o tratamento 4(180°C-24%) se destacou e influenciou os maiores valores de coesividade (COES) e mastigabilidade (MAS).

Através da ACP verifica-se que o tratamento 3(180°C-20%) foi o que mais influenciou os maiores valores de volume e cor a^* e b^* da crosta, sendo

seguido pelo tratamento 4(180°C - 24%), que também influenciou os maiores valores de mastigabilidade e coesividade.

Portanto, foi selecionado, como referência para os outros pães com farinhas modificadas, o pão obtido com a FPG-180°C - 20% de umidade e a umidade de 20% foi a selecionada para se fazer as demais farinhas modificadas quimicamente e extrusadas.

A fotografia do pão selecionado está na FIGURA 24. Pode-se observar que o pão apresentou coloração semelhante ao de trigo tanto na crosta quanto no miolo, porém a crosta apresentou pequenas rachaduras que possibilitaram o escapamento do gás durante o assamento e o miolo apresentou células heterogêneas e grandes.



FIGURA 24. FOTOGRAFIA DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE ARROZ (180°C-20% DE UMIDADE)

C. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA E FOSFATADA POR EXTRUSÃO

Foi possível obter uma rede tridimensional de amido utilizando-se a farinha de arroz pré-gelatinizada. Como já exposto neste trabalho, esta rede tridimensional seria formada apenas por ligações de hidrogênio (FIGURA 2), que são ligações fracas (8,2-42 kJ/mol, MORRISON & BOYD, 1973). Partindo-se deste princípio, este trabalho visou aumentar a disponibilidade de formação de ligações de hidrogênio quando o amido fosse misturado à água e de fortalecer a rede tridimensional de amido através de compostos químicos que pudessem formar ligações covalentes (125-420kJ/mol, MORRISON & BOYD, 1973) e/ou iônicas (42-125kJ/mol, MORRISON & BOYD, 1973). A modificação por fosfatação durante o processo de extrusão teve como objetivo introduzir grupos fosfatos (ligações covalentes) na forma monoéster ou diéster na rede de amido, tornando-a mais forte e mais resistente.

1. OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA POR EXTRUSÃO PARA OBTENÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

Inicialmente foi feito um delineamento linear (TABELA 8) variando-se a concentração de tripolifosfato de sódio (TPS) e a temperatura de extrusão. A umidade foi fixada em 20% porque neste nível foi selecionada a farinha pré-gelatinizada (FPG) via extrusão que apresentou melhores características para fazer pão sem glúten. Os extrusados fosfatados de arroz obtidos foram secos e depois moídos, obtendo-se assim a farinha pré-gelatinizada fosfatada (FPG fosfatada).

Os volumes específicos (vol. esp.) dos pães obtidos estão na TABELA 22.

TABELA 22. VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES OBTIDOS COM AS DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

FPG fosfatadas		Volume específico (g/ml)
Temp. (°C)	TPS (g/100g)	
120	1	1,75
120	4	1,54
180	1	1,82
180	4	1,78
150	2,5	1,70
150	2,5	1,69
150	2,5	1,70

A ANOVA para o volume específico no delineamento linear, TABELA 22A, mostrou que o modelo foi significativo para a regressão, explicou 60% da variação da resposta e apresentou uma pequena falta de ajuste. A equação da regressão linear foi:

$$\text{Vol. esp.} = 1,71 - 0,063x_1 + 0,0767x_2 \quad R^2 = 0,6004$$

onde: x_1 =[TPS] em valores codificados

x_2 = Temperatura em valores codificados

Pela equação, observa-se que a tendência para o caminho de maior volume específico foi na direção das menores concentrações de TPS e maiores temperaturas de extrusão.

O caminho de ascendência máxima, visualizado na FIGURA 25, foi feito e os volumes específicos obtidos neste caminho podem ser vistos na TABELA 23.

Observa-se na TABELA 23, que os novos pontos não produziram uma FPG fosfatada adequada para o pão, pois os novos volumes específicos ficaram muito aquém dos já encontrados. Então, o delineamento linear foi mantido e acrescido de pontos em estrela para se tornar quadrático, uma vez que o modelo linear não foi muito adequado (baixo valor de R^2 e pequena falta de ajuste) para analisar as respostas na região a ser estudada. O novo delineamento pode ser observado na TABELA 24. Os extrusados fosfatados e

respectivas farinhas foram caracterizados e utilizados para a produção de pão sem glúten.

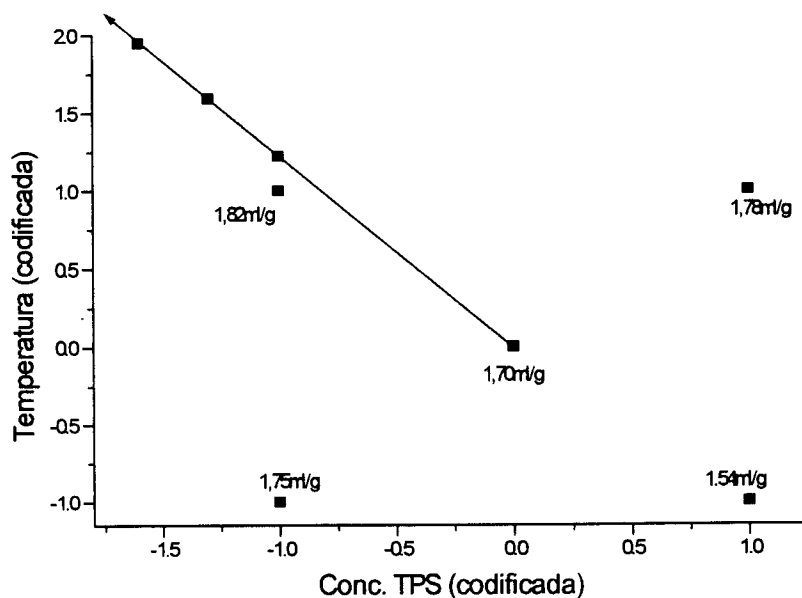


FIGURA 25. CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO VISANDO OBTOR FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA PARA PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN.

TABELA 23. PONTOS DO CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA A EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DO VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

	X_1 (codificado)	X_2 (codificado)	x_1 [TPS,g/100g]	x_2 (temperatura, °C)	volume específico (ml/g)
Condições centrais	0	0	2,5	150	1,7
Passos do caminho	-1	1,22	1	186,6	1,6
	-1,3	1,59	0,55	197,6	1,5
	-1,6	1,95	0,1	208,6	1,5

TABELA 24. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO COMPOSTO ROTACIONAL PARA OBTENÇÃO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA DE ARROZ

Temperatura (val.codificados) X	[TPS] (val.codificados) Y	Temperatura (valores reais) x(°C)	[TPS] (valores reais) y (g/100g)
-1	-1	120	1,00
-1	1	120	4,00
1	-1	180	1,00
1	1	180	4,00
0	0	150	2,50
$\sqrt{2}$	0	192	2,50
$-\sqrt{2}$	0	108	2,50
0	$\sqrt{2}$	150	4,62
0	$-\sqrt{2}$	150	0,38
0	0	150	2,50
0	0	150	2,50
0	0	150	2,50

2. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

a. Características viscoamilográficas

As características viscoamilográficas das farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas podem ser observadas na TABELA 25.

Verifica-se na TABELA 25, que todas as farinhas formaram pasta à temperatura ambiente (TIP = 30°C), indicando a gelatinização do amido em todos os tratamentos.

A ANOVA para a VI da FPG fosfatada, TABELA 23A, mostrou que o modelo apresentou significância para a regressão e explicou 83,81% da variação dos dados observados. Porém como ele apresentou falta de ajuste significativa e baixo quadrado médio do erro puro, foi feita a ANOVA modificada, que constatou que o modelo não pode ser usado para a análise

desta resposta. Pela TABELA 25, pode-se observar que a maior VI foi da FPG fosfatada 192°C-2,5g/100g.

TABELA 25. PROPRIEDADES VISCOAMIOGRÁFICAS DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS (FPG FOSFATADA) À CONCENTRAÇÃO DE 15%

FPG fosfatadas	VI	TIP	V95	V50
Temp. (°C)	(UA)	(°C)	(UA)	(UA)
TPS				
(g/100g)				
120	220	30	380	600
1,00				
120	180	30	380	490
4,00				
180	430	30	200	320
1,00				
180	280	30	190	390
4,00				
150	340	30	180	300
2,50				
192	800	30	170	170
2,50				
108	220	30	280	400
2,50				
150	160	30	130	310
4,62				
150	280	30	200	280
0,38				
150	380	30	200	400
2,50				
150	360	30	200	350
2,50				
150	320	30	170	340
2,50				

As análises de variância para as características V95 e V50, TABELAS 24A e 25A, respectivamente, mostraram semelhanças, pois não apresentaram regressão significativa. Logo estas características não puderam ser analisadas pela metodologia empregada. Os valores médios para V95 e V50 foram de 223UA e 362UA, respectivamente.

Na TABELA 25, verifica-se os maiores valores de viscosidade nas características VI e V50 e os menores na V95. Somente a FPG fosfatada 192°C-2,5g/100g apresentou o mesmo valor de V95C e V50C, indicando que neste ponto não houve retrogradação do amido durante o resfriamento.

b. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) podem ser observados na TABELA 26.

TABELA 26. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

FPG fosfatadas		IAA	ISA (%)
Temp. (°C)	TPS (g/100g)		
120	1,00	6,78	13,91
120	4,00	6,55	15,46
180	1,00	7,47	16,72
180	4,00	7,55	18,99
150	2,50	7,85	23,15
192	2,50	8,00	16,98
108	2,50	7,24	11,21
150	4,62	7,07	12,07
150	0,38	7,35	14,90
150	2,50	7,59	11,72
150	2,50	7,80	17,64
150	2,50	7,48	18,20

A ANOVA para o IAA, TABELA 26A, mostrou que os efeitos linear e quadrático da regressão foram significativos e o modelo não apresentou falta de ajuste, apesar de explicar somente 47,67% da variação dos dados observados. O ajuste do modelo pelo “stepwise” levou a uma grande redução do R^2 , de 47,67 para 27,18%, então se optou por utilizar o modelo completo para se analisar a tendência, devido ao baixo valor de R^2 , do IAA na região estudada.

$$IAA = 2,91 + 0,046x + 0,40y - 0,00013x^2 + 0,0017xy - 0,14y^2 \quad R^2 = 0,4767$$

Verifica-se na FIGURA 26 que o IAA sofreu influência do TPS, porém foi influenciado também pela temperatura de extrusão, apresentando maiores valores em temperaturas mais altas e concentrações de TPS de 2,5g/100g.

A ANOVA para o ISA, TABELA 27A, mostrou que a regressão não foi significativa. Portanto não houve diferenças significativas do ISA que apresentou valor médio de 15,91% na região estudada.

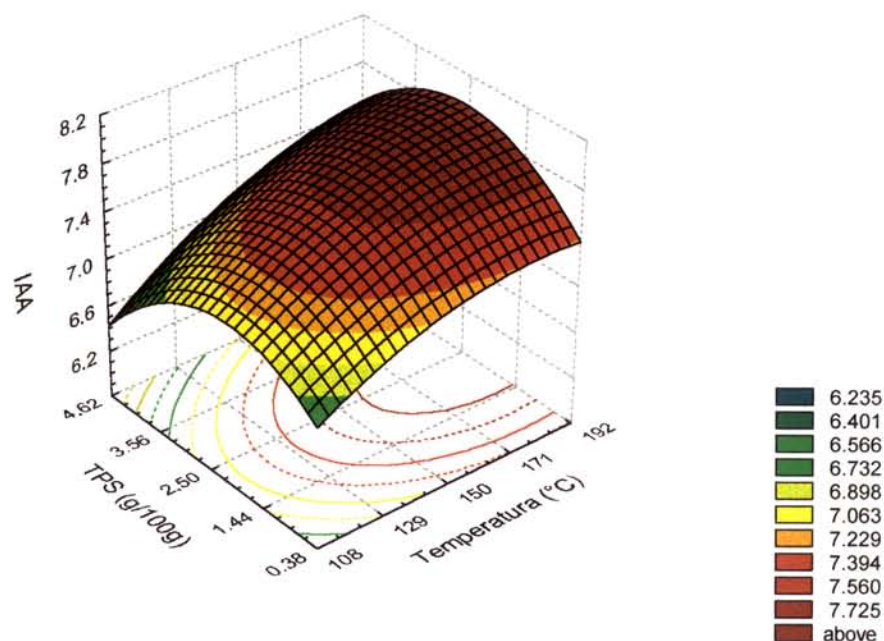


FIGURA 26. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE TPS SOBRE O ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

c. Análises complementares do processo de fosfatação por extrusão

i. Torque

O torque, obtido durante o processamento por extrusão das farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas de arroz, pode ser visto na TABELA 27.

Após a ANOVA para o torque, TABELA 28A, verificou-se que a regressão não foi significativa ao nível de 95% de confiança. Portanto, não houve diferença significativas desta característica na região estudada, tendo o torque um valor médio de 7241gf.m.

ii. Índice de expansão (IE)

A FIGURA 27 mostra uma fotografia dos extrusados fosfatados.

TABELA 27. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE TPS NO TORQUE E NO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS FOSFATADOS DE FARINHA DE ARROZ

Extrusados fosfatados		Torque (gf.m)	IE
Temp. (°C)	TPS (g/100g)		
120	1,00	8400	2,31
120	4,00	9000	2,36
180	1,00	7000	2,67
180	4,00	6700	2,33
150	2,50	7300	2,73
192	2,50	6500	1,82
108	2,50	6700	2,18
150	4,62	5400	2,78
150	0,38	8200	2,69
150	2,50	7400	2,66
150	2,50	7200	2,78
150	2,50	7100	2,79

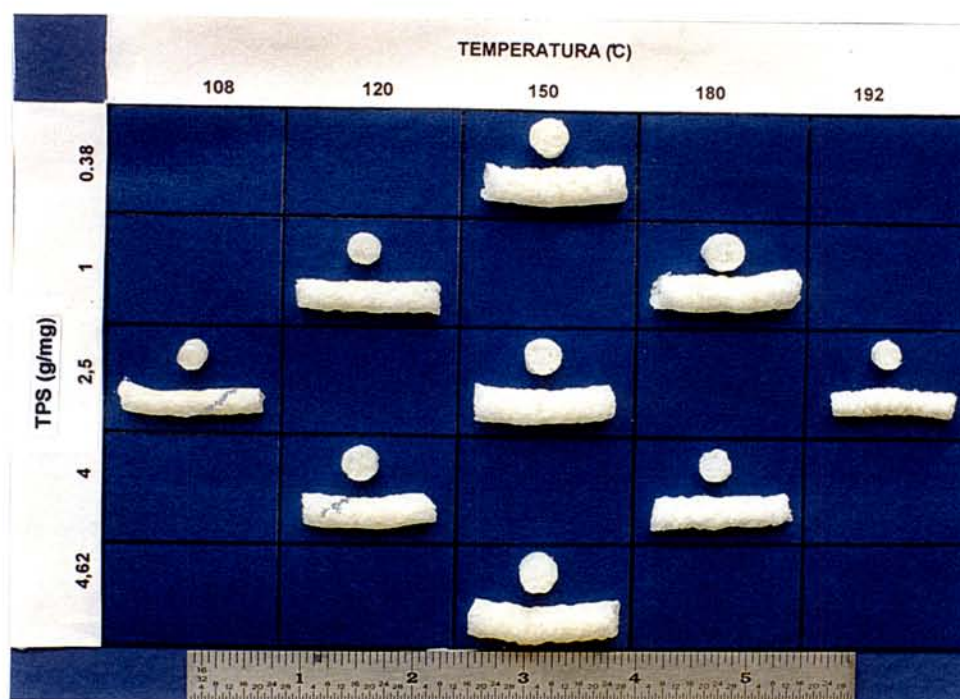


FIGURA 27. FOTOGRAFIA MOSTRANDO O EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE TPS SOBRE A EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS FOSFATADOS DE ARROZ

Na TABELA 27 observa-se os valores de IE dos extrusados fosfatados de arroz.

A ANOVA para o IE, TABELA 29A, mostrou que o modelo da regressão foi significativo e explicou 78% da variação dos dados observados. Como o modelo apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro foi muito baixo, foi feita a ANOVA modificada, que constatou a significância do efeito quadrático da regressão. O modelo foi ajustado e apresentou uma redução muito pequena do R^2 , de 78 para 77,95%. A equação ajustada foi usada para prever a resposta de IE na região estudada.

$$IE = -7,046 + 0,126x + 0,310y - 0,00041x^2 - 0,002xy \quad R^2 = 0,7795$$

Na FIGURA 28 está a representação gráfica de superfície de resposta para o IE. Observa-se que o IE foi influenciado pela temperatura e concentração de TPS e apresentou maiores valores na região perto de 150°C, tendo um ligeiro aumento à medida que a concentração de TPS aumentou.

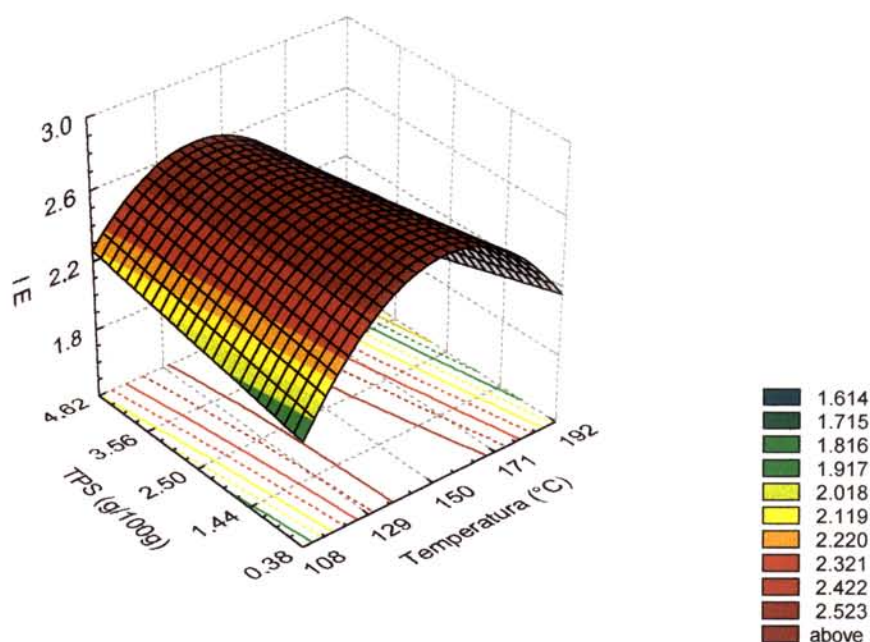


FIGURA 28. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE TPS SOBRE O ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS FOSFATADOS DE ARROZ

d. Análise de componentes principais para as características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com as variáveis dependentes e todos os tratamentos, sendo que 4 foram repetições do ponto central 150°C-2,5g/100g.

Na FIGURA 29, está a representação gráfica da ACP mostrando a variabilidade dos componentes principais CP1 e CP2. Vê-se que 72,91% das variações dos resultados foram explicados por estes dois componentes, sendo que o CP1 explicou 51,91% e o CP2, 21,00% da variabilidade dos dados.

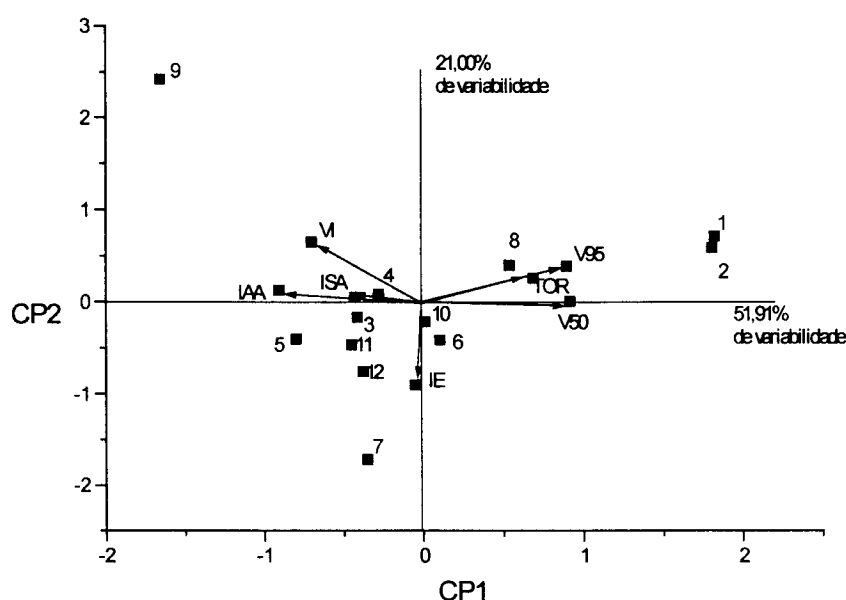


FIGURA 29. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) MOSTRANDO O EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE TPS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS DE ARROZ. (1=120°C-1g/100g, 2=120°C-4g/100g, 3=180°C-1g/100g, 4=180°C-4g/100g, 5, 10, 11, 12 =150°C-2,5g/100g, 6=150°C-0,38g/100g, 7=150°C-4,62g/100g, 8=108°C-2,5g/100g; 9=192°C-2,5g/100g, VI= visc. inicial, IAA= índice de absorção de água, ISA= índice de solubilidade em água, IE= índice de expansão, TOR= torque, V95= visc. a 95°C, V50= visc. a 50°C).

Os vetores que apresentaram menor ângulo e, portanto, explicaram melhor a variabilidade no CP1 foram V50, V95, Torque (TOR), VI, IAA e ISA, enquanto que no CP2 a maior variabilidade foi devida ao IE e a VI.

Pode-se observar na FIGURA 29, que as repetições no ponto central, 5, 10, 11 e 12 estão próximas, apresentando portanto comportamento semelhante. Os tratamentos 6 (150°C-0,38g/100g), 4(180°C-4g/100g) e 3(180°C-1g/100g) também estão próximos ao ponto central, logo apresentaram também comportamento semelhante ao do ponto central em relação às respostas analisadas.

As amostras 1(120°C-1g/100g) e 2(120°C-4g/100g) apresentaram comportamento semelhante e influenciaram os maiores valores de torque, V95 e V50. E estas duas amostras têm em comum a temperatura de extrusão de 120°C.

Verifica-se também, na FIGURA 29, que o IAA e a VI foram influenciados pelo tratamento 9(192°C-2,5g/100g), que apresentou maiores valores destas características. Já o índice de expansão (IE) foi mais influenciado pelo tratamento 7 (150°C-4,62g/100g), que obteve os maiores valores.

3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPG FOSFATADAS

a. Volume específico

Na TABELA 28 está o volume específico dos pães obtidos com as FPG fosfatadas.

Após a ANOVA para o volume, TABELA 30A, verificou-se que modelo não pode ser usado para esta característica, mesmo apresentando regressão significativa, pois apresentou falta de ajuste muito significativa e explicou somente 32,38% da variação dos dados observados. O volume específico médio foi de 1,74 ml/g para os pães obtidos com as FPG fosfatadas.

TABELA 28. VOLUMES ESPECÍFICOS DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

FPG fosfatadas		Volume específico (ml/g)
Temp. (°C)	TPS (g/100g)	
120	1,00	1,71
120	4,00	1,73
180	1,00	1,81
180	4,00	1,73
150	2,50	1,84
192	2,50	1,61
108	2,50	1,89
150	4,62	1,79
150	0,38	1,48
150	2,50	1,88
150	2,50	1,64
150	2,50	1,81

b. Cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten

Na TABELA 29 estão os resultados para cor da crosta e do miolo do pão no sistema CIE-Lab.

TABELA 29. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR DA CROSTA E DO MIOLO DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

FPG fosfatadas		Cor da crosta			Cor do miolo		
Temp.(°C)	TPS (g/100g)	L*	a*	b*	L*	a*	b*
120	1,00	67,02	1,47	14,92	59,52	-1,31	4,35
120	4,00	63,19	0,11	23,75	57,24	-1,42	5,11
180	1,00	62,25	2,76	24,46	57,85	-1,20	4,82
180	4,00	54,39	9,58	37,82	58,38	-1,25	5,36
150	2,50	57,66	7,63	33,40	61,22	-1,35	4,71
192	2,50	58,22	7,65	31,88	61,35	-1,10	7,89
108	2,50	60,79	3,74	30,05	60,37	-1,40	4,21
150	4,62	62,96	2,04	27,20	56,53	-1,32	4,41
150	0,38	63,04	4,00	28,20	59,59	-1,10	3,91
150	2,50	55,84	14,46	36,08	62,71	-1,34	4,56
150	2,50	59,55	12,26	34,17	58,51	-1,41	4,87
150	2,50	55,36	11,42	35,37	61,40	-1,35	4,55

As análises de variância para os valores L^* , a^* e b^* da crosta, TABELA 31A, 32A e 33A, respectivamente, apresentaram comportamento semelhante e mostraram que as regressões foram significativas, porém apresentaram falta de ajuste significativa e explicaram por volta de 65% da variação dos dados observados. Como o quadrado médio do erro puro, para todas as análises, não apresentou valor muito baixo, os modelos não foram usados para caracterizar estas respostas na região analisada. Os valores médios de L^* , a^* e b^* na região analisada foram 60,0; 6,14 e 29,77, respectivamente.

A ANOVA para o valor L^* do miolo, mostrou que o modelo de regressão foi significativo ao nível de 95% de confiança e não apresentou falta de ajuste, porém apenas 39,65% da variação dos dados observados foram explicados pelo modelo. O ajuste do modelo foi feito e levou a uma pequena diminuição de R^2 , de 39,65% para 35,28%. A equação do modelo ajustado foi usada para se avaliar a tendência da resposta na região analisada.

$$\text{Valor } L^* \text{ miolo} = 57,266 + 3,237y - 0,749y^2$$

$$R^2 = 0,3528$$

O valor L^* do miolo, que pode ser observado na FIGURA 30, mostrou tendência para maiores valores (mais claro) quando a concentração de TPS estava na região de 1,44 a 2,80g/100g.

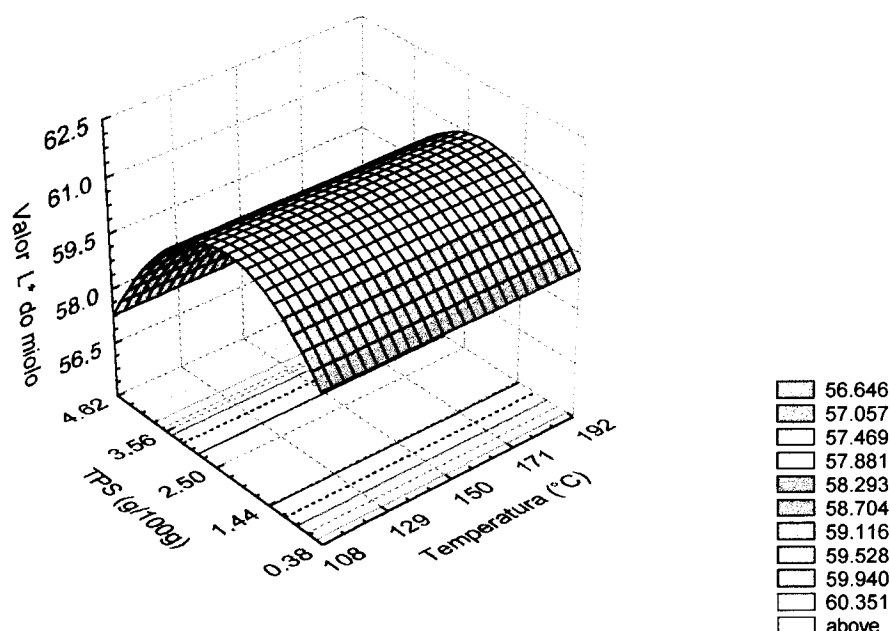


FIGURA 30. VALOR L^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

A ANOVA para o valor a^* do miolo mostrou significância para os efeitos linear e quadrático da regressão, sendo que o modelo não apresentou falta de ajuste significativa e explicou 59,88% (R^2) da variação dos dados observados. O procedimento de ajuste do modelo foi feito e ocorreu uma ligeira diminuição do R^2 , de 59,88% para 59,41%. A equação ajustada foi utilizada para avaliar a tendência desta resposta.

$$\text{Valor } a^* \text{ miolo} = -0,562 - 0,010x - 0,169y + 0,000043x^2 + 0,026y^2 \quad R^2=0,5941$$

O valor a^* do miolo, visto na FIGURA 31, mostrou tendência a menores valores em altas concentrações de TPS e baixas temperaturas.

A ANOVA para a cor b^* do miolo, TABELA 36A, mostrou que o modelo foi significativo para a regressão e explicou 74,35% da variação dos dados observados. Como ele apresentou falta de ajuste significativa e valor baixo para o quadrado médio do erro puro, foi feita a ANOVA modificada, que constatou que o modelo não foi significativo. Portanto os resultados obtidos para cor b^* do miolo não apresentaram diferenças significativas entre eles, tendo um valor médio de 4,90 na região analisada.

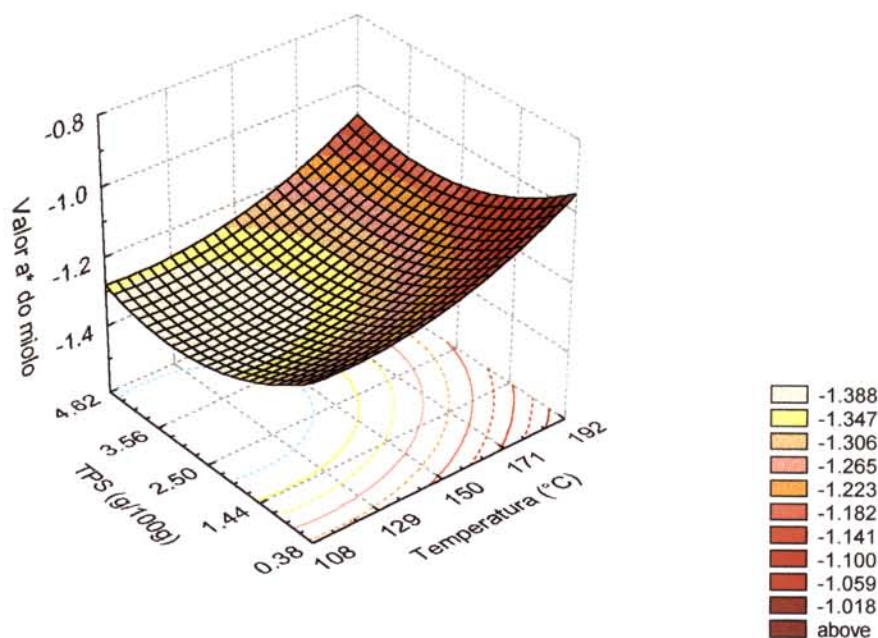


FIGURA 31. VALOR a^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

c. Análise do perfil de textura

Na TABELA 30, estão apresentados os resultados da análise do perfil de textura dos pães obtidos com as FPG fosfatadas após resfriamento de uma hora em temperatura ambiente.

TABELA 30. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

FPG fosfatadas		Análise do perfil de textura					
Temp. (°C)	TPS (g/100g)	Elasti- cidade	Gomosi- dade	Fratura- bilidade (g)	Coesi- vidade	Dureza (g)	Mastiga- bilidade
120	1,00	-1,108	191,940	429,65	0,461	416,5	-212,65
120	4,00	-1,114	130,320	291,15	0,461	283,0	-145,20
180	1,00	-1,111	138,030	309,95	0,457	302,1	-153,32
180	4,00	-1,127	108,570	243,66	0,458	237,3	-122,35
150	2,50	-1,111	107,980	246,15	0,455	237,8	-119,97
192	2,50	-1,163	119,710	268,20	0,460	260,3	-139,15
108	2,50	-1,148	86,380	193,25	0,460	187,8	-99,07
150	4,62	-1,127	99,500	223,90	0,460	216,7	-112,16
150	0,38	-1,099	90,940	202,10	0,462	196,9	-99,96
150	2,50	-1,153	99,790	221,45	0,461	216,7	-115,01
150	2,50	-1,130	119,12	267,75	0,460	259,4	-134,58
150	2,50	-1,101	103,25	235,05	0,455	227,1	-113,65

A ANOVA para a elasticidade, TABELA 37A, mostrou que somente o termo quadrático da regressão foi significativo, o modelo não apresentou falta de ajuste e explicou 36,50% da variação dos dados observados. O modelo foi ajustado, porém ocorreu uma grande diminuição no valor de R^2 , de 36,50% para 18,45%. Foi utilizado o modelo completo para se analisar a tendência da resposta, devido ao baixo valor de R^2 .

$$\text{Elasticidade} = -1,36 + 0,0037x - 0,02y - 0,000012x^2 + 0,0046y^2 - 0,000056xy$$

$$R^2 = 0,3650$$

Pela FIGURA 32 observa-se que a tendência para maiores valores de elasticidade foram obtidos com os pães processados em baixas concentrações de TPS, apresentando um ponto de cela na região central 150°C - 2,5g/100g.

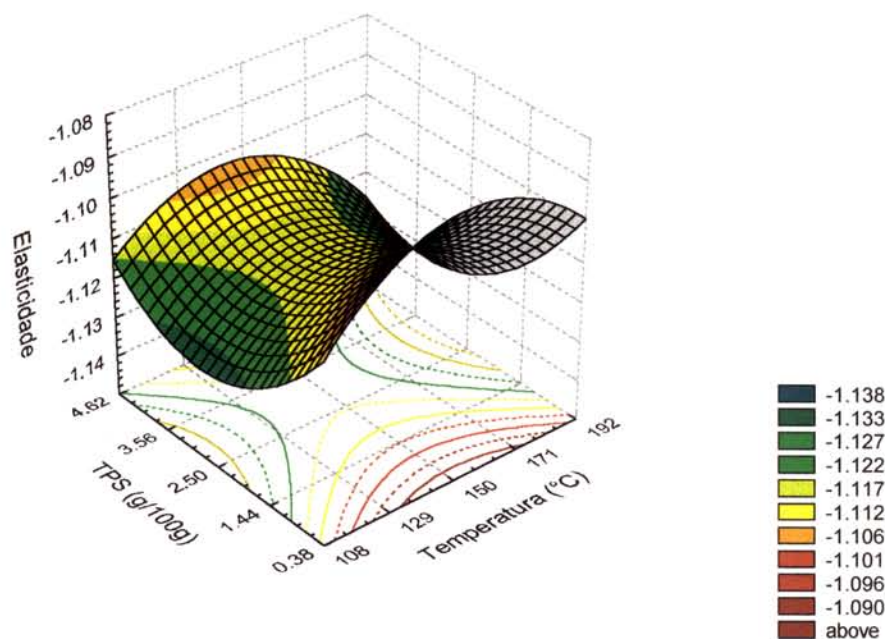


FIGURA 32. ELASTICIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

As características gomosidade, fraturabilidade, coesividade, dureza e mastigabilidade apresentaram análises de variância, TABELAS 38A a 42A, com características semelhantes, ou seja, baixa explicação para a variação dos dados observados ($R^2 < 30\%$) e regressões não significativas ao nível de 95% de confiança. Portanto estas respostas não apresentaram diferenças significativas, de acordo com a metodologia de análise empregada, na região analisada. Os valores médios destas respostas na região estudada foram: gomosidade = 116,29; fraturabilidade = 261,0g; coesividade = 0,459; dureza = 253,44g e mastigabilidade = -130,59.

d. Análise de Componentes Principais (ACP) das características de qualidade dos pães sem glúten obtidos com FPG fosfatadas

A ACP para as características de volume e cor da crosta e do miolo pode ser observada no gráfico A, e de textura no gráfico B da FIGURA 33.

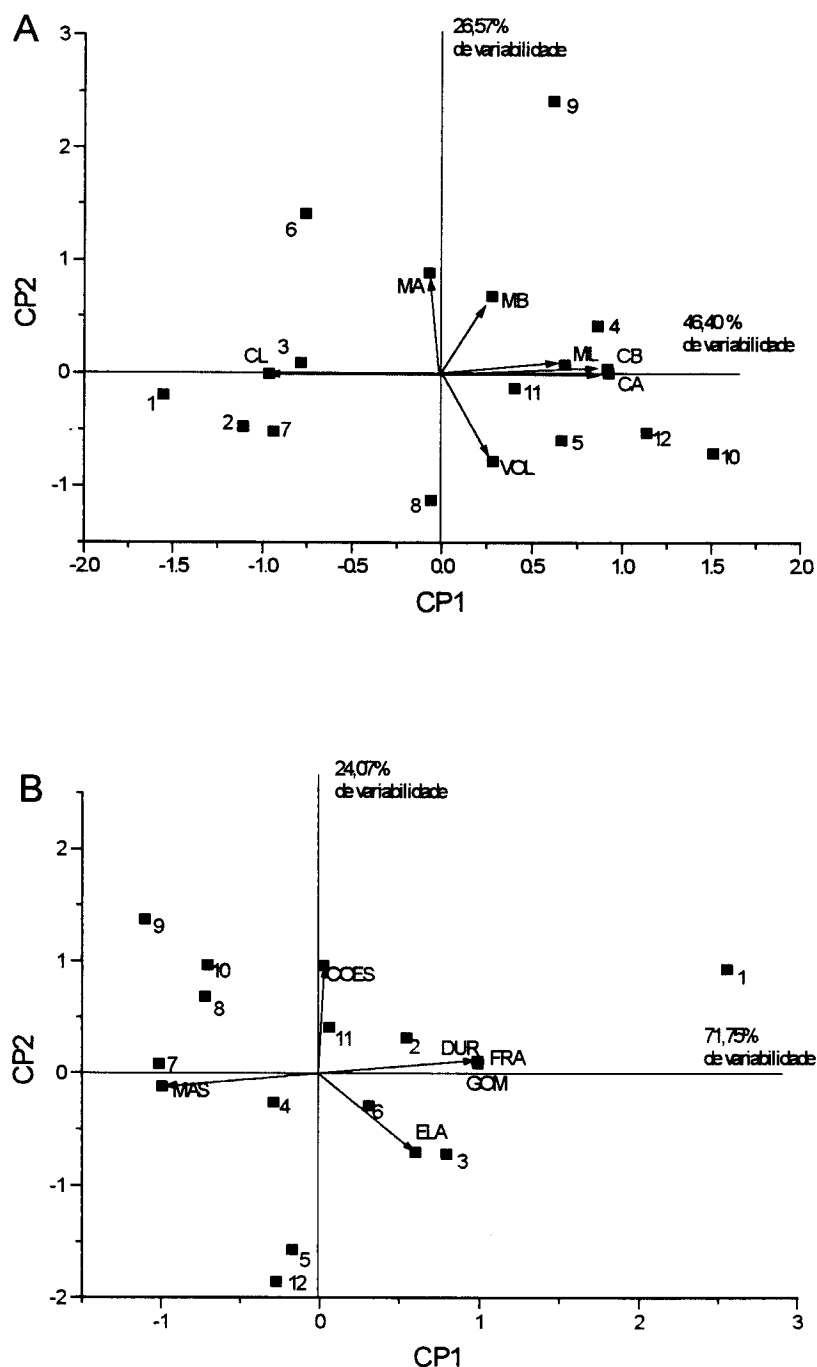


FIGURA 47. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DAS CARACTERÍSTICAS DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS DE ARROZ (1=120°C-1g/100g; 2=120°C-4g/100g; 3=180°C-1g/100g; 4=180°C-4g/100g; 5,10, 11, 12=150°C-2,5g/100g; 6=150°C-0,38g/100g; 7=150°C-4,62g/100g; 8=108°C-2,5g/100g; 9=192°C-2,5g/100g; VOL=volume específico, CL=valor L* crosta; CB=valor b* crosta, CA= valor a crosta, ML =valor L* miolo, MA=valor a* miolo; MB = valor b* do miolo; ELA = elasticidade, GOM = gomosidade, FRA = fraturabilidade, DUR = dureza, MAS = mastigabilidade)

No gráfico A, verifica-se que a ACP explicou 72,97% das variações dos dados, sendo que o CP1 explicou 46,40% e o CP2, 26,57% da variabilidade.

Verifica-se no CP1 que a maior variabilidade foi devida às variáveis dependentes CL (valor L* da crosta), CB (valor b* da crosta), ML (valor L* do miolo), e CA (valor a* da crosta). Já no CP2 a maior variabilidade foi devido ao VOL (volume específico), a MA (valor a* do miolo) e a MB (valor b* do miolo).

As repetições do ponto central, 150°C - 2,5g/100g, 5, 10, 11 e 12 estão mais próximas em relação ao CP2 do que em relação ao CP1, indicando que esta análise deve ser usada com cautela em relação ao CP1 para detectar a dependência das respostas em relação aos tratamentos.

Verifica-se que o volume específico (VOL) foi mais influenciado pelo tratamento 8 (108°C-2,5g/100g). As variáveis ML, CB e CA foram mais influenciadas pelo tratamento 4 (180°C-2,5g/100g) e pelos tratamentos 5, 10, 11 e 12 (150°C-2,5g/100g).

A variável CL foi mais afetada pelo tratamento 1 (120°C-1g/100g), a MB, pelo 9 (192°C-2,5g/100g) e a MA, pelos 9 (192°C-2,5g/100g) e 6 (150°C-0,38g/100g).

No gráfico B, que mostra as características de textura dos pães, os tratamentos que são repetições no ponto central estão muito dispersos tanto no CP1 quanto no CP2, o que dificulta a análise de dependência destas variáveis em relação aos tratamentos. Somente pode se destacar o tratamento 1 (120°C-1g/100g) como o que mais influenciou os maiores valores de dureza (DUR), fraturabilidade (FRA) e gomosidade (GOM).

As características tecnológicas dos pães sem glúten com FPG fosfatadas não apresentaram resultados muito diferenciados para cada tratamento. Assim a escolha da melhor farinha baseou-se, principalmente, no volume específico. Logo, dentro desta análise foi escolhida a FPG fosfatada 108°C-2,5g/100g de TPS, por ser a que mais influenciou os maiores valores

do volume, para ser usada para a produção de pão sem glúten e para os estudos posteriores de avaliação de qualidade.

A fotografia do pão sem glúten obtido com a FPG fosfatada 108°C-2,5g/100g pode ser observada na FIGURA 34 e pode-se verificar que o pão apresentou miolo com granulosidade uniforme, coloração de crosta e de miolo homogênea e crosta lisa na superfície.



FIGURA 34. FOTOGRAFIA DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA (108°C-2,5G/100G)

4. CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA - 108°C-2,5g/100g

O objetivo da incorporação do TPS na farinha de arroz e seu processamento por extrusão foi obter ao mesmo tempo uma farinha pré-gelatinizada contendo grupamentos fosfatos ligados ao amido na forma de mono, di ou triésteres, fortalecendo a rede tridimensional do amido.

A FPG fosfatada 108°C-2,5g/100g deTPS, que apresentou pães com melhores características tecnológicas foi analisada no IV, RMN-P³¹ e TG.

a. Espectro de IV

O espectro de IV da FPG fosfatada 108°C-2,5g/100g pode ser visualizado na FIGURA 35.

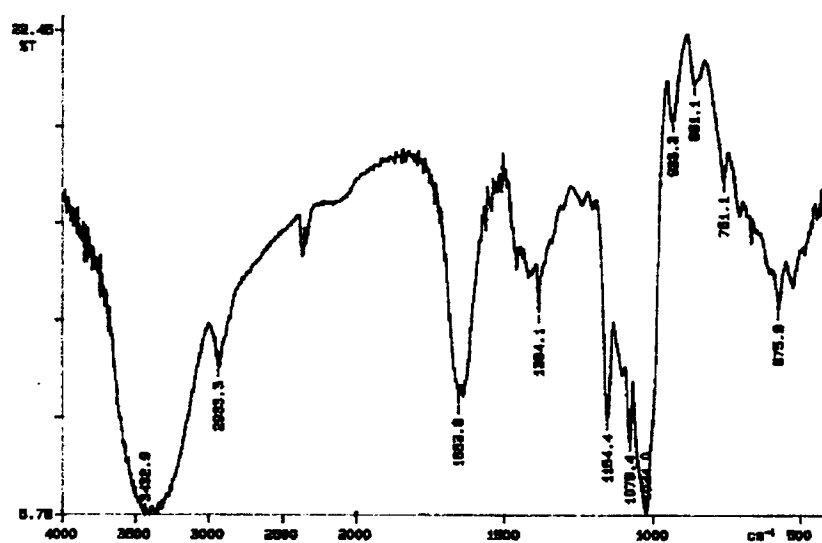
Comparando os espectros de IV da FPG fosfatada com o da farinha de arroz, verificou-se que não houve diferenças significativas entre eles, pois apresentaram as mesmas bandas de absorção, com pequenas mudanças nas intensidades das bandas. Assim, os tipos de ligações fosfatos formadas não puderam ser investigadas por este método.

b. Espectro de RMN-P³¹

O espectro de RMN-P³¹ da FPG fosfatada pode ser vista na FIGURA 36.

Ao analisar o espectro da RMN-P³¹ da FPG fosfatada, pode-se observar 2 sinais de fósforo: o primeiro pode indicar o fosfato na forma livre (2,78ppm) ou na forma de amido fosfomonoéster (2,78ppm), e o segundo mostra o sinal da presença de fósforo na forma de ligação fosfodiéster (-0,5ppm), quando comparados com compostos de referência na TABELA 12.

JANE *et al.* (1992) analisou a presença de fosfato em inhame por RMN-P³¹ e encontrou picos de amido fosfatomonoéster em C-6 (3,99ppm) e C-3 (4,47ppm) nas unidades de glicose e atribuiu ao sinal à 2,92 ppm ao fosfato livre. Outros autores também atribuíram ao sinal 2,92 ppm em amidos fosfatados, como sendo de fósforo livre (KASEMSUWAN & JANE, 1994).

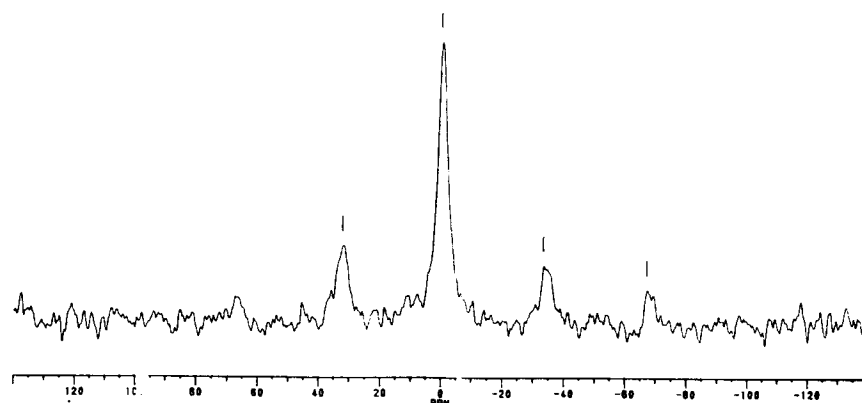


Farinha de arroz crua

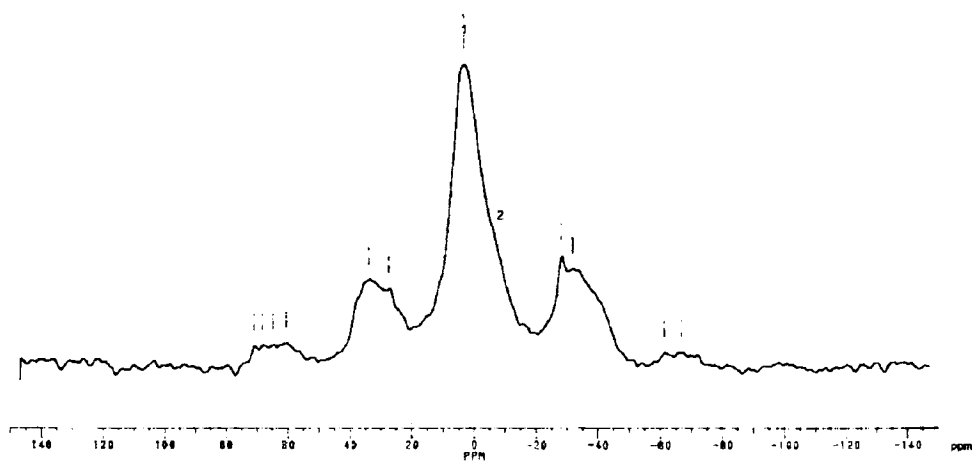


Farinha pré-gelatinizada fosfatada

FIGURA 35. ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA



Farinha de arroz crua



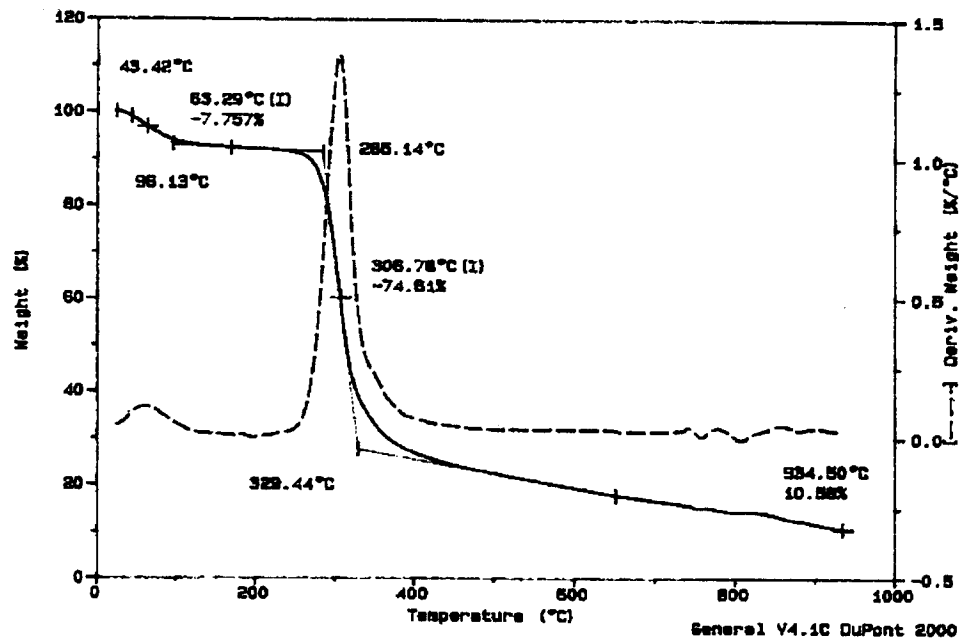
Farinha pré-gelatinizada fosfatada

FIGURA 36. RMN- P^{31} DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA

c. Curva termogravimétrica

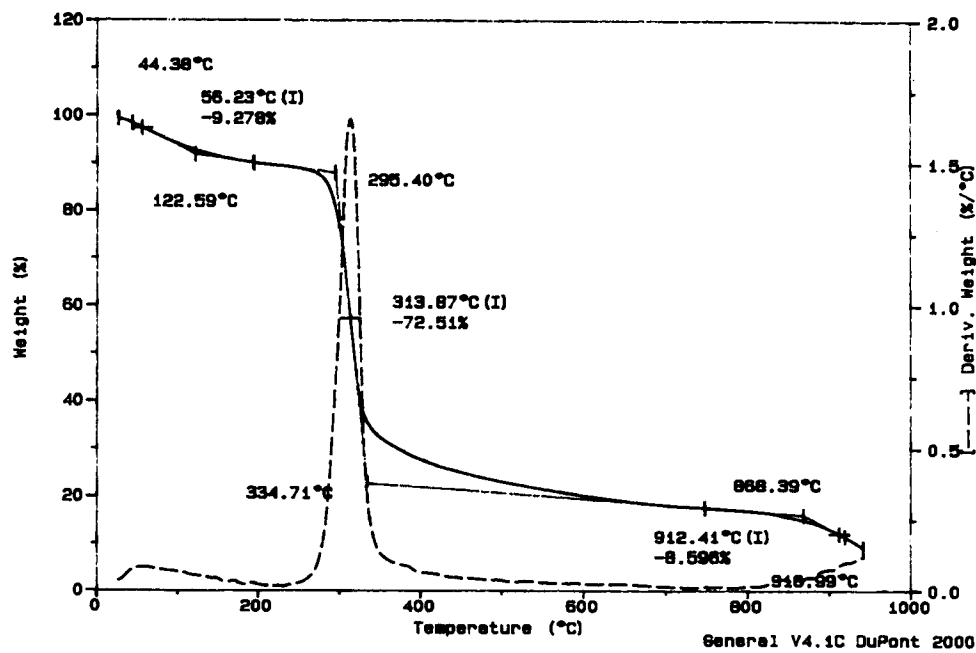
A curva termogravimétrica da FPG fosfatada 108°C-2,5g/100g pode ser vista na FIGURA 37.

TGA



Farinha de arroz crua

TGA



Farinha pré-gelatinizada fosfatada de arroz

FIGURA 37. CURVA TERMOGRAVIMÉTRICA DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA FOSFATADA

A curva termogravimétrica da FPG fosfatada foi muito semelhante à da farinha de arroz crua, mostrando perto de 800°C uma perda de massa, o que pode indicar a presença de fosfato transformando em pirofosfato. Talvez a taxa de aquecimento usada (10°C/min) não tenha permitido detectar as reações de quebra do fosfato mono e diéster ligados ao carbono, que devem ocorrer antes dos 700°C.

Após estas análises, provavelmente o fósforo possa estar ligado sob duas formas no amido: no carbono 1 e no carbono 4. E, provavelmente esteja também na forma de fosfato livre. A representação esquemática das possíveis ligações formadas, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, está na FIGURA 38.

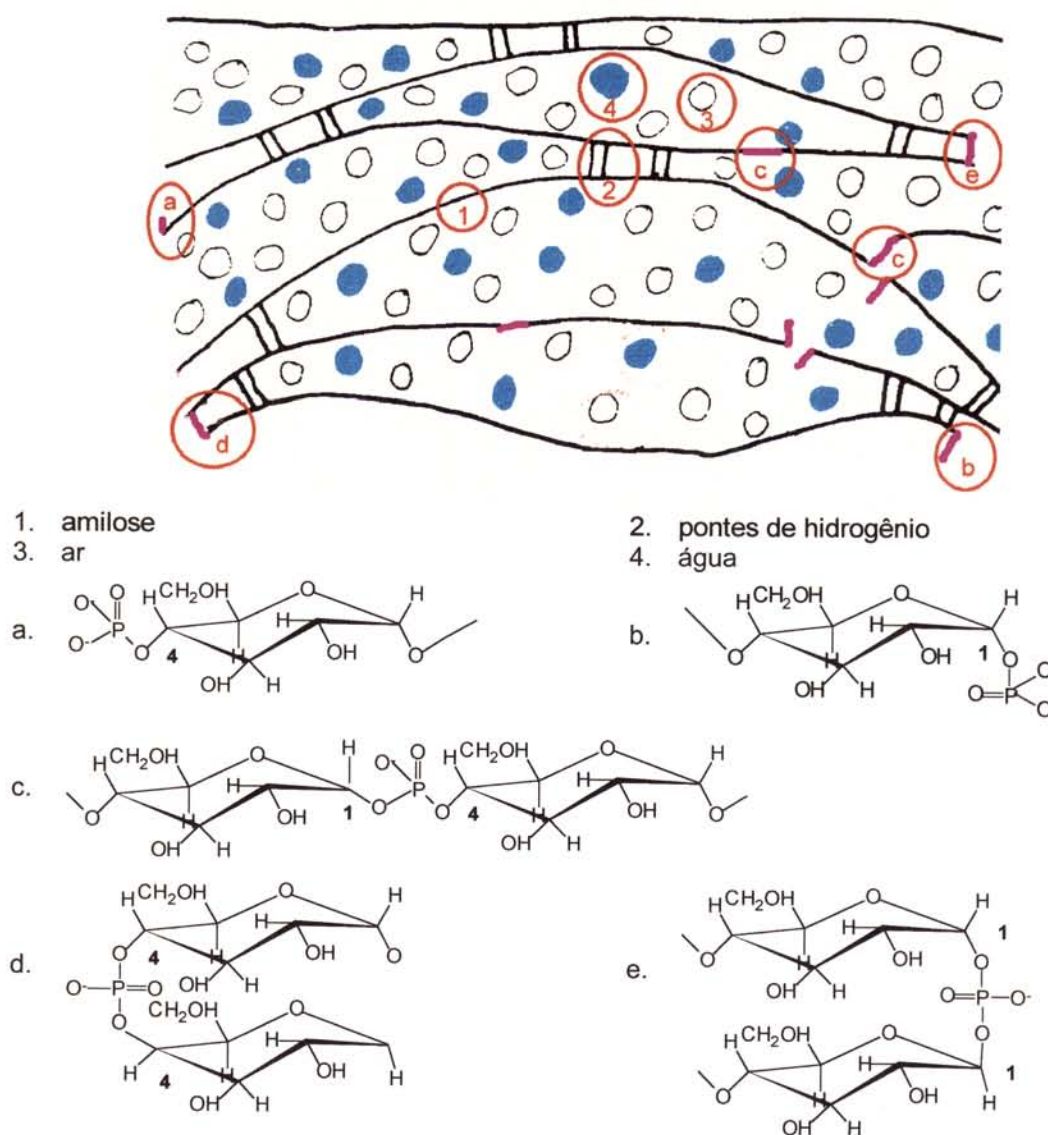


FIGURA 38. POSSÍVEIS LIGAÇÕES DE FOSFATO NO AMIDO DE ARROZ

D. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA

A modificação química da farinha feita através do processo simultâneo de extrusão e adição de POCl_3 visou obter uma farinha pré-gelatinizada intercruzada (FPG intercruzada) contendo ligações covalentes de fosfato entre cadeias de amilose e amilopectina, que proporcionassem o fortalecimento da rede tridimensional do amido quando este fosse usado para a produção de pão sem glúten.

1. OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FPG INTERCRUZADA POR EXTRUSÃO PARA OBTENÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

O delineamento linear (TABELA 8), seguido para obter as FPG intercruzadas foi feito, mantendo-se a umidade fixa em 20% para todas as farinhas.

A produção dos pães sem glúten com as FPG intercruzadas seguiu o mesmo procedimento descrito para pães com FPG. O volume específico dos pães pode ser visto na TABELA 31.

TABELA 31. VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES OBTIDOS COM AS DIFERENTES FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ

FPG intercruzadas		Volume específico dos pães (ml/g)
Temperatura (°C)	[POCl_3] ml/100g	
120	0,01	1,72
120	0,09	1,75
180	0,01	1,85
180	0,09	1,97
150	0,05	1,65
150	0,05	1,82
150	0,05	1,75

A ANOVA para o volume específico (TABELA 43A) mostrou que o modelo foi significativo, mas apresentou falta de ajuste significativa e explicou apenas 54,4% (R^2) da variação dos dados observados, indicando que o modelo linear não foi muito adequado para esta análise. A equação da regressão nas variáveis codificadas para o volume específico (vol. esp.) foi:

$$\text{Vol. esp.} = 1,788 + 0,0383x_1 + 0,09x_2 \quad R^2 = 0,5444$$

Onde $x_1 = [\text{POCl}_3]$ $x_2 = \text{temperatura } (^\circ\text{C})$

O caminho de ascendência máxima foi realizado e está apresentado na FIGURA 39. Pode-se observar que o caminho de maior volume foi na direção das mais altas temperaturas de extrusão e concentrações de POCl_3 .

Na TABELA 32, que mostra o resultado do volume específico no novo ponto calculado, pode-se verificar que o novo pão com FPG inter cruzada apresentou volume muito inferior aos já determinados experimentalmente. Então, o delineamento linear já existente teve que ser acrescido de novos pontos em estrela para se tornar quadrático, uma vez que não foi adequado para estimar os dados na região analisada, e pode ser visto na TABELA 33.

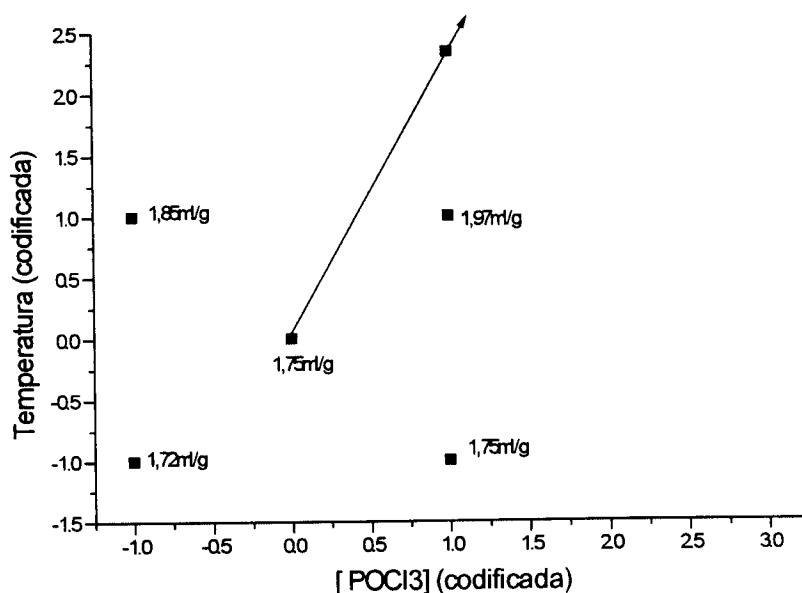


FIGURA 39. CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE OBTENÇÃO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA VISANDO OBTER PÃES SEM GLÚTEN

TABELA 32. PONTOS DO CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA A EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DO VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM DIFERENTES FPG INTERCRUZADAS.

	X ₁ (codificado)	X ₂ (codificado)	x ₁ (ml/100g)	x ₂ (temp. °C)	volume esp. (ml/g)
Condições centrais	0	0	0,05	150	1,74
Passos do caminho	1	2,34	0,09	220	1,55
	1,3	3,04	0,102	241	*

* não foi possível obter FPG intercruzada nestas condições operacionais

TABELA 33. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO COMPOSTO ROTACIONAL PARA OBTENÇÃO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA DE ARROZ

Temperatura (valores codificados)	[POCl ₃] (valores codificados)	Temperatura (valores reais)	[POCl ₃] (valores reais)
X	Y	x(°C)	y (ml/100g)
-1	-1	120	0,01
-1	1	120	0,09
1	-1	180	0,01
1	1	180	0,09
0	0	150	0,05
$\sqrt{2}$	0	192	0,05
$-\sqrt{2}$	0	108	0,05
0	$\sqrt{2}$	150	0,1066
0	$-\sqrt{2}$	150	0,0066
0	0	150	0,05
0	0	150	0,05
0	0	150	0,05

2. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

c. Características viscoamilográficas

As características viscoamilográficas das FPG intercruzadas podem ser observadas na TABELA 34.

TABELA 34. PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ À CONCENTRAÇÃO DE 15%

FPG inter cruzadas		VI	TIP	V95	V50
Temperatura x(°C)	[POCl ₃] y (ml/100g)	(UA)	(°C)	(UA)	(UA)
120	0,01	460	30	290	520
120	0,09	360	30	230	430
180	0,01	500	30	280	430
180	0,09	280	30	120	210
150	0,05	220	30	160	310
192	0,05	280	30	140	220
108	0,05	140	30	280	590
150	0,1066	300	30	140	240
150	0,0066	400	30	190	270
150	0,05	420	30	200	310
150	0,05	320	30	150	240
150	0,05	420	30	180	260

Todas as FPG inter cruzadas apresentaram temperatura inicial de pasta igual a 30°C, indicando que foram capazes de formar pasta à temperatura ambiente.

A ANOVA para a VI, TABELA 44A, indicou que a regressão não foi significativa ao nível de 95% de confiança, mostrando que não houve diferenças significativas desta característica na região estudada, tendo ela apresentado valor médio de 350 UA.

A ANOVA para a V95, TABELA 45A, mostrou que o modelo foi significativo para a regressão, não apresentou falta de ajuste e explicou 84% da variação dos dados observados. O modelo ajustado mostrou uma grande redução no R², de 84% para 67%, logo a equação completa foi escolhida para analisar esta resposta.

$$V95=1026,76 -10,06x +884,31y +0,033x^2+11600y^2-20,83xy \quad R^2=0,8401$$

A V95, visualizada na FIGURA 40, mostrou que temperatura e concentração de POCl₃ tiveram efeito significativo, sendo que maiores concentrações de POCl₃ e temperaturas levaram a uma diminuição da V95.

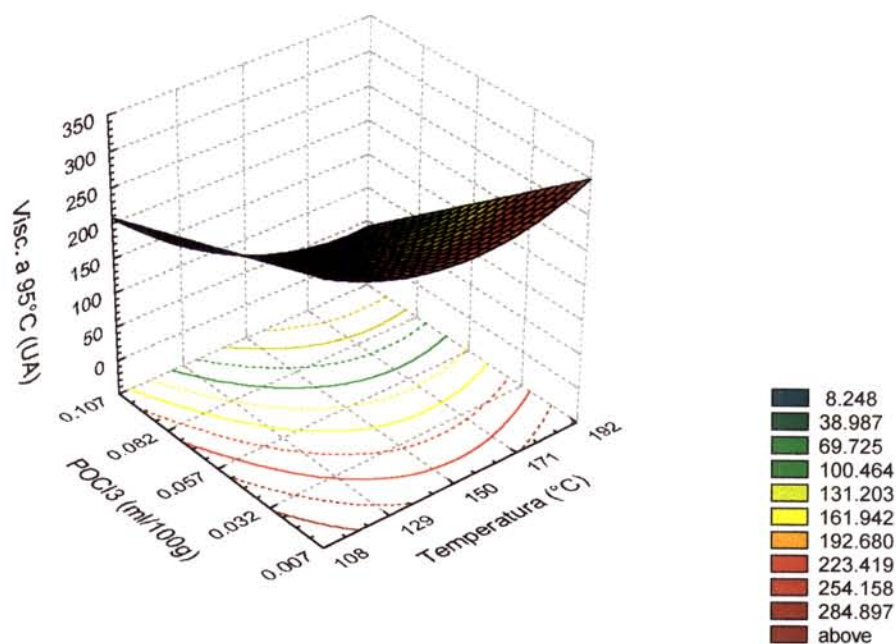


FIGURA 40. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE POCl_3 SOBRE A VISCOSIDADE A 95°C (V95) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS

A ANOVA para a V50, TABELA 46A, mostrou significância para a regressão. O modelo explicou 86,88% da variação dos dados observados e não apresentou falta de ajuste. O modelo foi ajustado ao nível de 85% de confiança e apresentou uma pequena diminuição do R^2 , de 86,88% para 84,72%, portanto a equação ajustada foi usada para prever a resposta de V50 na região analisada.

$$V50 = 2787,171 - 29,434x + 0,088x^2 - 9,041xy \quad R^2=0,8472$$

A V50, vista na FIGURA 41, mostrou que a retrogradação ocorrida no amido durante o resfriamento foi menor nas FPG inter cruzadas tratadas nas mais altas concentrações de POCl_3 e temperaturas de extrusão.

Todas as FPG inter cruzadas apresentaram V50 maior que a V95, indicando que houve retrogradação do amido em todos os tratamentos.

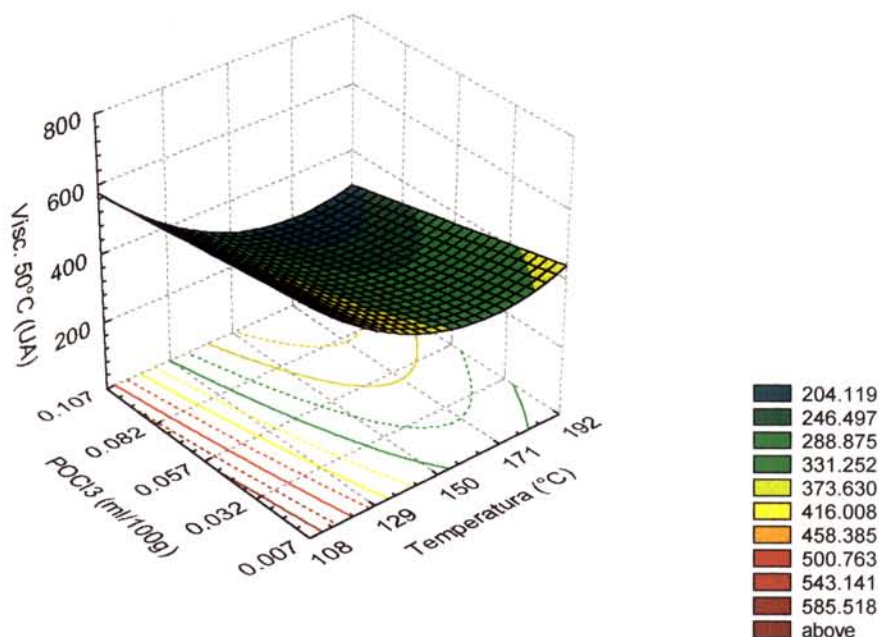


FIGURA 41. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE POCL_3 SOBRE A VISCOSIDADE FINAL A 50°C DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS

b. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) podem ser observados na TABELA 35.

As análises de variância para o IAA e para o ISA, TABELAS 47A e 48A, respectivamente, mostraram semelhanças como regressão significativa, porém com falta de ajuste significativa. Analisando o quadrado médio do erro puro, verificou-se que ele não foi muito baixo, então não se fez a ANOVA modificada. Portanto as respostas não mostraram, segundo esta análise estatística, diferenças entre os tratamentos na região estudada. O IAA e o ISA apresentaram valores médios de 5,8 e 20,0%, respectivamente.

TABELA 35. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ

FPG intercruzadas		IAA	ISA
Temperatura x(°C)	[POCl ₃] y (ml/100g)		(%)
120	0,01	5,36	12,72
120	0,09	5,67	18,30
180	0,01	5,67	16,21
180	0,09	6,06	32,38
150	0,05	5,90	22,08
192	0,05	6,29	32,15
108	0,05	5,91	9,26
150	0,1066	5,17	19,85
150	0,0066	5,99	19,53
150	0,05	5,66	18,73
150	0,05	5,86	21,83
150	0,05	6,22	17,12

c. Análises complementares do processo de intercruzamento e extrusão da farinha de arroz

i. Torque

Na TABELA 36 pode-se observar as características do torque dos extrusados intercruzados de arroz.

A ANOVA para o torque, TABELA 49A, mostrou que a regressão foi significativa ao nível de 95% de confiança, tendo o modelo explicado 83,29% da variação dos dados observados. Como ele apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro não foi muito baixo, não se fez a ANOVA modificada. A resposta para o torque não apresentou diferença significativa na região analisada, tendo valor médio de 7566 gf.m.

ii. Índice de expansão (IE)

Os extrusados intercruzados podem ser vistos na FIGURA 42.

Na TABELA 36 observa-se as características do IE dos extrusados de arroz.

TABELA 36. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE POCl_3 NO TORQUE E NO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS INTERCRUZADOS DE FARINHA DE ARROZ.

Tratamentos		Torque (gf.m)	IE
Temperatura x(°C)	[POCl_3] y (ml/100g)		
120	0,01	7800	2,05
120	0,09	7500	2,46
180	0,01	7150	2,53
180	0,09	6700	2,33
150	0,05	7950	2,80
192	0,05	6950	1,91
108	0,05	8650	2,03
150	0,1066	7450	2,64
150	0,0066	6900	2,69
150	0,05	8050	2,69
150	0,05	7200	2,70
150	0,05	6300	2,75

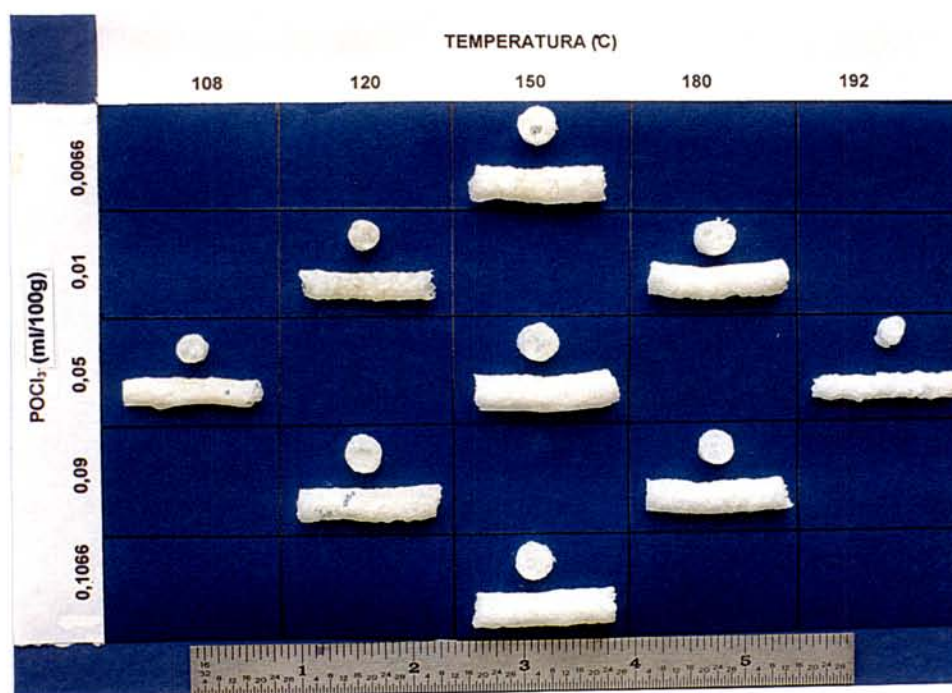


FIGURA 42. FOTOGRAFIA MOSTRANDO O EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE POCl_3 SOBRE A EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS INTERCRUZADOS

A ANOVA para o IE, TABELA 50A, mostrou que o modelo foi altamente significativo e explicou 86,57% da variação dos dados observados. Como ele apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro foi muito baixo, foi feita a análise de variância modificada, que provou ser o modelo altamente significativo para o efeito quadrático da regressão. Como todos os fatores foram significativos ao nível de 95% de confiança, não foi necessário ajustar o modelo. A equação completa foi utilizada para prever o IE na região analisada.

$$IE = -7,97 + 0,13x + 21,95y - 0,00043x^2 - 22,74y^2 - 0,13xy \quad R^2 = 0,8657$$

A representação gráfica do IE está na FIGURA 43. Pode-se observar nesta figura que os maiores valores de IE ocorreram em temperaturas na faixa de 150°C e aumentou com o aumento da concentração de $POCl_3$.

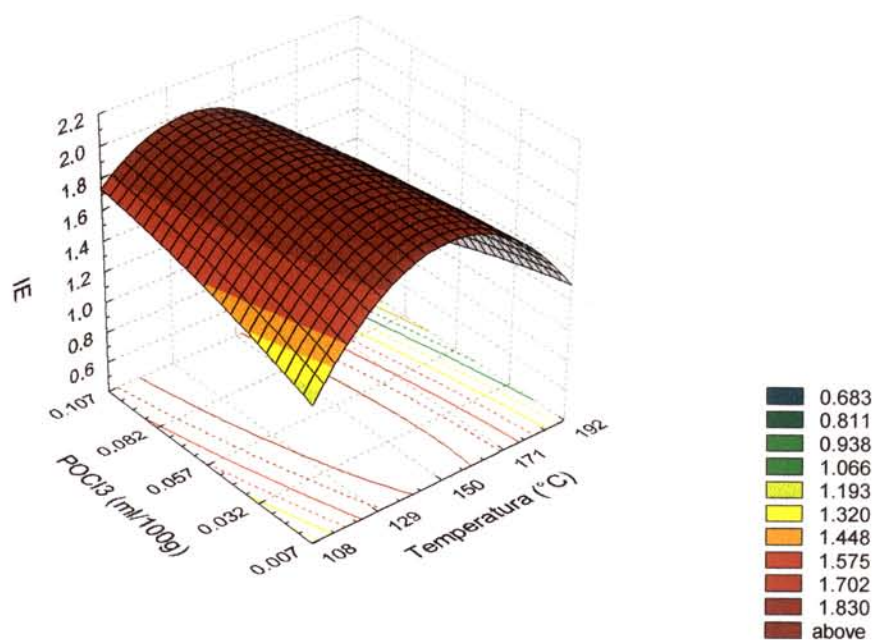


FIGURA 43. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE $POCl_3$ SOBRE O ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) EXTRUSADOS INTERCRUZADOS DE ARROZ

d. Análise de componentes principais para as características tecnológicas das FPG intercruzadas de arroz

A ACP foi realizada para todas as variáveis dependentes das características tecnológicas das FPG intercruzadas. Todos os tratamentos foram analisados, sendo que 4 dos 12 tratamentos representam o ponto central 150°C-0,05ml/100g. A ACP pode ser vista na FIGURA 44.

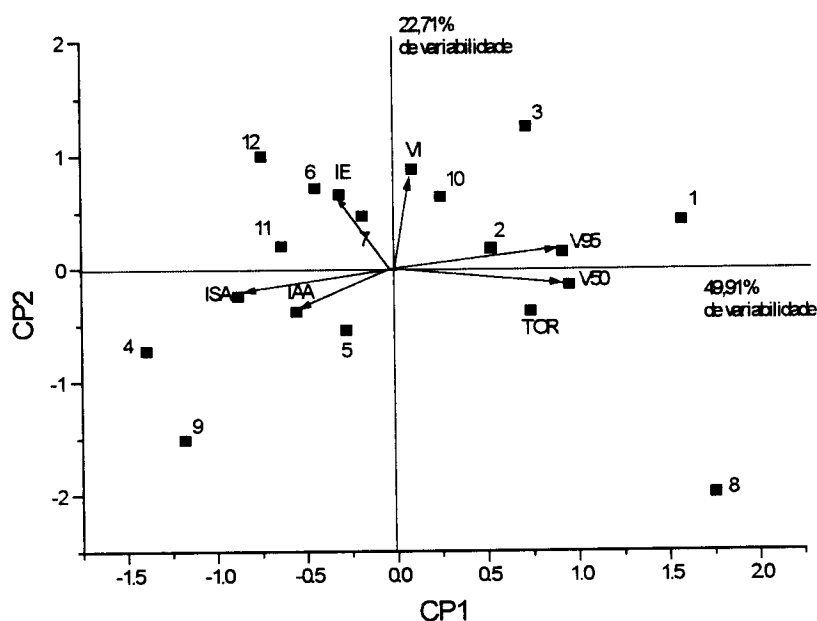


FIGURA 44. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS (1=120°C-0,01ml/100g; 2=120°C-0,09 ml/100g; 3=180°C-0,01 ml/100g; 4=180°C-0,09 ml/100g; 5,10,11,12=150°C-0,05 ml/100g; 6=150°C-0,0066 ml/100g; 7=150°C-0,1066 ml/100g; 8=108°C-0,05 ml/100g; 9=192°C-0,05 ml/100g; IAA= índice de absorção em água; ISA= índice de solubilidade em água; VI= viscosidade inicial; V95= viscosidade a 95°C; V50= viscosidade a 50°C e TOR=torque; IE= índice de expansão)

Pode-se verificar na FIGURA 44, que os 2 primeiros componentes explicaram 72,62% da variação dos resultados, sendo que o CP1 explicou 49,91% e o CP2, 22,71% da variabilidade.

Os tratamentos 5, 10, 11 e 12 que são repetições do ponto central 150°C-0,05ml/100g se mostraram muito dispersos tanto em relação ao CP1 quanto ao CP2, o que dificulta a interpretação da ACP, podendo-se fazer somente algumas considerações.

As amostras com maiores temperaturas de extrusão 9(192°C-0,05ml/100g) e 4(180°C-0,09ml/100g) apresentaram comportamento semelhante quanto às características tecnológicas e influenciaram o IAA e o ISA, mostrando maiores valores.

O torque, a V50 e a V95 foram influenciados pelas amostras com menor temperatura de extrusão: 1(120°C-0,01ml/100g) e 8(108°C-0,05ml/100g), sendo que a amostra 8 apresentou maiores valores de torque e V50.

3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ

a. Volume específico

A TABELA 37 mostra o volume específico dos pães.

TABELA 37. VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ

FPG inter cruzadas		Volume específico
Temperatura x(°C)	[POCl ₃] y (ml/100g)	(ml/g)
120	0,01	1,83
120	0,09	1,77
180	0,01	1,59
180	0,09	1,93
150	0,05	1,94
192	0,05	1,79
108	0,05	1,67
150	0,1066	1,77
150	0,0066	1,84
150	0,05	2,00
150	0,05	1,93
150	0,05	1,91

A ANOVA para o volume específico, TABELA 51A, mostrou que a regressão foi significativa ao nível de 95% de confiança, sendo a variação dos dados observados explicada em 78,12%. Como o modelo apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro foi muito baixo, foi feita a ANOVA modificada, que constatou que a regressão não pode ser usada para descrever esta resposta. Portanto o volume específico, segundo a metodologia usada, não apresentou diferenças significativas entre os diversos tratamentos e apresentou valor médio de 1,82 ml/g.

b. Cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten

Na TABELA 38 estão os resultados para cor da crosta e do miolo dos pães no sistema CIE-Lab.

Os valores de L^* , a^* e b^* da cor da crosta dos pães sem glúten apresentaram as análises de variância, TABELAS 52A, 53A e 54A, respectivamente, com comportamentos semelhantes, como regressão significativa e falta de ajuste significativa. Como o quadrado médio do erro puro não pode ser considerado muito baixo, não foi feita a ANOVA modificada. Portanto estas características, segundo a metodologia usada, não diferiram entre os diferentes tratamentos. Apresentando valores médios de L^* , a^* e b^* de 60,95; 5,15 e 26,39; respectivamente.

As características dos valores L^* , a^* e b^* para a cor do miolo também apresentaram análises de variância, TABELAS 55A, 56A e 57A, respectivamente, com falta de ajuste significativa e R^2 entre 25 a 52%. Logo, segundo a metodologia empregada, estas características não diferiram para as diferentes FPG intercruzadas na região analisada e apresentaram valores de $L^* = 60,45$; $a^* = -1,26$ e $b^* = 3,81$.

c. Análise do perfil de textura

Na TABELA 39 estão os resultados da análise do perfil de textura, obtida após 1 hora da saída dos pães do forno e com resfriamento à temperatura ambiente.

TABELA 38. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR DA CROSTA E DO MIOLO DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPG INTERCRUZADA DE ARROZ

FPG intercruzadas		Cor da crosta			Cor do miolo		
Temp. x(°C)	[POCl ₃] y (ml/100g)	L*	a*	b*	L*	a*	b*
120	0,01	58,41	6,07	29,40	60,96	-1,35	3,71
120	0,09	59,44	6,56	32,15	58,43	-1,14	3,40
180	0,01	60,34	6,82	29,29	61,32	-1,32	4,21
180	0,09	59,99	8,53	31,35	62,10	-1,11	3,54
150	0,05	60,70	3,32	21,63	64,01	-1,31	4,13
192	0,05	58,13	6,71	29,72	59,37	-1,33	3,89
108	0,05	66,74	-1,17	12,33	61,54	-1,34	5,20
150	0,1066	55,65	9,33	31,82	57,57	-1,20	3,24
150	0,0066	58,72	6,61	29,46	57,72	-1,32	3,55
150	0,05	64,08	3,47	21,98	60,73	-1,27	3,58
150	0,05	66,28	3,00	22,48	61,78	-1,21	3,72
150	0,05	62,94	2,59	25,10	59,82	-1,24	3,56

TABELA 39. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA APÓS 1 HORA DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS DIFERENTES FPG INTERCRUZADAS DE ARROZ

FPG intercruzadas		TEXTURA					
Temp. x(°C)	[POCl ₃] y (ml/100g)	Elasticidade	Gomosidade	Fraturabilidade (g)	Coesividade	Dureza (g)	Mastigabilidade
120	0,01	-1,116	84,526	186,2	0,465	182,1	-97,877
120	0,09	-1,211	72,284	160,8	0,462	156,7	-86,780
180	0,01	-1,178	94,143	208,3	0,464	203,0	-110,880
180	0,09	-1,234	71,752	161,5	0,464	156,5	-87,421
150	0,05	-1,137	89,180	199,6	0,460	194,2	-101,337
192	0,05	-1,114	111,777	252,1	0,456	245,3	-124,584
108	0,05	-1,128	107,072	239,2	0,460	233,0	120,127
150	0,1066	-1,104	89,135	198,5	0,459	194,2	-98,349
150	0,0066	-1,127	95,442	214,4	0,460	207,6	-107,561
150	0,05	-1,120	80,779	182,4	0,459	176,2	-90,382
150	0,05	-1,256	52,571	116,7	0,463	113,8	-65,074
150	0,05	-1,1033	99,026	221,7	0,459	215,7	-109,243

Verificou-se através das análises de variância, descritas nas TABELAS 58A a 63A, que as características de elasticidade, gomosidade, fraturabilidade, coesividade, dureza e mastigabilidade não apresentaram

regressão significativa ao nível de 95% de confiança. Portanto de acordo com a metodologia utilizada, estas características não apresentaram diferenças significativas entre os pães obtidos com as diferentes FPG intercruzadas. Os valores médios foram: elasticidade = -1,15; gomosidade = 87,31; fraturabilidade = 195,08g; coesividade = 0,46; dureza = 189,84g e mastigabilidade = -99,97.

d. Análise de componentes principais das características de qualidade dos pães sem glúten obtidos com FPG intercruzadas

A ACP para as características de volume e cor da crosta e do miolo dos pães pode ser observada na FIGURA 45, gráfico A. Verifica-se que o CP1 (55,47%) e o CP2 (23,03%) explicaram um total de 78,50% da variabilidade das respostas.

Pode-se verificar que a maior variabilidade do CP1 foi devida às variáveis CL (valor L* da crosta), MB (valor b* da crosta), CA (valor a* da crosta), CB (valor b* da crosta) e ML (valor L* do miolo), já a do CP2 foi devida ao VOL (volume específico) e MA (valor a* miolo).

Em relação aos tratamentos, pode-se observar que os tratamentos 5, 10, 11 e 12 que são repetições do ponto central 150°C-0,05ml/100g estão próximos e indicam que a análise pode ser usada para verificar a influência dos tratamentos nas características tecnológicas analisadas.

As variáveis MB, CL e ML foram influenciadas pelos tratamentos 8 (108-0,05ml/100g), que apresentou os maiores valores e 7 (150°C-0,05ml/100g), com os menores valores.

Os tratamentos 7 (150°C-0,05ml/100g) e 2 (120°C-0,09ml/100g) influenciaram as variáveis CB e CA, que apresentaram os maiores valores.

O VOL e a MA foram mais afetados pelo tratamento 4 (180°C-0,09ml/100g), com maiores valores, sendo seguido pelos tratamentos 5, 10, 11 e 12 (150°C-0,05ml/100g).

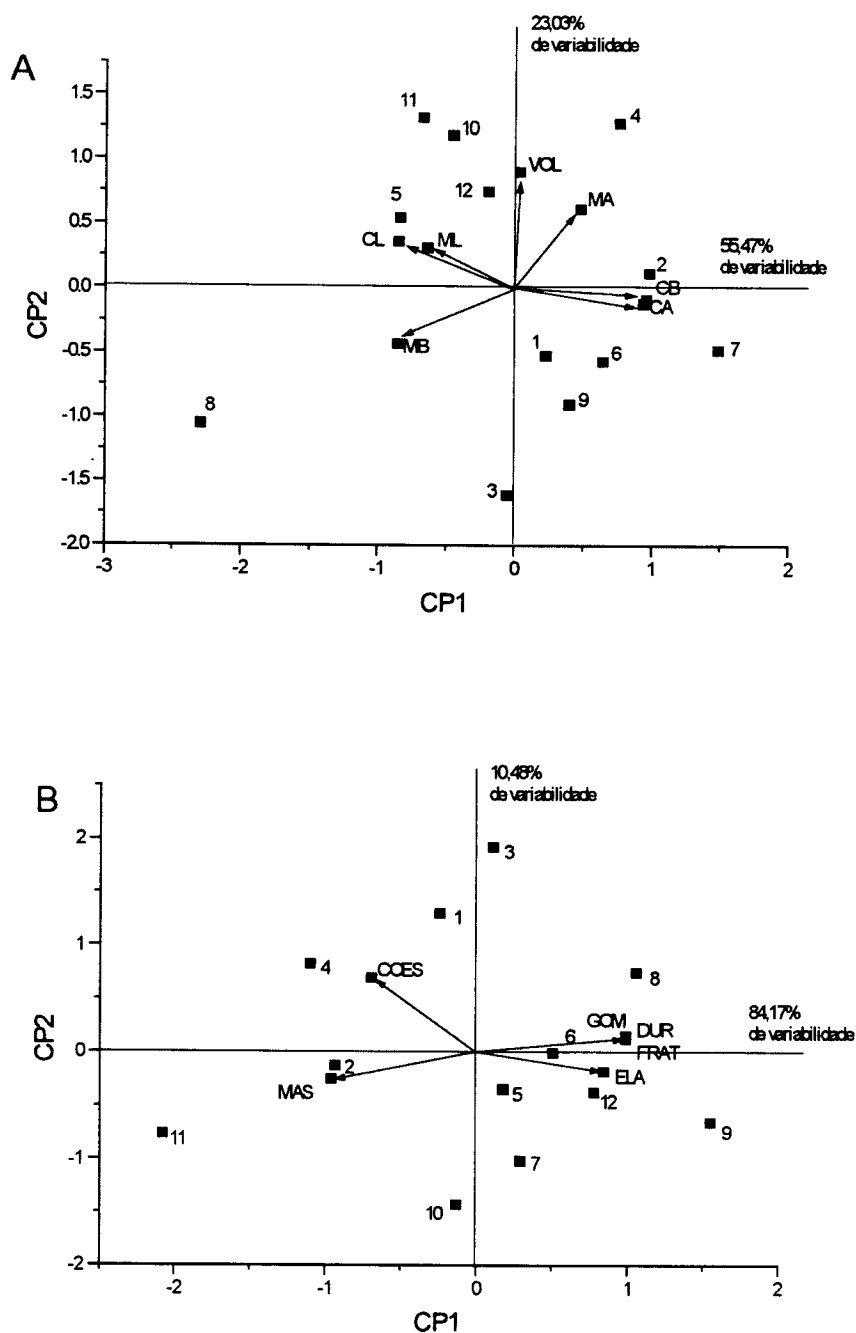


FIGURA 45. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DAS FPG INTERCRUZADAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO PÃO SEM GLÚTEN (1=120°C-0,01ml/100g; 2=120°C-0,09 ml/100g; 3=180°C-0,01 ml/100g; 4=180°C-0,09 ml/100g; 5,10,11,12=150°C-0,05 ml/100g; 6=150°C-0,0066 ml/100g; 7=150°C-0,1066 ml/100g; 8=108°C-0,05 ml/100g; 9=192°C-0,05 ml/100g; VOL= vol. esp.; ML= valor L* miolo; CL= valor L* crosta; MB =valor b* miolo; MA =valor a* miolo; CB = valor b* crosta, ELA = elasticidade, DUR = dureza, FRAT = fraturabilidade, GOM = gomosidade, MAS = mastigabilidade, COES = coesividade)

O gráfico B, da FIGURA 45, mostra as características de textura dos pães em relação aos tratamentos. A ACP mostrou variabilidade de 84,17% para o CP1 e 10,48% para o CP2, dando um total de 94,65% de variabilidade.

Todas as características de textura afetaram grandemente o CP1 e somente a COES (coesividade) afetou também o CP2.

Em relação aos tratamentos 5, 10, 11, 12, que são as repetições no ponto central (150°C-0,05ml/100g), eles ficaram muito dispersos tanto no CP1 quanto no CP2, o que impede uma análise precisa da ACP, podendo-se fazer poucas considerações.

O tratamento 9 (192°C-0,05ml/100g) foi o que mais afetou a ELA (elasticidade), FRAT (fraturabilidade), DUR (dureza) e GOM (gomosidade), apresentando os maiores valores destas características. Já, a COES (coesividade) foi mais influenciada pelos tratamentos 3, 1 e 4, tendo neles os maiores valores.

Após estas análises, a FPG inter cruzada 180°C-0,09ml/100g foi selecionada como a que produziu pão sem glúten com melhores características tecnológicas, uma vez que ela apresentou o maior volume específico e adequadas características de textura e cor do miolo. A fotografia do pão sem glúten obtido com a FPG inter cruzada 180°C-0,09ml/100g pode ser observada na FIGURA 46.



FIGURA 46. FOTOGRAFIA DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM FPG INTERCRUZADA (180°C-0,09ML/100G)

4. CARACTERIZAÇÃO DA FPG INTERCRUZADA (180°C-0,09ML/100G)

O objetivo do uso de POCl_3 foi introduzir algumas ligações cruzadas entre amidos, para que estas pontes fortalecessem a rede tridimensional de amido quando este fosse usado para a produção de pão sem glúten. O amido tratado com POCl_3 e extrusado apresentaria, então, algumas pontes com ligações covalentes entre cadeias e teria muitas pontes de hidrogênio, o que seria capaz de sustentar a rede de amido. Para analisar se este objetivo foi alcançado, foram feitos espectros de IV, RMN- P^{31} e TG da amostra selecionada 180°C-0,09ml/100g.

a. Espectro de Infravermelho

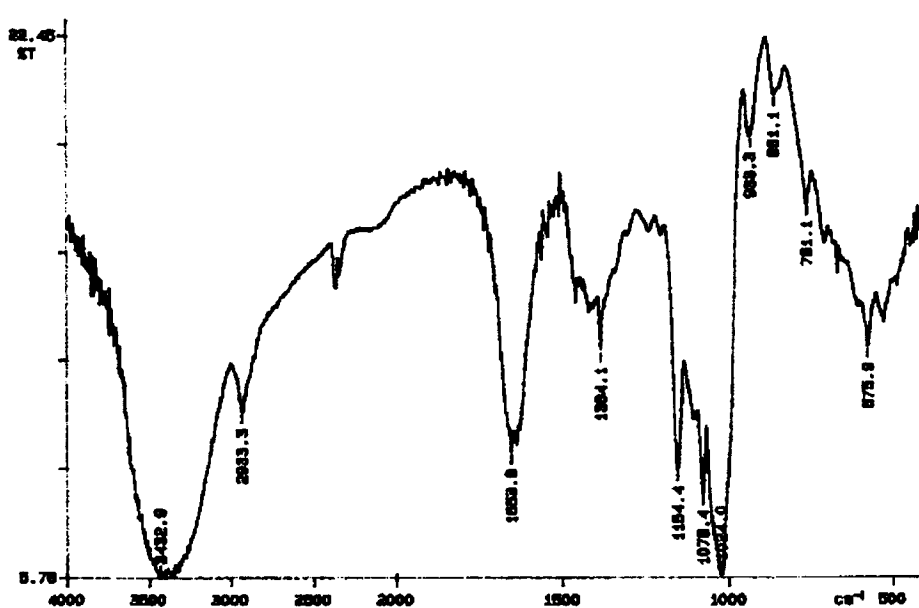
O espectro de Infravermelho da FPG intercruzada pode ser visto na FIGURA 47.

Analisando a FIGURA 47, observa-se que não houve diferenças entre o espectro da farinha de arroz crua e o da FPG intercruzada, logo a análise de infravermelho não pode ser usada para confirmar as novas ligações entre fosfatos e carbonos na FPG intercruzada.

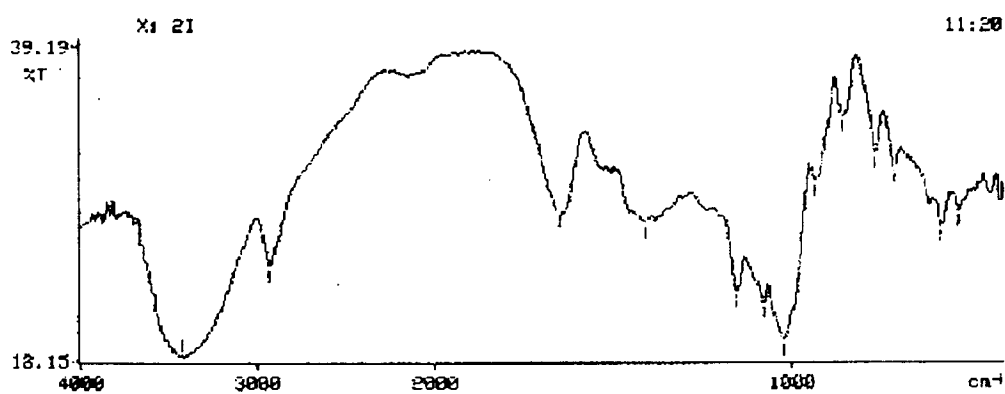
b. Espectro de RMN- P^{31}

Na FIGURA 48, o espectro de RMN- P^{31} da FPG intercruzada mostrou a presença de 2 sinais, um indicando a presença de amido fosfatomonoéster (2,79ppm) ou de fósforo livre e o outro muito próximo ao primeiro, pode indicar a presença de amido fosfodiéster (0,3ppm) ou fosfolípido, uma vez que a lecitina usada como referência para ligações fosfodiéster apresenta picos entre -1 e 1 ppm (TABELA 12).

Uma vez que se usou farinha de arroz para se fazer o tratamento com TPS e com POCl_3 , deve-se levar em consideração que a proteína presente na farinha também pode ter reagido com o fósforo, formando fosfoproteínas, uma vez que JAMES (1985) verificou que fosfoproteínas dão sinal entre 1,0-4,0 ppm em pH neutro.

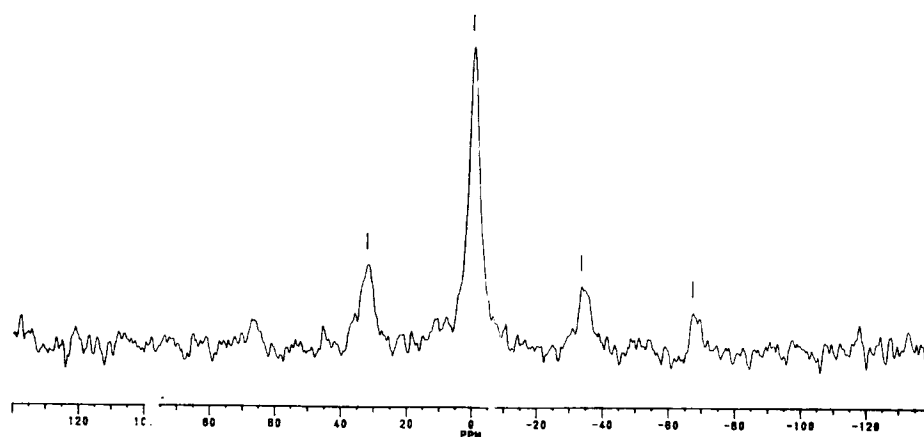


Farinha de arroz crua

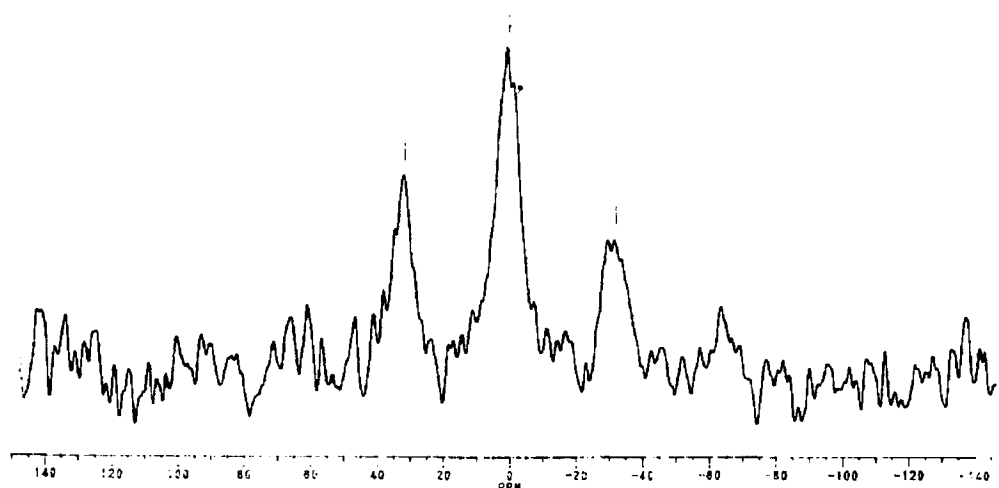


Farinha pré-gelatinizada inter cruzada de arroz

FIGURA 47. ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCruzADA



Farinha de arroz crua



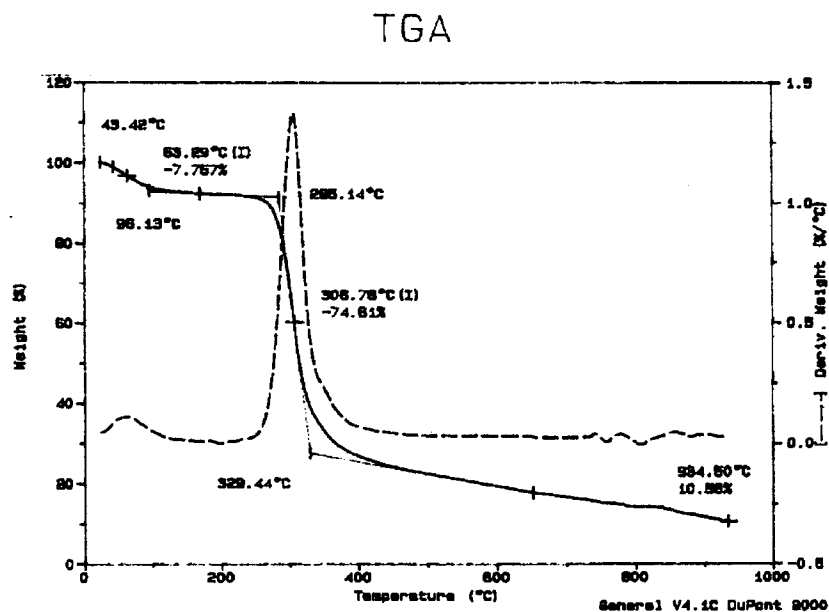
Farinha pré-gelatinizada inter cruzada de arroz

FIGURA 48. RMN-P³¹ DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA

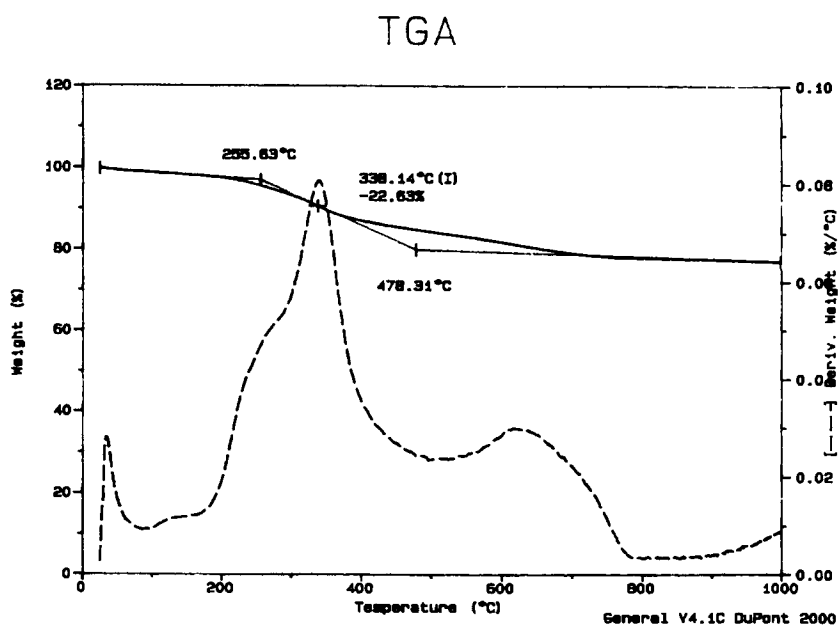
c. Curva termogravimétrica

A curva termogravimétrica da FPG inter cruzada 180°C-0,09ml/100g apresentada na FIGURA 49 mostrou uma perda de massa na região de 478°C e outra na região perto de 800°C, podendo indicar na primeira região a presença de grupos fosfatos ligados ao carbono e na segunda a transformação do fosfato em pirofosfato. Este fato pode ser visto também pela curva diferencial que consta na FIGURA 49.

Portanto, de acordo com o RMN- P^{31} e a curva termogravimétrica o $POCl_3$ pode ter reagido com o amido formando grupos fosfatos monoéster ou fosfato diéster, sempre ligados ao C4 ou C1, conforme modelo já exposto na FIGURA 38.



Farinha de arroz crua



Farinha pré-gelatinizada inter cruzada de arroz

FIGURA 49. CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS DA FARINHA DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADA INTERCRUZADA

E. PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN A PARTIR DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA DE ARROZ

A modificação da farinha de arroz com o processo de extrusão e o uso simultâneo de ácido láctico, levando a obtenção de uma farinha pré-gelatinizada ácida (FPG ácida), visou fazer com que este ácido orgânico hidrolisasse algumas ligações glicosídicas do amido, para melhorar o entumescimento deste em água e aumentar a disponibilidade de formação de ligações de hidrogênio, levando ao fortalecimento da rede tridimensional do amido quando este fosse misturado em água e consequentemente, aumentando a capacidade de retenção de gases durante a fermentação e o assamento do pão sem glúten.

1. OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FPG ÁCIDA PARA OBTENÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN

Como se observou que a FPG que proporcionou pães sem glúten com melhores características, foi obtida com temperatura de extrusão de 180°C e umidade de 20%, logo para obtenção da modificação química por ácido láctico juntamente com o processo de extrusão, o teor de umidade foi fixado em 20% para todos os tratamentos.

Inicialmente foi feito o delineamento linear (TABELA 9) para obtenção das FPG ácidas.

Na TABELA 40 está o resultado para a análise de volume específico (vol. esp.) dos pães obtidos com as FPG ácida. A ANOVA (TABELA 64A), mostrou que o modelo possui falta de ajuste significativa ao nível de 95% de confiança e explicou 68,27% da variação da resposta. A equação da regressão foi:

$$\text{Vol. esp.} = 2,037 + 0,16x_1 - 0,06x_2$$

$$R^2 = 0,6827$$

onde: x_1 = [ácido]; x_2 = temperatura

TABELA 40. VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES COM AS DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS (FPG ÁCIDA)

FPG ácidas		Volume específico dos pães (ml/g)
Temperatura (°C)	[Ácido láctico] (M)	
120	0,1	1,98
120	0,9	2,14
180	0,1	1,78
180	0,9	2,18
150	0,5	2,15
150	0,5	2,04
150	0,5	2,08

O caminho de ascendência máxima para otimização das condições de obtenção das FPG ácidas pode ser visto na FIGURA 50. Este caminho mostrou que o aumento do volume do pão ocorreu com o aumento da concentração de ácido e a diminuição da temperatura. Os resultados obtidos para o volume dos novos pontos estão na TABELA 41.

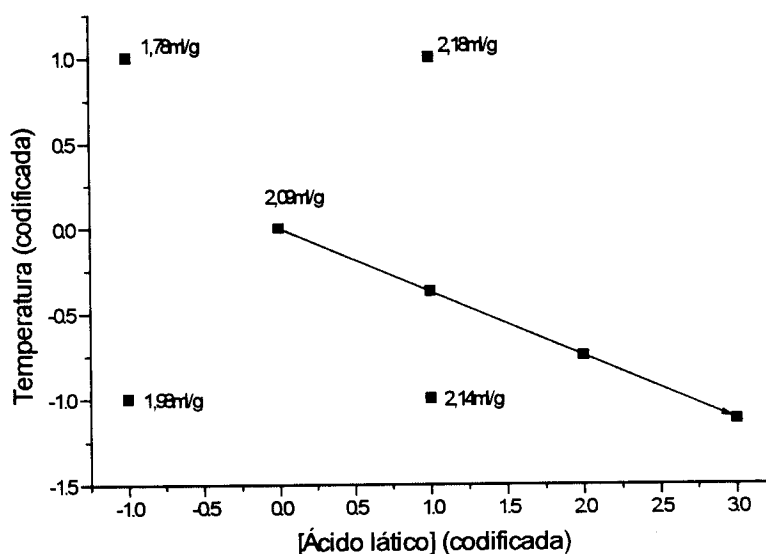


FIGURA 50. CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OBTENÇÃO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA VISANDO OBTER PÃES SEM GLÚTEN

Observa-se na TABELA 41, que o novo caminho não resultou em pães com maiores volumes. A região já analisada, cuja falta de ajuste significativa

do modelo indicou que ele não é o mais adequado, foi acrescida de novos pontos em estrela para formar o delineamento quadrático, que pode ser visto na TABELA 42. As FPG ácidas, resultantes deste delineamento, foram caracterizadas tecnologicamente e utilizadas para obtenção de pães sem glúten.

TABELA 41. PONTOS DO CAMINHO DE ASCENDÊNCIA MÁXIMA PARA A EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DO VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM DIFERENTES FPG ÁCIDAS.

	x_1 (codificado)	x_2 (codificado)	x_1 (M)	x_2 (temp, °C)	volume do pão (ml/g)
Condições centrais	0	0	0,5	150	2,15
Passos do caminho	1	-0,375	0,9	138,8	1,86
	2	-0,750	1,3	127,5	1,94
	3	-1.125	1,7	116,3	1,90

TABELA 42. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO COMPOSTO ROTACIONAL PARA OBTENÇÃO DAS FPG ÁCIDAS DE ARROZ

Temperatura (val. codificados) X	[Ácido] (val. codificados) Y	Temperatura (valores reais) x(°C)	[Ácido] (valores reais) y (M)
-1	-1	120	0,1
-1	1	120	0,9
1	-1	180	0,1
1	1	180	0,9
0	0	150	0,5
$\sqrt{2}$	0	192	0,5
$-\sqrt{2}$	0	108	0,5
0	$\sqrt{2}$	150	1,066
0	$-\sqrt{2}$	150	0,066
0	0	150	0,5
0	0	150	0,5
0	0	150	0,5

2. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS

a. Características viscoamilográficas

As características viscoamilográficas das FPG ácidas podem ser observadas na TABELA 43.

TABELA 43. PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ À CONCENTRAÇÃO DE 15%.

Temperatura (°C)	FPG ácida [Ácido] (M)	VI (UA)	TIP (°C)	V95 (UA)	V50 (UA)
120	0,1	340	30	220	490
120	0,9	360	30	140	240
80	0,1	660	30	250	420
180	0,9	120	30	80	130
150	0,5	210	30	130	190
192	0,5	90	30	40	80
108	0,5	320	30	240	300
150	1,066	220	30	100	140
150	0,066	380	30	220	320
150	0,5	240	30	120	190
150	0,5	200	30	120	180
150	0,5	160	30	140	220

Todas as FPG ácidas foram capazes de formar pasta à temperatura ambiente, mostrando temperatura inicial de pasta de 30°C.

A ANOVA para a VI, TABELA 65A, indicou que a regressão foi significativa, explicando 84,44% da variação dos dados observados. Apesar da ligeira falta de ajuste, o modelo foi submetido ao procedimento de "stepwise", resultando numa equação ajustada com $R^2 = 79,20\%$, sendo este ligeiramente inferior ao do modelo completo ($R^2 = 84,44\%$). O modelo foi usado para analisar a resposta na região estudada.

$$VI = 346,951 + 0,0096x^2 - 7,71xy + 831,977y^2 \quad R^2=0,7920$$

A viscosidade inicial, mostrada na FIGURA 51, indicou que a região de menor viscosidade tende a ser nas farinhas tratadas a altas concentrações de ácido e altas temperaturas.

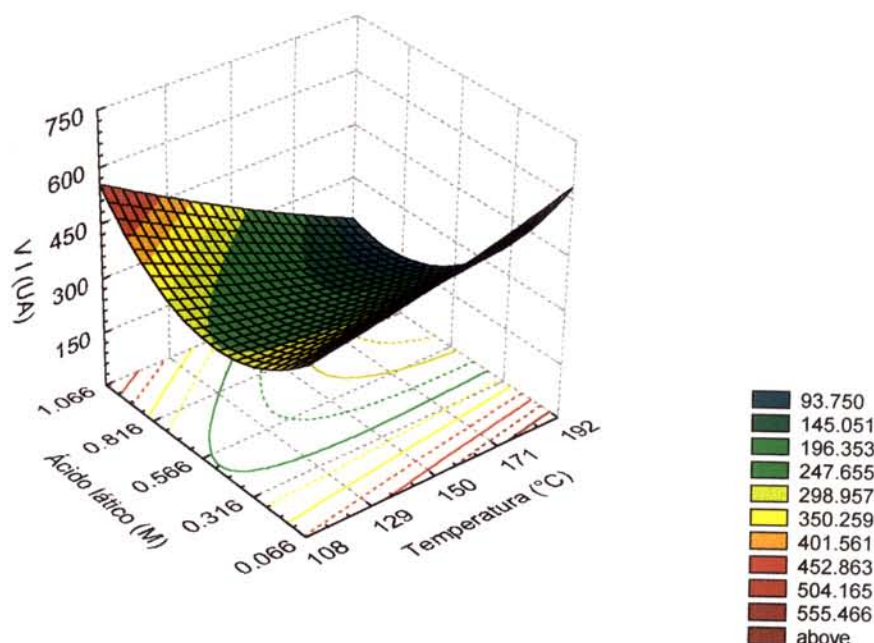


FIGURA 51. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO SOBRE A VISCOSIDADE INICIAL (VI) DAS FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS

As análises de variância da V95 e V50, TABELA 66A E 67A, respectivamente, apresentaram características semelhantes, sendo que ambas apresentaram significância para a regressão, R^2 por volta de 85% e falta de ajuste significativa. Como não apresentaram o quadrado médio do erro puro muito baixo, não foi feita a ANOVA modificada. Portanto estas características não apresentaram diferenças significativas para as diferentes FPG ácidas, segundo a metodologia estatística usada para análise, apresentando valores médios de 150 UA e 242 UA, para a V95 e a V50, respectivamente.

O ácido láctico juntamente com temperatura de extrusão modificaram significativamente a farinha de arroz e provavelmente na região de maiores concentração de ácido e temperatura houve maior hidrólise de ligações do

amido, levando-a a ter, em solução, menor viscosidade, em relação às outras farinhas modificadas quimicamente e extrusadas, em todas as etapas do viscoamilograma: a frio, com agitação e temperatura constante, e durante a retrogradação.

b. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) podem ser observados na TABELA 44.

TABELA 44. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS

FPG ácida		IAA	ISA
Temperatura (°C)	[Ácido] (M)		(%)
120	0,1	7,22	19,05
120	0,9	7,98	25,5
80	0,1	7,78	17,82
180	0,9	7,76	39,69
150	0,5	8,34	25,81
192	0,5	7,63	49,35
108	0,5	6,44	11,75
150	1,066	8,09	25,9
150	0,066	6,44	18,12
150	0,5	8,38	26,79
150	0,5	8,42	25,14
150	0,5	8,32	26,87

As análises de variância para o IAA e o ISA, TABELA 68A E 69A, respectivamente, mostraram que os modelos foram significativos, explicaram por volta de 80% da variação dos dados observados e com falta de ajuste altamente significativa. A ANOVA do IAA apresentou baixo valor para o quadrado médio do erro puro, então foi feita a análise de variância modificada, que comprovou que o modelo não deve ser usado para caracterizar estas respostas. Os valores médios do IAA e ISA foram de 7,8 e 25,98%, respectivamente, na região estudada.

c. Análises complementares do processo de modificação ácida e extrusão

i. Torque

Na TABELA 45 pode-se observar as características do torque dos extrusados ácidos de arroz.

TABELA 45. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO NO TORQUE E NO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS ÁCIDOS DE ARROZ

FPG ácida		Torque	IE
Temperatura (°C)	[Ácido] (M)	(gf.m)	
120	0,1	7300	2,20
120	0,9	6200	2,49
80	0,1	4800	2,44
180	0,9	5800	2,04
150	0,5	4400	2,85
192	0,5	3700	1,49
108	0,5	4100	1,51
150	1,066	4950	2,73
150	0,066	4600	2,30
150	0,5	4500	2,79
150	0,5	4800	2,71
150	0,5	4500	2,72

A ANOVA para o torque, TABELA 70A, mostrou que o modelo não foi significativo ao nível de 95% de confiança. O torque apresentou o valor médio de 4970 gf.m na região analisada.

ii. Índice de expansão (IE)

A fotografia dos extrusados ácidos pode ser observada na FIGURA 52 e na TABELA 45 verifica-se as características do IE de acordo com as diversas condições operacionais.

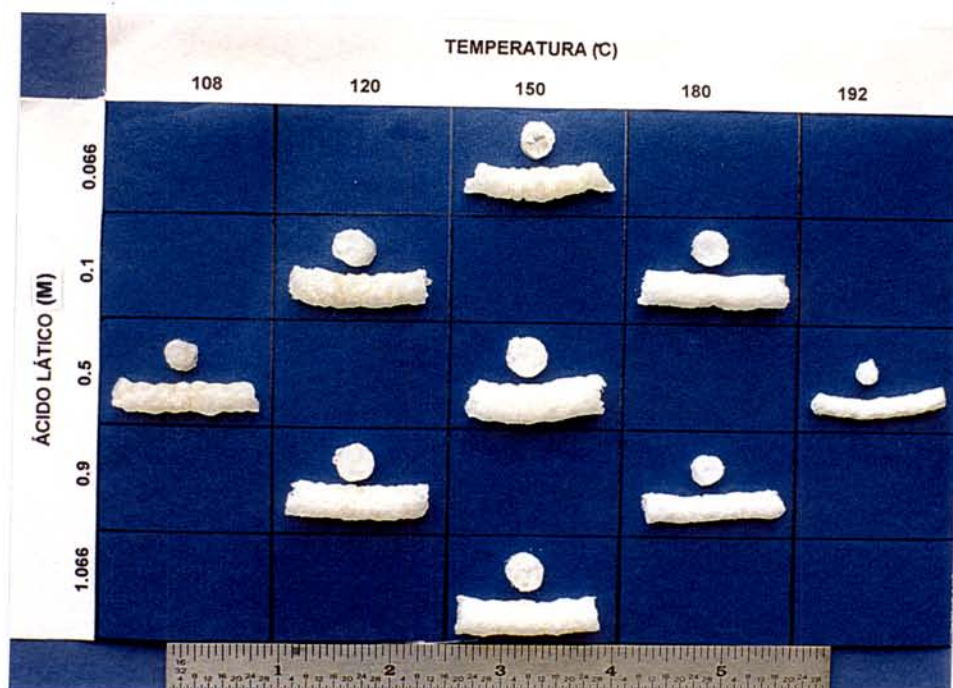


FIGURA 52. FOTOGRAFIA MOSTRANDO O EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO SOBRE A EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS ÁCIDOS DE ARROZ

A ANOVA para o IE, TABELA 71A, mostrou que o modelo é altamente significativo para a regressão e explicou 84,34% da variação dos dados observados. Como o modelo apresentou falta de ajuste significativa e o quadrado médio do erro puro foi muito baixo, foi feita a ANOVA modificada, que indicou significância para o efeito quadrático da regressão. O procedimento de ajuste do modelo levou a uma grande diminuição do R^2 , de 84% para 4%, logo a equação completa foi usada para prever o comportamento do IE.

$$IE = -12,16 + 0,19x + 2,35y - 0,0006x^2 - 0,055y^2 - 0,014xy \quad R^2 = 0,8434$$

Na FIGURA 53 está a representação gráfica de superfície de resposta para o IE e pode-se observar que maiores valores de IE foram encontrados em concentrações crescentes de ácido e temperatura a 150°C.

Provavelmente, as concentrações crescentes de ácido levaram a uma hidrólise parcial do amido, que concorreu para o aumento da expansão dos extrusados de arroz quando estes foram processados em temperaturas até 150°C. Em temperaturas mais altas, possivelmente houve um efeito sinérgico

da hidrólise do amido pelo ácido juntamente com a temperatura, levando a uma diminuição da expansão dos extrusados.

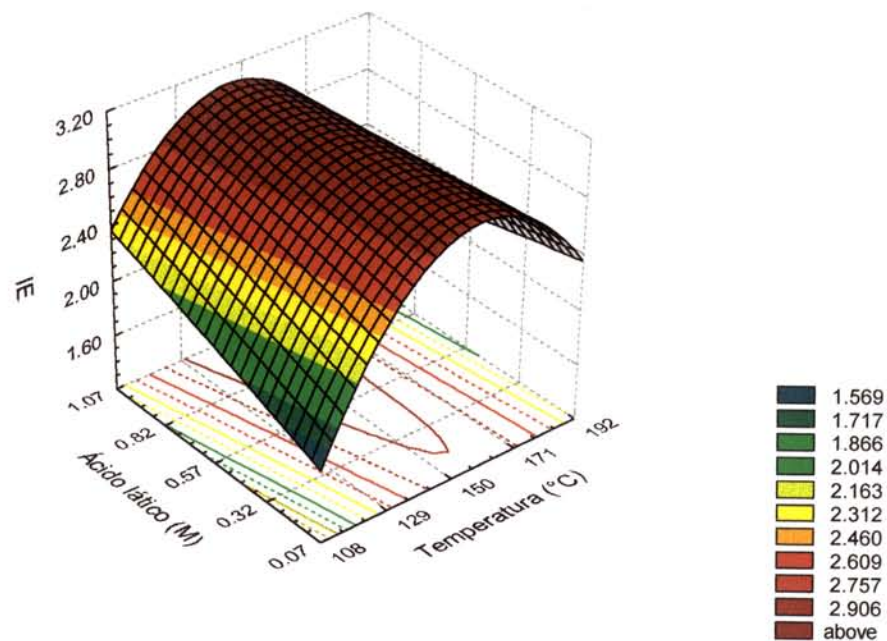


FIGURA 53. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO SOBRE O ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS ÁCIDOS DE ARROZ

d. Análise de componentes principais para as características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas com modificação ácida

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com todos os tratamentos e características tecnológicas, porém 4 dos 12 tratamentos descritos no delineamento quadrático, foram repetições do ponto central 150°C - 0,5M.

A ACP vista na FIGURA 54 mostra que 79,22% da variação dos dados para as variáveis dependentes foram explicados pelos dois primeiros componentes principais.

0,06M). Os tratamentos 9(192°C-0,5M) e 4(180°C-0,9M) influenciaram os maiores valores de ISA.

3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS FPG ÁCIDAS

a. Volume específico

A TABELA 46 apresenta o volume específico dos pães.

TABELA 46. VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

FPG ácida		Volume específico
Temperatura (°C)	[Ácido] (M)	(ml/g)
120	0,1	1,84
120	0,9	2,02
180	0,1	1,88
180	0,9	1,73
150	0,5	1,97
192	0,5	2,15
108	0,5	1,63
150	1,066	2,11
150	0,066	1,98
150	0,5	1,95
150	0,5	2,25
150	0,5	1,89

A ANOVA para o volume específico, TABELA 72A, mostrou que somente a regressão foi significativa, porém o modelo explicou somente 33,63% da variação dos resultados e apresentou falta de ajuste significativa. Logo, segundo a metodologia de análise, o volume específico dos pães não apresentou diferenças significativas na região estudada, tendo valor médio de 1,95 ml/g.

b. Cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten

Na TABELA 47 estão os resultados para cor da crosta e do miolo do pão no sistema CIE-Lab.

TABELA 47. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR DA CROSTA E DO MIOLO DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS

FPG ácida		Cor da crosta			Cor do miolo		
Tempera- tura (°C)	[Ácido] (M)	L*	a*	b*	L*	a*	b*
120	0,1	66,14	3,33	26,48	66,44	-1,33	4,58
120	0,9	55,32	9,16	33,57	64,83	-1,33	3,91
80	0,1	61,62	3,22	28,23	63,29	-1,35	4,28
180	0,9	58,67	9,23	29,95	67,02	-1,19	4,59
150	0,5	60,00	12,13	34,92	63,78	-1,29	4,35
192	0,5	61,63	4,85	29,31	66,74	-1,24	5,10
108	0,5	63,06	4,98	28,86	65,68	-1,63	4,88
150	1,066	60,78	5,21	29,03	66,05	-1,34	4,31
150	0,066	63,25	2,36	24,57	62,96	-1,32	4,65
150	0,5	62,13	11,72	32,96	61,11	-4,04	3,90
150	0,5	59,70	11,76	35,66	62,90	-1,35	4,12
150	0,5	59,61	10,32	34,72	60,93	-1,32	3,99

Os valores L*, a* e b* para a cor da crosta apresentaram características semelhantes nas análises de variância, TABELAS 73A, 74A E 75A, respectivamente, pois apresentaram regressão significativa e falta de ajuste significativa. Como o quadrado médio do erro puro não foi muito baixo, não se fez a ANOVA modificada. Estas respostas não apresentaram variações significativas na região estudada e tiveram valores médios de 60,99; 7,35 e 30,69 para o L*, a* e b*, respectivamente.

A ANOVA para o valor L* da cor do miolo, TABELA 76A, dos pães mostrou que a regressão foi significativa, não apresentou falta de ajuste e explicou 63,60% da variação dos dados observados. Como todos os parâmetros da regressão foram significativos ao nível de 95% de confiança, não houve necessidade de se fazer o procedimento de ajuste. A equação

completa foi usada para analisar a tendência de resposta do valor L^* do miolo.

$$\text{Valor } L^* \text{ miolo} = 121,44 - 0,72x - 23,39y + 0,0022x^2 + 8,37y^2 + 0,11xy \quad R^2=0,6360$$

O valor L^* do miolo, visualizada na FIGURA 55, mostrou menores valores (mais clara) em FPG ácidas processadas com concentrações de 0,07 a 0,8 M e temperatura de 150°C.

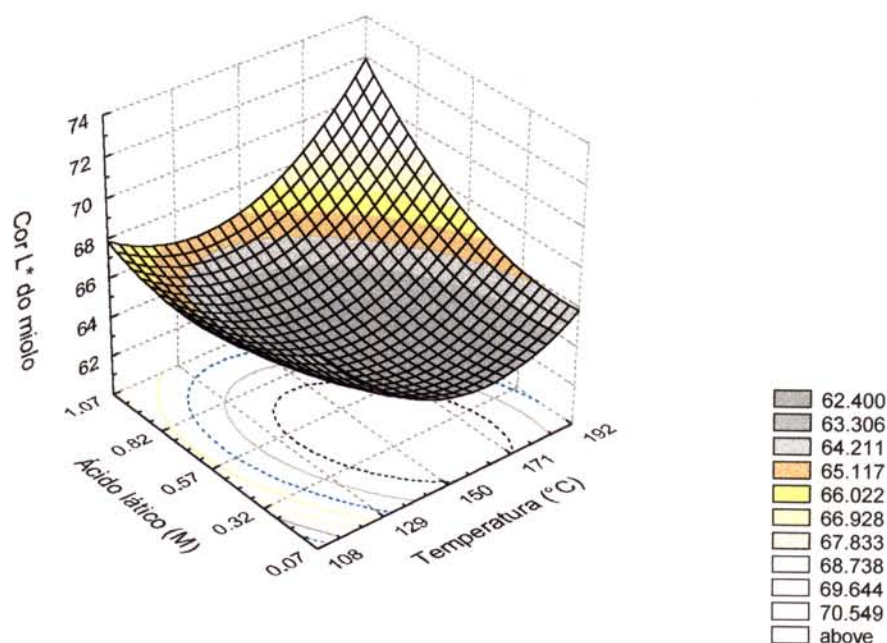


FIGURA 55. VALOR L^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS DE ARROZ PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS

As análises de variância para os valores a^* e b^* da cor do miolo dos pães, TABELAS 77A e 78A, apresentaram regressão significativa, porém com falta de ajuste significativa e explicaram cerca de 57% da variação dos dados observados. Portanto os valores de a^* e b^* para a cor do miolo não apresentaram diferenças significativas entre as FPG ácidas utilizadas para a produção do pão. Os valores médios foram $a^* = -1,34$ e $b^* = 4,38$.

c. Análise do perfil de textura

Na TABELA 48, estão os resultados da avaliação de textura, obtida após 1 hora da saída dos pães do forno e com resfriamento à temperatura ambiente.

TABELA 48. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA DOS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS DIFERENTES FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

FPG ácida		TEXTURA					
Temperatura (°C)	[Ácido] (M)	Elasticidade	Gomosidade	Fraturabilidade(g)	Coesividade	Dureza (g)	Mastigabilidade
120	0,1	-1,128	91,023	204,85	0,460	198,3	-102,630
120	0,9	-1,515	54,573	120,80	0,457	119,7	-62,803
80	0,1	-1,196	62,810	174,65	0,459	169,7	-92,373
180	0,9	-1,172	58,463	131,70	0,453	129,2	-68,450
150	0,5	-1,308	45,303	102,20	0,456	99,5	-58,689
192	0,5	-1,156	83,203	192,80	0,450	185,1	-96,141
108	0,5	-1,111	213,419	474,60	0,463	461,5	-237,180
150	1,066	-1,129	63,198	144,90	0,450	140,6	-71,310
150	0,066	-1,125	74,668	168,30	0,458	163,1	-83,959
150	0,5	-1,121	55,411	124,90	0,456	121,5	-62,141
150	0,5	-1,121	70,275	156,00	0,460	152,9	-78,768
150	0,5	-1,135	63,662	144,70	0,455	140,2	-72,153

A ANOVA para a elasticidade, TABELA 79A, mostrou que a regressão não foi significativa ao nível de 95% de confiança, portanto esta característica não apresentou diferenças significativas na região estudada, tendo valor médio de -1,154.

As análises de variância para as demais características de textura, TABELAS 80A a 84A, apresentaram regressão significativa, porém com falta de ajuste muito significativa e explicaram cerca de 65% da variação dos dados observados. Logo estas características não foram analisadas na região estudada, pois segundo a metodologia de análise, elas não apresentaram diferenças significativas para as diferentes FPG ácidas usadas na produção de pão sem glúten. Os valores médios foram: gomosidade=78,0, fraturabilidade=178g, coesividade=0,456, dureza=173,0g e mastigabilidade= -90,5

d. Análise de componentes principais das características de qualidade dos pães sem glúten obtidos com FPG ácidas

A ACP das características tecnológicas de pães com FPG ácidas pode ser observada na FIGURA 56.

Pode-se verificar as características de volume, cor da crosta e do miolo dos pães no gráfico A da FIGURA 56. O CP1 explicou 50,13 % e o CP2, 20,98% da variabilidade das respostas, dando um total de 71,11%.

A grande variabilidade do CP1 foi devida a todas as características analisadas, com exceção da MA(Valor a^* do miolo) que afetou também o CP2.

Os tratamentos 5, 10, 11 e 12 que são repetições do ponto central do delineamento estão próximos quanto ao CP1, porém se encontram dispersos no CP2, logo o ACP deve ser analisado com cautela em relação às características do CP1.

Os tratamentos 8(108°C-0,5M), 1(120°C-0,1M) e 6(150°C-0,07M) apresentaram comportamento semelhante entre eles. Os tratamentos 4(180°C-0,9M) e 7(150°C-1,07M) também apresentaram semelhanças.

O volume foi mais afetado pelos tratamentos 5, 10, 11 e 12(150°C-0,5M), que apresentaram os maiores valores e pelo tratamento 2(120°C-0,9M), estes tratamentos também influenciaram os maiores valores de CB e CA.

Os valores L^* e b^* do miolo (ML e MB) foram mais afetados pelos tratamentos 9(192°C-0,5M), 8, 1 e 6; já, o valor a^* do miolo (MA) foi mais afetado pelo tratamento 4.

No gráfico B da Figura 56, vê-se que o CP1 explicou 76,05% da variabilidade e o CP2, 15,80% da variabilidade, dando um total de 91,85%.

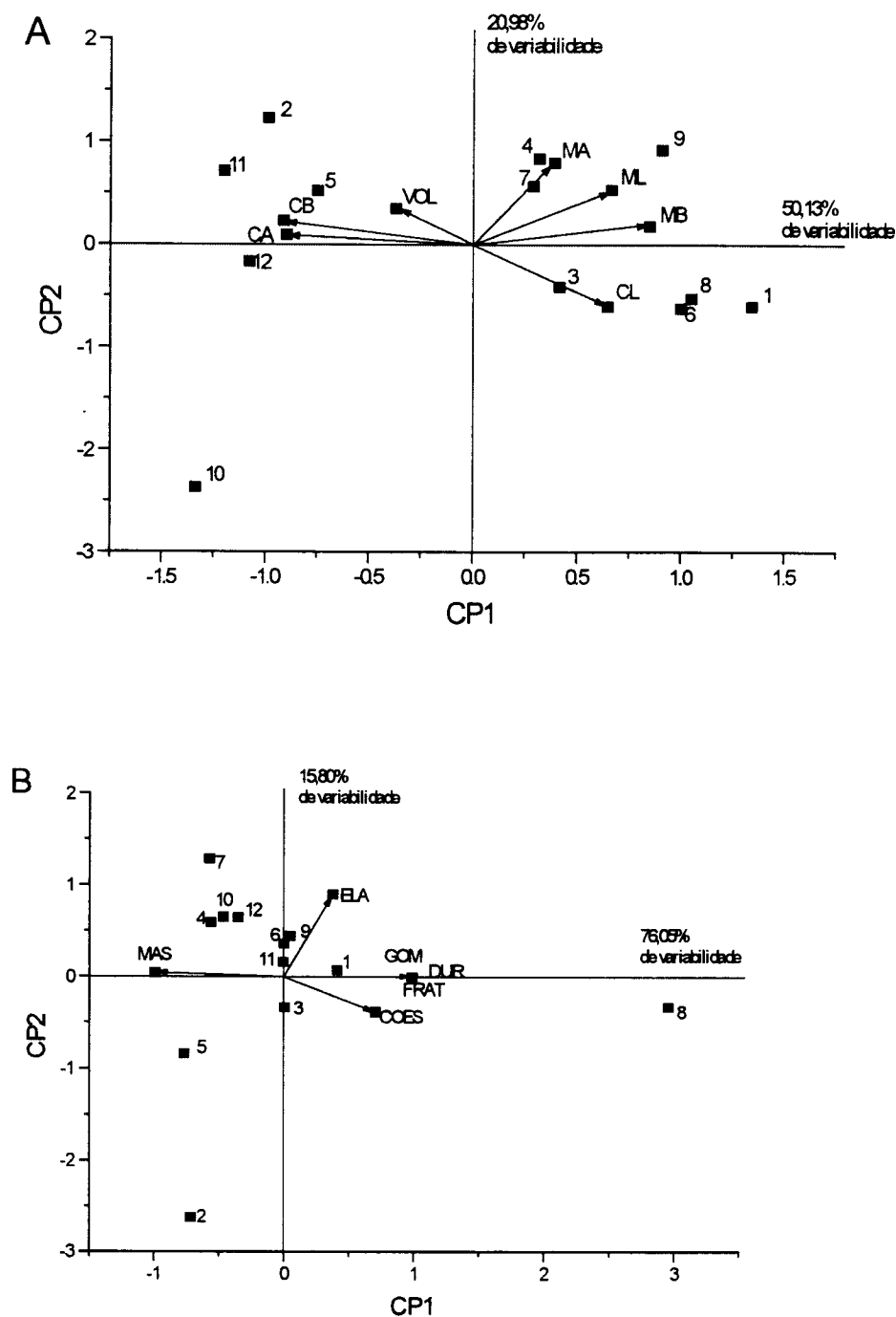


FIGURA 56. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ (1=120°C-0,1M; 2=120°C-0,9M; 3=180°C-0,1M; 4=180°C-0,9M; 5=150°C-0,5M; 6=150°C-0,06M; 7=150°C-1,07M; 8=108°C-0,5M; 9=192°C-0,5M; CA=valor a* crosta; CB=valor b* crosta; CL=valor L* crosta; ML=valor L* miolo; MA= valor a* miolo; MB= valor b* miolo, ELA = elasticidade, MAS = mastigabilidade; COES = coesividade; GOM = gomosidade; FRAT = fraturabilidade; DUR =dureza; VOL = volume específico)

Verifica-se que os tratamentos 5, 10, 11 e 12 (150°C-0,5M) apresentaram grande dispersão tanto no CP1 quanto no CP2. Logo somente algumas considerações podem ser feitas nesta ACP.

O tratamento 8 foi o que mais afetou as respostas gomosidade, fraturabilidade, dureza e coesividade, em relação aos maiores valores, e a resposta mastigabilidade em relação aos menores valores.

Analisando todas as características dos pães com as diferentes FPG ácidas, pode-se observar que os pães obtidos com as FPG ácidas (150°C-0,5M) foram os que apresentaram maior volume específico, portanto esta farinha foi selecionada para se fazer os pães sem glúten para os estudos posteriores.

A fotografia do pão sem glúten obtido com a FPG ácida (150°C-0,5M) pode ser observada na FIGURA 57. Nesta FIGURA, pode-se verificar que o pão apresentou crosta uniforme, com poucas rachaduras e miolo com células homogêneas.

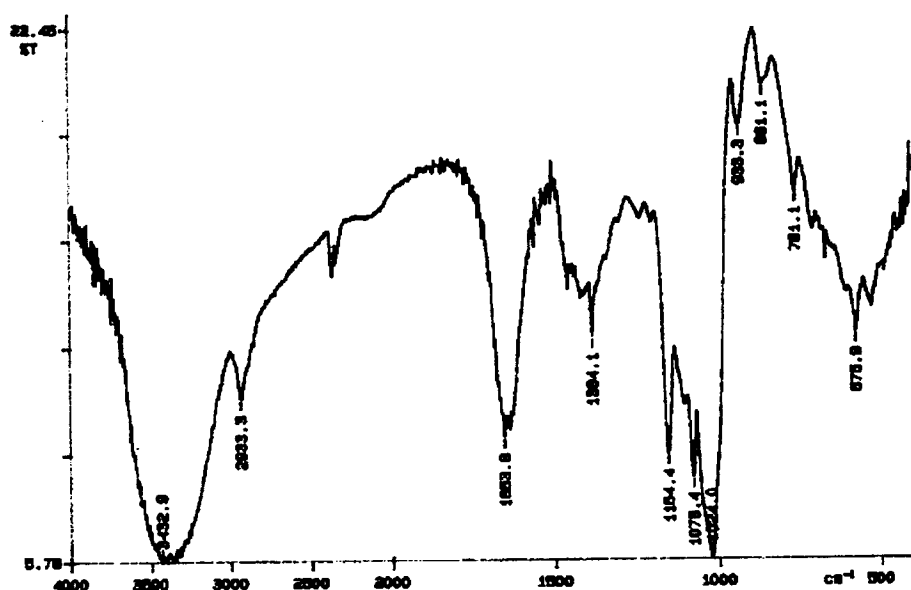


FIGURA 57. FOTOGRAFIA DO PÃO SEM GLÚTEN OBTIDO COM FARINHA PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA DE ARROZ (150°C-0,5M)

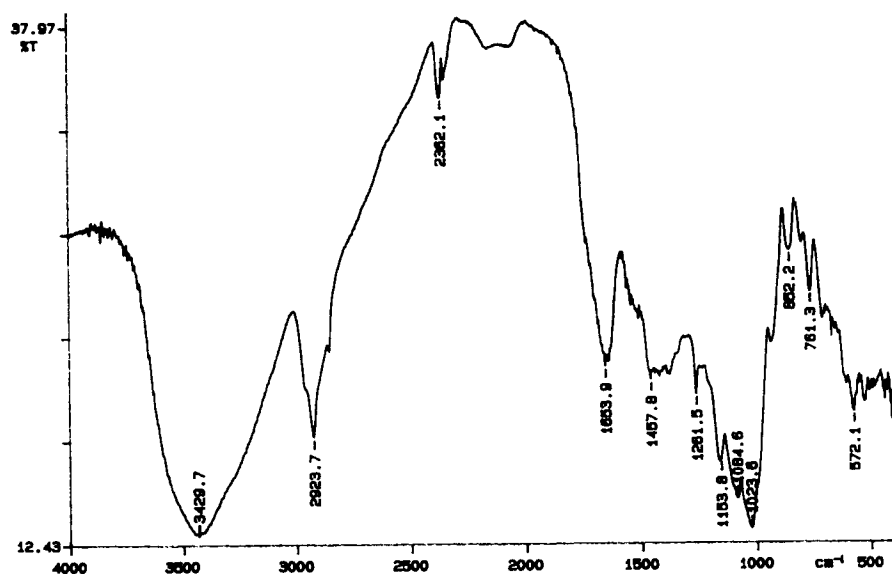
4. CARACTERIZAÇÃO DA FPG ÁCIDA (150°C-0,5M)

Sabe-se que ácidos minerais fortes levam a hidrólise do grânulo de amido, sendo esta parcial ou total de acordo com a concentração do ácido e do tempo de reação. Já a reação com ácidos orgânicos é pouco estudada, apesar de que em produtos fermentados de cereais, sempre ocorre a produção de ácidos. O ácido orgânico foi usado com a finalidade de provocar uma ligeira hidrólise de algumas ligações do amido, para formar mais pontes de hidrogênio em contato com a água, ou de formar ésteres com o amido e prováveis ligações entre cadeias de amido, como ocorre quando se trata amidos com anidrido acético que forma amido-acetato, conforme processo descrito por WURZBURG (1989) .

Foi feito a espectro da amostra por infravermelho (IV), que pode ser observado na FIGURA 58, visando detectar reações de esterificação na FPG ácida. Comparando os espectros de IV das farinha de arroz crua com o da FPG ácida, não foi possível detectar diferenças entre eles, uma vez que não foi possível localizar o sinal da presença de ácido láctico no infravermelho.



Farinha de arroz crua



Farinha pré-gelatinizada ácida de arroz

FIGURA 58. ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA ÁCIDA (150°C-0,5M)

F. ESTUDOS COMPARATIVOS DE PÃES OBTIDOS COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MODIFICADAS QUIMICAMENTE

1. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PÃES SEM GLÚTEN

A qualidade de pães, normalmente, pode ser avaliada através de análises de suas características externas, internas e de aroma e gosto.

Os pães sem glúten escolhidos nos itens anteriores foram utilizados para análises comparativas entre a utilização das FPG modificadas quimicamente e a FPG, que foi usada com referência.

Foram produzidos novamente os 4 tipos de pães escolhidos para cada modificação e eles foram avaliados quanto à qualidade organoléptica, segundo a descrição e resultados apresentados na TABELA 49.

As características externas podem ser resumidas em determinação de volume específico, análise da cor da crosta, quebra e simetria.

O volume é uma medida objetiva e indica a qualidade dos ingredientes e a adequação do processamento do pão. Já a cor da crosta é função da reação não enzimática entre os açúcares redutores e os grupos amino primários durante o cozimento, devendo o pão apresentar uma cor dourada homogênea e brilhante. A quebra é uma abertura das partes laterais da massa que é resultante do crescimento repentino do pão durante o seu assamento, logo ela contribui para a aparência do pão. A simetria indica o manuseio e processamento da massa do pão, que quando adequados levam a um pão simétrico (EL-DASH *et al.*, 1982).

Analisando as características externas dos pães, que podem ser observadas nas TABELA 49 e nas FIGURAS 59A e 59B, verifica-se que o pão obtido com a FPG ácida foi o que apresentou melhor volume, cor da crosta, quebra e simetria, sendo seguido pelos pães com FPG fosfatada e intercruzada, sendo o pão com FPG o que apresentou notas mais baixas nesta avaliação.

TABELA 49. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PÃES COM FPG, FPG FOSFATADA, FPG INTERCRUZADA E FPG ÁCIDA

Características de qualidade	Valores máximos	Pão 1 (FPG)	Pão 2 (FPGfosfatada)	Pão 3 (FPGintercruzada)	Pão 4 (FPGácida)
I. Características Externas					
1. Volume (vol. esp.X3,33)	20	7,2b	7,5ab	7,5ab	7,8a
2. Cor da crosta (Fatores indesejáveis: não uniforme, opaco, muito escura)	10	6,0c	7,7ab	7,0bc	9,0a
3. Quebra (Fatores indesejáveis: muito pequena, áspera, desigual)	05	3,0b	3,7ab	3,5b	4,2a
4. Simetria (Fatores indesejáveis: laterais, pontas e parte superior desiguais)	05	3,2b	4,8a	4,8a	4,2a
SUBTOTAL	40	19,4	23,7	22,8	25,2
II. Características Internas					
1. Características da Crosta (Fatores indesejáveis: borrachenta, quebradiça, dura, muito grossa, muito fina)	05	3,2a	3,8a	3,7a	4,2a
2. Cor do Miolo (Fatores indesejáveis: cinza, opaca, desigual, escura)	10	9,3a	9,7a	9,7a	9,7a
3. Estrutura da Célula do Miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, buracos muito abertos ou fechados)	10	5,3b	8,5a	8,8a	7,7a
4. Textura do Miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, áspera, compacta, seca)	10	6,2b	8,3a	8,7a	8,3a
SUBTOTAL	35	24,0	30,3	30,9	29,9
III. Aroma e Gosto					
1. Aroma (Fatores indesejáveis: falta de aroma, aroma desagradável, muito fraco ou forte)	10	9a	9,0a	9,0a	10,0a
2. Gosto (Fatores indesejáveis: ácido, estranho, goma, massa, gosto remanescente)	15	13,3a	13,3a	13,7a	14,3a
SUBTOTAL	25	22,3	22,3	22,7	24,3
CONTAGEM TOTAL	100	65,7	76,3	76,4	79,4

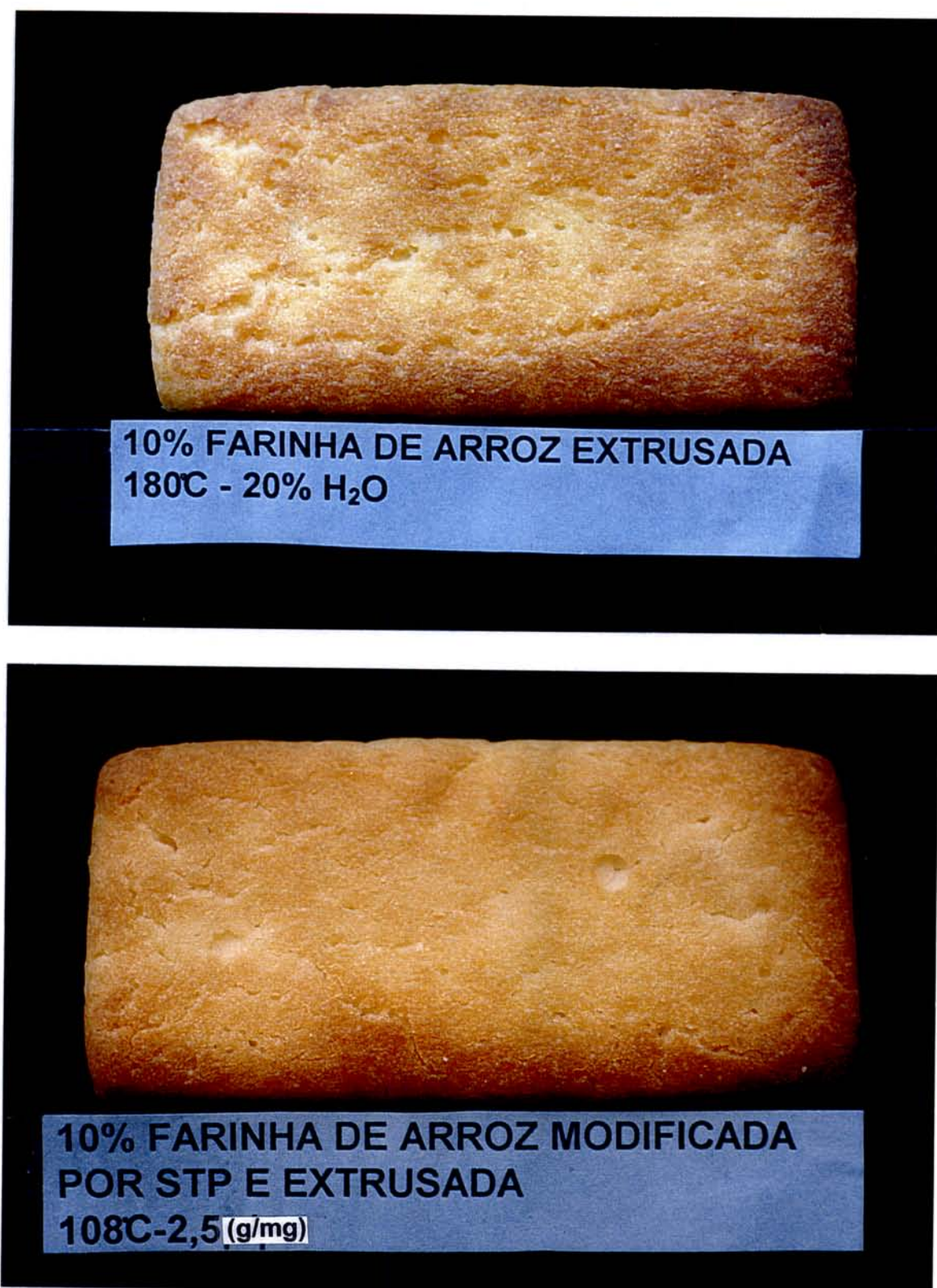


FIGURA 59A. FOTOGRAFIA MOSTRANDO OS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPG E FPGFOSFATADA



FIGURA 59B. FOTOGRAFIA MOSTRANDO OS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM FPGINTERCRUZADA E FPGÁCIDA

As características internas analisadas foram características da crosta, cor do miolo, estrutura da célula do miolo e textura e maciez.

Um bom pão apresenta estrutura da crosta fina, miolo macio, branco (levemente creme) e sem estrias ou manchas, o miolo deve apresentar células alongadas, homogêneas e com paredes finas e sem buracos (EL-DASH *et al.*, 1982).

Analisando as características internas, apresentadas na FIGURA 60 e TABELA 49, pode-se verificar que todos os 4 tipos de pães apresentaram características de crosta e cor do miolo semelhantes. Já, a estrutura da célula do miolo e textura do miolo variaram e os pães obtidos com as FPG ácidas, fosfatadas e intercruzadas, apresentaram características semelhantes entre eles, porém foram bem melhores do que as do pão com FPG.

Quanto ao aroma e gosto, segundo EL-DASH *et al.* (1982), o pão deve ter um aroma delicado e típico dos produtos de panificação e isento de odores estranhos, enquanto que o gosto deve ser levemente doce e ácido.

Em relação ao aroma e gosto, nenhum dos pães se sobressaiu em relação ao aroma e gosto, pois apresentaram respostas sem diferenças significativas entre eles.

Na contagem total, o pão com FPGácida apresentou maior número de pontos, seguido pelo pão FPGintercruzada e FPGfosfatada, sendo que o pão com FPG foi o que apresentou menor contagem total.

Pelo que se pode analisar, a menor contagem total dos pães com FPG foi devido à suas características de crosta (heterogênea), quebra (pouca), simetria, estrutura da célula do miolo e textura do miolo. Portanto, as FPG modificadas quimicamente melhoraram estas características no pão.



FIGURA 60. FOTOGRAFIA MOSTRANDO OS PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS FPG, FPGFOSFATADAS, FPGINTERCRUZADA E FPGÁCIDA

2. TESTE DE ENVELHECIMENTO DOS PÃES SEM GLÚTEN

O envelhecimento pode ser definido como “um termo que indica diminuição de aceitação por parte do consumidor de produtos de panificação, causadas por mudanças no miolo, exceto aquelas resultantes da ação de organismos deterioradores” (BECHTEL *et al* citado por KULP & PONTE, 1981). Segundo STONE, citado por HERZ (1965) envolve mudanças nas quais a textura do miolo se torna mais dura, resistente, esfarelada e mais opaca.

Retrogradação e envelhecimento são termos frequentemente usados como sinônimos. Alguns autores sugerem reservar “retrogradação” para descrever as mudanças de recristalização do amido em dispersões contendo excesso de água, e considerar “envelhecimento” como descrição de mudanças do amido parcialmente gelatinizado na presença de limitada disponibilidade de umidade (35-45%). As últimas mudanças são atribuídas ao resultado do reestabelecimento de ligações de moléculas que ainda estão “in situ” no grânulo de amido (HERZ, 1965).

O fenômeno de retrogradação é o resultado de ligações de hidrogênio entre as moléculas de amido que tem grupos hidroxila e centros receptores de hidrogênio. As moléculas lineares extendidas de amilose são mais livres para se orientar em relação às outras moléculas em solução, que são maiores, mais compactas e ramificadas de amilopectina (LANGOIS, citado por ROSARIO & PONTIVEROS, 1983) .

Um dos métodos usados para avaliar o envelhecimento é o de compressibilidade do miolo, em que são utilizados instrumentos para acompanhar o aumento de dureza do miolo (WILHOFT, 1971).

Neste trabalho, a análise do perfil de textura durante o armazenamento do pão foi avaliado pelo texturômetro, sendo os pães embalados em sacos de polietileno e armazenados em câmara climática por 72 horas, fazendo-se avaliações periódicas de textura.

Na TABELA 50 e FIGURA 61 pode-se observar os resultados deste teste de armazenamento.

TABELA 50. PERFIL DE ANÁLISE DE TEXTURA DE PÃES SEM GLÚTEN DURANTE ARMAZENAMENTO POR 72 HORAS

	Dureza	Elasticidade	Fraturabilidade	Coesividade	Mastigabilidade	Gomosidade
1h30min						
FPG ¹	127,8a	-1,175a	131,9a	0,451a	-67,72a	57,652a
FPGA ²	132,0a	-1,181a	136,4a	0,453a	-70,64a	59,788a
FPGF ³	125,0a	-1,171a	125,2a	0,452a	-80,05a	55,729a
FPGI ⁴	161,2a	-1,170a	166,5a	0,453a	-85,60a	73,136a
6h						
FPG	150,3b	-1,281a	153,5b	0,443a	-85,30b	66,625b
FPGA	122,3c	-1,343a	124,9c	0,429a	-70,52a	52,565c
FPGF	131,2c	-1,312a	133,9c	0,440a	-75,66a	57,698c
FPGI	170,9a	-1,294a	172,7a	0,438a	-96,91c	74,908a
24h						
FPG	239,6a	-1,274ab	248,4a	0,440ab	-134,33b	105,466a
FPGA	178,2b	-1,344c	180,5b	0,437b	-104,70a	77,883b
FPGF	165,9b	-1,304bc	169,9b	0,436b	-94,33a	72,419b
FPGI	250,4a	-1,236a	259,5a	0,447a	-138,51b	112,030a
48h						
FPG	217,2c	-1,231ab	223,1b	0,443ab	-118,43a	96,270c
FPGA	268,1b	-1,224ab	266,4b	0,448a	-146,95b	120,027b
FPGF	212,5c	-1,288b	220,2b	0,437b	-119,30a	92,720c
FPGI	327,2a	-1,195a	334,8a	0,449a	-175,47c	146,776a
72h						
FPG	284,4b	-1,214bc	297,0b	0,432c	-148,90ab	122,79b
FPGA	283,7b	-1,263c	294,0b	0,443b	-163,80b	126,452b
FPGF	266,8b	-1,134a	274,5b	0,459a	-138,83a	122,477b
FPGI	442,9a	-1,189a	459,8a	0,440b	-231,38c	194,720a

¹FPG= farinha pré-gelatinizada, ²FPGA=FPG ácida, ³FPGF=FPG fosfatada, ⁴FPGI= FPG inter cruzada

Verifica-se na TABELA 50 e FIGURA 61 que após 1h30min de resfriamento dos pães, eles não apresentaram diferenças significativas na análise do perfil de textura.

Após 6h, verifica-se que o pão com FPG inter cruzada apresentou maior dureza, fraturabilidade e gomosidade e menor mastigabilidade, sendo seguido pelo pão com FPG. Já os pães com FPG ácida e FPG fosfatada não apresentaram diferenças significativas entre eles.

Após 24 horas, pode-se observar que os pães com FPG inter cruzada e FPG apresentaram maiores dureza, elasticidade, fraturabilidade, coesividade e gomosidade e menor mastigabilidade, sendo os pães com FPG ácida e FPG fosfatada os que apresentaram os menores valores.

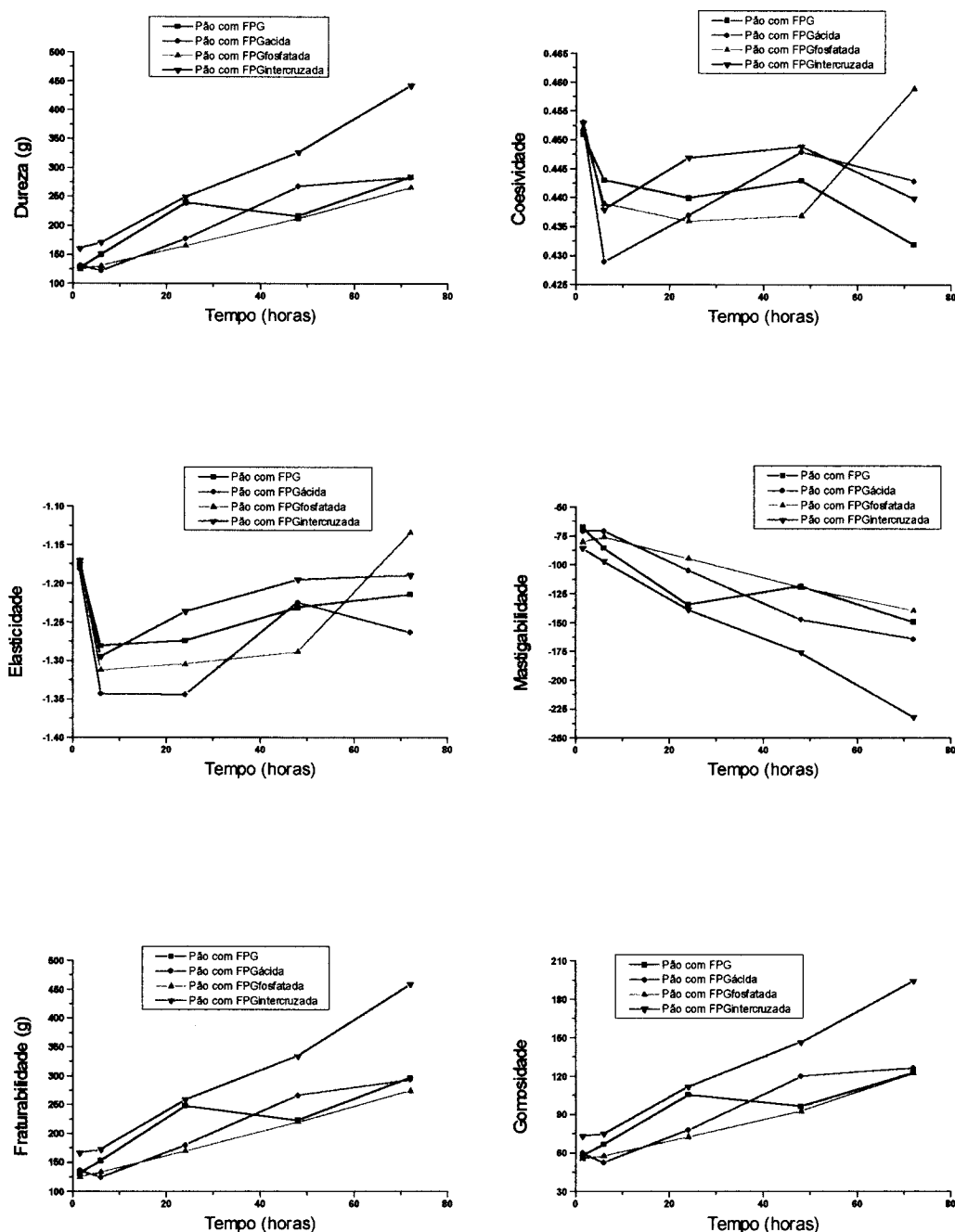


FIGURA 61. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA DE PÃES SEM GLÚTEN OBTIDOS COM AS FPG, FPG FOSFATADA, FPG INTERCRUZADA E FPG ÁCIDA

Após 48h, observa-se que o pão com FPGintercruzada continuou apresentando maiores valores de dureza, elasticidade, fraturabilidade, coesividade e gomosidade, sendo seguido pelos pães com FPG ácida. O pães com FPG fosfatada e com FPG foram os que apresentaram menores valores de dureza, coesividade e gomosidade.

Após 72h, o pão com FPG intercruzada continuou apresentando maior dureza, gomosidade e fraturabilidade e menor mastigabilidade.

Analisando o gráfico de dureza, da FIGURA 98, pode-se observar que o pão com FPG intercruzada foi o que apresentou maior dureza em relação aos demais durante todas as 72h de estudo.

A coesividade diminuiu após 6h de armazenamento para todos os pães e após este período houve um aumento nos pães com FPG fosfatadas e FPG ácidas, sendo que no período das 24h até às 48h, a coesividade permaneceu constante para todos os pães, com exceção do pão com FPG ácida. Após 72h, a coesividade diminuiu para todos os pães, com exceção do pão com FPG fosfatada, que teve um grande aumento de coesividade.

Pela análise de elasticidade (FIGURA 61), observa-se que todos os pães ficaram menos elásticos após 6h de resfriamento, provavelmente foi o período de maior retrogradação do amido. Após 6h, a elasticidade aumentou para o pão com a FPG intercruzada e permaneceu quase constante para os outros pães com as outras farinhas. Após este período ela aumentou ligeiramente para todos os pães, com exceção do pão com FPG ácida, que teve um grande aumento de elasticidade até às 48h e diminuindo em seguida. O pão com FPG fosfatada apresentou um aumento significativo da elasticidade após as 48h de armazenamento.

A mastigabilidade foi diminuindo com o aumento do tempo de armazenamento, sendo que no pão com FPG intercruzada esta diminuição foi mais significativa.

A fraturabilidade foi maior nos pães com FPG intercruzada durante todo o período de armazenamento.

Para todos os pães, a gomosidade aumentou com o aumento do tempo de armazenamento, sendo este efeito mais significativo no pão com FPG intercruzada.

De forma geral os pães com a FPG ácida e a FPG fosfatada foram os que apresentaram as melhores características na análise do perfil de textura.

V. CONCLUSÕES

De acordo com o trabalho realizado, pode-se concluir que:

1. Quanto às farinhas pré-gelatinizadas (FPG)

a) O processo de otimização levou a produção de uma FPG processada nas condições de 180°C e 20% de umidade, que mostrou ser a mais adequada para a produção de pão sem glúten.

b) O uso de farinha pré-gelatinizada de arroz, na proporção de 10%, melhorou as qualidades do pão sem glúten, em relação ao produzido com somente farinha de arroz crua, indicando que a farinha pré-gelatinizada foi responsável pela maior retenção de gás durante a produção do pão.

c) Os pães obtidos com a FPG (180°C-20% de umidade) apresentaram coloração de crosta e de miolo próximas ao pão de trigo, porém apresentaram crosta com algumas rachaduras e miolo com células heterogêneas, o que afetou a textura do pão durante o período de armazenamento. O volume do pão obtido, apesar de mostrar a retenção de gás durante o processamento, ainda não foi tão alto quanto ao do pão de trigo.

2. Quanto às farinhas pré-gelatinizadas fosfatadas (FPG fosfatadas)

a) O otimização do processo de fosfatação via extrusão levou a produção de uma FPG fosfatada nas condições de 108°C e 2,5g/100g de tripolifosfato de sódio. Segundo análise do RMN-P³¹, as ligações de fosfato ocorreram, provavelmente, no carbono 1 e/ou carbono 4 da molécula de glicose.

b) O pão obtido com esta farinha apresentou melhoras significativas em relação ao pão obtido com FPG, uma vez que apresentou melhor coloração de crosta e de miolo, crosta sem rachaduras, miolo homogêneo e com células pequenas, resultando num melhor perfil de textura. Porém o

volume foi próximo ao pão com FPG, necessitando portanto, estudos posteriores.

3. Quanto às farinhas pré-gelatinizadas intercruzadas (FPG intercruzadas)

a) A otimização do processo simultâneo de intercruzamento e extrusão para a produção de FPG intercruzada adequada para a produção de pão sem glúten, levou a seleção de uma farinha processada nas condições de 180°C e 0,09ml/100g de oxicleto de fósforo, que possivelmente, apresentaram ligações fosfato nos C1 e C4 da glicose, semelhante ao que ocorreu à FPG fosfatada (108°C-2,5g/100g).

b) Os pães obtidos com a FPG intercruzada apresentaram características semelhantes às descritas para os pães com FPG fosfatada, porém o perfil de textura durante o armazenamento foi considerado inferior em relação a todos os outros pães sem glúten obtidos com a FPG e as FPG modificadas quimicamente. Logo, estudos posteriores para melhorar o volume e o perfil de textura durante o armazenamento destes pães devem ser conduzidos.

4. Quanto às farinhas pré-gelatinizadas ácidas (FPG ácida)

a) A otimização dos processos de acidificação e extrusão simultâneos visando a produção de uma FPG ácida adequada para a produção de pão sem glúten, mostrou que as condições operacionais de 150°C e 0,5M de ácido láctico foram as mais adequadas para a obtenção desta farinha.

b) Os pães obtidos com a FPG ácida (150°C e 0,5M) apresentaram, de modo geral, as melhores características de qualidade em relação aos demais pães obtidos, uma vez que o seu volume foi ligeiramente superior, com melhores coloração de crosta e miolo, aroma e maciez. Apesar do miolo apresentar algumas células heterogêneas, o perfil de textura durante o armazenamento foi o mais adequado, pois apresentou menor aumento de dureza durante todo o período.

Todas as três farinhas pré-gelatinizadas modificadas quimicamente estudadas neste trabalho mostraram ser possível provocar modificações na estrutura tridimensional do amido visando obter pães sem glúten com qualidades próximas às do pão de trigo.

São poucos os trabalhos para desenvolvimento de pão sem glúten em comparação com os de pão de trigo, cuja evolução rápida de qualidade se deve aos investimentos maciços, tanto por países produtores e exportadores de trigo quanto pelas indústrias do pão, que geraram um grande volume de pesquisas em áreas da panificação que abrangem desde novos equipamentos, seleções de variedades de trigo, condições de processamento, novos aditivos etc.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho mostram um futuro promissor, podendo-se vislumbrar um grande progresso na ciência e tecnologia de produtos sem trigo com a continuação de novas pesquisas nesta área. A obtenção de pães sem glúten, com qualidades próximas às dos pães de trigo, podem proporcionar um grande impacto econômico positivo nos países em desenvolvimento que possuem condições favoráveis ao cultivo de farinhas amiláceas, mas que importam trigo para a produção de pão e também podem beneficiar às pessoas alérgicas ao trigo, ou seja, os celíacos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods, 8 ed. St. Paul, 1983, v. 1-2.
- AKOBUNDU, C.N.; UBBAONU, C.N. & NDUPUH, C.E. Studies on the baking potencial of non-wheat composite flours. **Journal of Food Science and Tecnology**, Chicago, v.25, n.4, p.211-214, 1988.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. & GRIFFIN Jr., E.L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v.14, n.1, p.44-11, 1969.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S. BRUNA, R.E. **Planejamento e Otimização de experimentos**. Ed. da UNICAMP, 1995, 299p.
- BAY-SMIDT, A.M.; WISCHMANN, C.E.O. & NIELSEN, T.H. Starch bound phosphate in potato as studied by a simple method for determination of organic phosphate and ³¹P-RMN. **Starch**, Weinheim, v.46,n.5, p.167-172, 1994.
- BECKWITH, A.C.& WALL, J.S. Reduction and reoxidation of wheat glutenin. **Biochem. Biophys. Acta**, v.130, p.155, 1966.
- BECKWITH, A.C.; WALL, J.S. & DIMLER, R.J. Amide groups and interaction sites in wheat gluten proteins, part I: effects of amide-ester conversion. **Arch. Biophys.**, v.112, p.16, 1965.
- BERNETTI, R. ;KOCHAN, D.A.; TROST, V.W. & YOUNG, S.N. Modern Methods of Analysis of Food Starches. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.35, n.11, p.1100-1105, 1990.
- BETTERIDGE, D.& HALLAM, H.E. **Modern Analytical Methods**. The Chemical Society, London, 1972.
- BLIGH, E.G. & DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry. Physiology**, Ottawa, v.37, p. 911-917, 1959.
- BORGES, J.M.; FERREIRA, E. & ALVIM, C..M.F. **Pão de mandioca e soja**. Boletim de Extensão. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984, 17p.
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G. & HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters**. Ed. Wiley- Interscience, N.Y., 1978.
- BRABENDER. **Food Quality testing with Brabender**, Germany. s.d.
- CAMARGO, C.E.O. Development program for new variety of wheat in Brazil. In: **International Symposium on Food extrusion: pasta and extruded products**, I, 1995, Campinas, abstracts, p.24-25.

- CHANG, Y. K. **Efeito da concentração de ácido, umidade e temperatura na hidrólise de amido de mandioca por extrusão termoplástica, visando a produção de álcool**. Tese de Doutorado, FEA, UNICAMP, 1989. 183P.
- CHANG, Y.; LIL, C. Preparation of starch phosphates by extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 57, n.1, p.203-5, 1992.
- CHARBONIERE, R.; DUPRAT, F. & GUILBOT, A. Change in various starch by cooking-extrusion processing, part II, physical structure of extrude products. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v.18, n.9, p.286, 1973.
- CHIANG, B-Y. & JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.54, n.3, p.436-443, 1977.
- COLONNA, P.; DOUBLIER, J.L.; MELCION, J.P.; MONREDON, F.de & MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, part I, physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n.6, p.538-43, 1984.
- D.O.U. Diário Oficial da União. Res.38 e 39/76 de 04-03-77, Seção I, parte 1. In **Compêndio da Legislação de Alimentos**. Vol1/A. ABIA- Associação Bras. Das Indústrias da Alimentação.
- DEFLOOR, I.; DE GEEST, C.; SCHLLEKENS, M.; MARTENS, A. & ELCOUR, J.A. Emulsifiers and/or extruded starch in the production of breads from cassava. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.4, p.323-7, 1991.
- DENDY, D. Perspectives in composite and alternative flour products. In. **Cereal Chemistry and Technology: a long past and bright future**. 9th **International Cereal and Bread Congress**, Paris, 1-5, June, 1992.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In. POMERANZ, Y. & MUNCH, L. **Cereal a Renewable Resource: Theory and Practice**. American Association of Cereal Chemists, 1982.
- EL-DASH, A.A. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. **Proceedings of the First Brazilian Congress Proteins**. Ed. UNICAMP, 1991, p.513-530.
- EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.R.O. & DIAZ, N. **Fundamentos de Tecnologia de Panificação**, Série Agro-Industrial, vol.6, 1982.
- EL-DASH, A.A.; GONZALES, R. & CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering**, Barking, v.2, p.129-159, 1983.
- FAO. **Wheatless bread**. January, 1989.
- FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. & SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.27, n.5, p.212-16, 1982.
- FERREIRA, V.L.P. **Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos**. Instruções Técnicas, n.19, 1981.

- GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n.1, p.40-3, 1984.
- GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Changes in starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v.48, p.378-381, 1983.
- GREENWOOD, C.T. "Starch". In: **Advances in Cereal Science and Technology**, ed. POMERANZ, AACC, 1976.
- GREENWOOD, G.T. & EWART, J.A.D. Hypothesis for the structure of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.52, n.2, p.146-153, 1975.
- GROSSMANN, M.V.E. **Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca, visando a produção de álcool**. Campinas, 1986, Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- GUTKOSKI, L.C.; PAVANELLI, A.P.; MIRANDA, M.Z. & CHANG, Y.K. Efeito de melhoradores nas propriedades reológicas e de panificação da massa de farinha de trigo. In.: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, XV**, Poços de Caldas, Resumos, 4-7/08/1996.
- HAMILTON, R.M. & PASCHALL, E.F. Production and uses of starch phosphates. In.: **Starch Chemistry and Technology**, vol.II., ed. WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Academic Press, New York, 1967.
- HARPER, J.M. Food extrusion. **CRC - Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v.11, n.2, p.155-215, 1979.
- HERZ, K. Staling of bread, a review. **Food Technology**, Chicago, v. 199:90, p.103, 1965.
- HODGE, J.E.; MONTGOMERY, E.M. & HILBERT, G.E. Hydrolysis of the amylopectins from various starches with beta-amylase. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.25,p.19, 1948.
- HOSENEY, R.C.; LINEBACK, D.R. & SEIB, P.A. Role of starch in baked foods. The **Bakers Digest**, Chicago, v. 51, n.1, p. 38-48, 57, 1977.
- ISLAM, M.N.; RUTLEDGE, J.E. & JAMES, W.H. Influence of rice crystallinity on cross-linking. **American Association of Cereal Chemists**, v.51, p. 51-56.1974.
- JAMES, T.L. Phosphorus-31 NMR as a probe for phosphoproteins. **CRC Critical Review of Biochemistry**, v.18, p.1, 1985
- JANE, J.; XU, A.; RADOSAVLJEVIC, M. & SEIB, P.A. Location of amylose in normal starch granules, I, susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 69, n.4,p.405-409, 1992.

- JARMO, K.; VISAKORPI, J. & MÄKI, M. Variaciones en las características clínicas de la enfermedad celíaca. **Alimentaria**, Madrid, v.33, 264, p.93-96, 1995.
- KASARDA, D.D. ; BERNARDIN, J.E. & NIMMO, C.C. Wheat proteins. Chap. 4. In: **Advanced Cereal Science and Technology**, v.1. ed. by POMERANZ, y. American Association of Cereal Chemistry, 1976.
- KASEMSUWAN, T. & JANE, J. Location of amylose in normal starch granules, II, location of phosphodiester cross-linking revealed by phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.71, n.3, p.282-287, 1994.
- KHURI, A.I. & CORNELL, J.A. **Response Surfaces Designs and Analyses**. Ed. Marcel Dekker, linc., 1987, p. 405.
- KIM, J.C. & De RUITER, D. Bread from non-wheat flours. **Food Technology**, Chicago, v.22, p.867-878, 1968.
- KIM, J.C. & De RUITER, D. Bakery products with non-wheat flours- a review. **Bakers Digest**, Chicago, v. 43, p.3,;58-63, 1969.
- KIM, S.K. & D'APPOLONIA, B.L. The role of wheat flour constituents in bread staling. **The Baker's Digest**, Chicago, v. 51, n., p.38-44, 57, 1977.
- KOCH, H.; BOMMER, H.D. & KOPPERS, J. Analytische untersuchungen von phosphatvernetzten stärken. **Starch**, v.34, n.1, p.16-21, 1982.
- KULP, K. & PONTE Jr., J.G. Staling of white pan bread: fundamental causes. In. **CRC-Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.15:1-48, 1981
- LAI, C.S.; GUETZLAFF, J. & HOSENEY, R.C. Role of sodium bicarbonate and trapped air in extrusion. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n.2, p.69-73, 1989.
- LAWTON, B.T.; HENDERSONN, G.A. & DELATKA, E.J. The effect of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Ottawa, v.50, n.2, p.168-72, 1972.
- LEACH, H.W. Gelatinization of starch. In: **Starch Chemistry and Technology**, vol I, ed. WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Academic Press, New York, 1965.
- LEE-CH; MIN-KC; SOUANE-M; CHUNG-MJ; MATHIASSEN-TE; ADLER-NISSEN-J. Fermentation of prefermented and extruded rice flour by the lactic acid bacteria from skhae. **Food Biotechnology**, v.6, n.3, p.239-255, 1992.
- LIGHT, J.M. Modified food starches: why, what, where, and how. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.35, n.11, p.1081-92, 1990.
- LIM, S.J.; KASEMSUWAN, T. & JANE, J.L. Characterization of phosphorus in starch by ³¹P-Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.71, n.5; p.488-4933, 1994.

- LIM, S. & SEIB, P.A. Location of phosphate esters in a wheat starch phosphate by ^{31}P -Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.70, n. 2, p.145-152. 1993.
- LINKO, P.; COLONNA, P. & MERCIER, C. HTST-extrusion of cereal based materials. In: **Advances in Cereal Science and Technology**, AACC, v.4, , p. 145-235. 1981
- LORENZ, K. & JANSEN, G.R. Nutrient stability of full-fat soy flour and corn-soy blends produced by low-cost extrusion. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.25, n.4, p.161-2, 171, 1980.
- MACHADO, L.M.P. **Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento**. Campinas, 1996. 186p. Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos., Universidade Estadual de Campinas.
- MARSTON, P.E. & WANNAN, T.L. Bread baking: the transformation from dough to bread. **The Baker's Digest**, Chicago, v.50, n.4, p.24-9, 49, 1986.
- MARUSZA, K. & TOMASIKK, P. Highly phosphorylated starch. **Starch**, Weinheim, v.43, n.2. p.66-69, 1991.
- MEDEIROS, E.H.G.R. Doença celíaca- Guia prático para orientação alimentar. Associação dos celíacos do Brasil- secção São Paulo (ACELBRA), s.d.
- MEHLTRETTER, C.L. Production and use of dialdehyde starch. In: **Starch, Chemistry and Technology**, ed. by WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Vol. II, cap.18, Academic Press, New York, 1967.
- MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of carbohydrates components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.52, n.3, p.283, 1875.
- MICHAEL, E. & BROWN, J.A. Improve texture, consistency, shelf life and freeze-thaw stability at reduced cost. **Food Processing**, Kent, v.28, n.6, p.28, 1968.
- MORRISON & BOYD, R. **Química Orgânica**. 7ed. Fundação Calouste Gulbenkian. 1973. 1498p.
- NAKANISHI, K. & SOLOMON, P.H. **Infrared Absorption Spectroscopy**. 2ed., Ed. Holden-Day, Inc., 1977, 281p.
- NISHITA, K.D. & BEAN, M.M. Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.56, n.3, p.185, 1979.
- NISHITA, K.D.; ROBERTS, R.L. & BEAN, M.M. Development of a yeast-leavened rice-bread formula. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.53, n.5, p.626-35, 1976.
- ORIGIN 4.1. **Microcal Software, Inc.** Northampton, MA, USA. 1996.
- OSMAN, E.M. Starch in the food industry. In: **Starch: Chemistry and Technology**, vol.II., ed. WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Academic Press, New York, 1967.

- OSTERGARD, K. & BJORK, I. Effects of extrusion cooking on starch and dietary fibre in barley. **Food Chemistry**, Barking, v.34, n.3, p. 215-27, 1989.
- PERDON, A.A. & JULIANO, B.O. Amylose content of rice and quality of fermented cake. **Die Stärke**, Weinheim, v. 27, n.6, p.196-8, 1975.
- POLANCO, I.; MOLINA, M.; PIETRO, G. ; CARRACO, S. & LAMA, R. Dieta y enfermedad celíaca. **Alimentaria**, Madrid, v.33, n.264, p.91-93, 1995.
- POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, vol I e II. AACC, St. Paul, 1978.
- POMERANZ, Y. **Functional properties of food components**. Academic Press, New York, 1985, 536p.
- POMERANZ, Y. **Modern Cereal Science and Technology**, VCH Publishers, New York, 1987, 485p.
- POMERANZ, Y. Molecular approach to breadmaking: an update and new perspectives. **Bakers Digest**, Chicago, July/August, 72-86, 1983.
- POWELL, E.L. Production and uses of pre-gelatinized starches. In: **Starch Chemistry and Technology**, vol.II., ed. WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Academic Press, New York, 1965.
- RADLEY, J.A. **Industrial uses of starche and its derivatives**. Applied Science Publishers Ltd, London, 1976.
- RANHOTRA, G.S.; LOEWE, R.J. & PUYAT, L.V. Preparation and evaluation of soy-fortified gluten-free bread. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 40, n.1, p.62-4, 1975.
- ROBERTS, H.J. Nondegradative reactions of starch. In: **Starch, Chemistry and Technology**", ed. by WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Vol. I, cap.19, Academic Press, New York, 1965.
- ROSA e SILVA, A.C.Q.; NUNES, M.L. & SILVA, C.E.M. Influência de alguns parâmetros na elaboração de "pães sem glúten". In.: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, XIV**, São Paulo, Anais, 17-20/06/1994.
- ROSARIO, R..R. & PONTIVEROS, C.R. Retrogradation of some starch mixtures. **Starch**, Weinheim, v.35, n.3, p.86-92, 1983.
- SALAY, E. & CIACCO, C.F. Production and properties of starch phosphates produced by the extrusion process. **Starch**, Weinheim, v.42, n.1, p.15-17, 1990.
- SANDSTEDT, R.M.. The function of starch in the baking of bread. **The Baker's Digest**, Chicago, p.36-44, 1961.
- SAS/ STAT USER'S GUIDE, vol. 2, GLM-Varcomp. **Sas Institute Inc.** Cary-USA, versão 6, 4ed., 1990.
- SATIN, M. Bread without wheat. **New Scientist**, no: 1610- 56-59, 28 April,1988.

- SHILDNECK, P. & SMITH, C.E. Production and uses of acid-modified starch. In: **Starch, Chemistry and Technology**, ed. by WHISTLER, R.L. & PASCHALL, E.F. Vol. II, cap.IX, Academic Press, New York, 1967.
- SILVERSTEIN, R.M.; BASSIER, G.C, & MORRIL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 3ed. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan S.A. 1979. 299p.
- SINGHAL, R.S. & KULKARNI, P. Studies on cross-linked *A. paniculatas* (Radgeera) starch. **Starch**, Weinheim, v.43, n.1, p.15-18, 1991.
- SMITH, R.J. & CARUSO, J. Determination of phosphorus. In: WHISTLER, P.L. (ed.), **Methods in carbohydrate chemistry: starch**. Academic Press, New York, 1964, vol IV.
- SOWBHAGYA, C.M.& BHATTACHARYA, K.R. Simplified determination of amylose in milled rice. **Starch**, Weinheim, v. 31, n. 5, p.159-163, 1979.
- SRISUTHEP, R. BROCKMAN, R. & JOHNSON, J.A. infrared and Raman Spectra of maltooligosaccharides. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.53, n.1. p.110-117, 1976.
- STATISTICA 5.0 for Windows. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, USA, 1995.
- STAUFFER, C.E. **Functional Additives for Bakery Foods**. An Avi Book, New York, 1991, 279p.
- STINE, K.E. **Beckman Infrared Laboratory Manual**. Beckman Instruments, Inc. Fullerton, California, USA. s.d.
- WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C.S. & SILVA, R.S.F. Extraction of proteins from wheat bran: application of carbohydrases. **Cereal Chemistry**, v.58, n.4, p.264-26, 1981.
- WILHOFT, E.M.A. Bread staling, I, experimental study, II. Theoretical study. **Journal of Science Food and Agricultural**, v. 22, p.176-183, 1971.,
- WILLIAMS, P.C. & LESSELLEUR, G.C. Determination of damaged starch in flour, a comparative study of present day procedures. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v.15, p. 4, 1970.
- WU, Y. & SEIB, P.A. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze-thaw stability. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.67, n.2; p.202-208, 1990.
- WURZBURG, O.B. **Modified starches: properties and uses**. CRC Press, Boca Raton, 1989, 277p.
- YEH, A. & YEH, S.L. Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.70, n.5; p.596-601, 1993.
- YLIMAKI, G.; HAWARYSH, Z.J.; HARDIN, R.J. & THOMSON, A.B.R. Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: objective measurements. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.6, p.1800-5, 1988.

YOOK, C.; PEK, U. & PARK, K. Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated and croos-linked rices. **Journal of Food Science**, Chicago, v.58, n.2,p.405-407, 1993.

ANEXO

TABELA 1A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das Respostas		2,42046			
Desvio Padrão		0,04973			
R ²		0,9414			
Origem	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	valor F _{calculado}	F _{tabelado}
Modelo	2	0,7158	0,35790	144,691	3,55
Resíduo	18	0,0469	0,0026		
Falta de ajuste	2	0,0034	0,0017	0,6286	3,63
Erro puro	16	0,0435	0,00247		
Total	20	0,7627			
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	2,054762	1	0,01085301	189,326	0,0001
x ₁	0,225	1	0,01435718	15,672	0,0001
x ₂	-0,095	1	0,01435718	-6,617	0,0001

TABELA 2A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE INICIAL (VI) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas			713,076923		
Desvio Padrão			171,327423		
R ²			0,9258		
Coefficiente de variação			24,0265		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	1805693	0,6518	30,758	0,0003
Quadrático	2	675012	0,2437	11,498	0,0061
Interação	1	84100	0,0304	2,865	0,1344
Total da regressão	5	2564805	0,9258	17,476	0,0008
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	199072	66357	41,473	0,0018
Erro puro	4	6400,000000	1600,000000		
Total do erro	7	205472	29353		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-809,273646	1	9557,197014	-0,0847	0,9349
x	-35,770543	1	38,383011	-0,932	0,3824
y	278,207523	1	756,495315	0,368	0,7239
x ²	0,349291	1	0,073223	4,770	0,0020
y ²	1,422166	1	16,475226	0,0863	0,9336
x*y	-2,416667	1	1,427729	-1,693	0,1344

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado} 95%
Linear	2	902846,5	13,61	9,55
Quadrática	2	337505	5,09	9,55
Interação	1	84100	1,27	10,13
Total da regressão	5	512961	7,73	9,01
Falta de ajuste	3	66357		

Resumo do procedimento de Stepwise

Resumo do procedimento de Stepwise							
Variável		Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F		
b		5986,39258962	1655,88335728	13,07	0,0047		
x		-88,70907217	22,31557872	15,80	0,0026		
x ²		0,34853080	0,07406528	22,14	0,0008		
Step	Var.ent.	Var. rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x ²		0,7162	0,7162	17,7869	27,7561	0,0003
2	x		0,1738	0,8900	3,3816	15,8023	0,0026

TABELA 3A . ANÁLISE DE VARIÂNCIA VISC MÁX. À 95°C (V95) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas		175,384615			
Desvio Padrão		21,333508			
R ²		0,6583			
Coeficiente de variação		12,1638			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	1164,141414	0,1249	1,279	0,3362
Quadrático	2	73,105484	0,0078	0,0803	0,9237
Interação	1	4900,000000	0,5256	10,766	0,0135
Total da regressão	5	6137,246898	0,6583	2,697	0,1142
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	1905,830025	635,276675	1,985	0,2585
Erro puro	4	1280,000000	320,000000		
Total do erro	7	3185,830025	455,118575		
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-2295,747865	1	1190,0519	-1,929	0,0950
x	13,082153	1	4,779412	2,737	0,0290
y	129,555089	1	94,197991	1,375	0,2114
x ²	-0,000801	1	0,009118	-0,0879	0,9324
y ²	-0,818056	1	2,051478	-0,399	0,7020
x*y	-0,583333	1	0,177779	-3,281	0,0135

TABELA 4A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISC. FINAL (V5O) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas		362,307692			
Desvio Padrão		83,094494			
R ²		0,5459			
Coeficiente de variação		22,9348			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	4552,020202	0,0428	0,330	0,7298
Quadrático	2	645,884087	0,0061	0,0468	0,9546
Interação	1	52900	0,4970	7,661	0,0278
Total da regressão	5	58098	0,5459	1,683	0,2562
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	30253	10084	2,231	0,2269
Erro puro	4	18080	4520,000000		
Total do erro	7	48333	6904,694992		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-7317,401914	1	4635,279278	-1,579	0,1584
x	43,812760	1	18,615916	2,354	0,0508
y	391,422699	1	366,903293	1,067	0,3215
x ²	-0,006553	1	0,035514	-0,185	0,8588
y ²	-2,112224	1	7,990551	-0,264	0,7991
x*y	-1,916667	1	0,692454	-2,768	0,0278

TABELA 5A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas			8,084231				
Desvio Padrão			0,419045				
R²			0,6409				
Coeficiente de variação			5,1835				
REGRESSÃO	GL	SQ	R²	F	Prob>F		
Linear	2	4,235593	0,4331	12,060	0,0004		
Quadrático	2	2,012052	0,2058	5,729	0,0108		
Interação	1	0,019012	0,0019	0,108	0,7455		
Total da regressão	5	6,266657	0,6409	7,137	0,0006		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	0,375687	0,125229	0,679	0,5770		
Erro puro	17	3,136290	0,1844988				
Total do erro	20	3,511977	0,175599				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	-11,559769	1	16,529112	0,699	0,4924		
x	0,119230	1	0,066383	1,796	0,0876		
y	-1,088575	1	1,308354	-0,832	0,4152		
x²	-0,000407	1	0,000127	-3,213	0,0044		
y²	0,019091	1	0,028494	0,670	0,5105		
x*y	0,000812	1	0,002469	0,329	0,7455		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	-0,53899148	2,93860689	0,03	0,8562			
x	0,14016733	0,03661554	14,65	0,0009			
y	-0,12670455	0,05088896	6,20	0,0208			
x²	-0,00041714	0,00012153	11,78	0,0024			
Step	Var.ent.	Var. rem.	R² parcial	R² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x		0,3291	0,3291	15,3592	11,7793	0,0022
	x²		0,1977	0,5268	6,3498	9,6097	0,0050
2	y		0,1040	0,6308	2,5572	6,1992	0,0208

TABELA 6A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas		14,219385			
Desvio Padrão		2,128562			
R^2		0,8428			
Coeficiente de variação		14,9694			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	89,324843	0,1549	9,858	0,0010
Quadrático	2	342,249865	0,5936	37,769	0,0000
Interação	1	54,366378	0,0943	11,999	0,0025
Total da regressão	5	485,941086	0,8428	21,451	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	71,874834	23,958278	21,733	0,0000
Erro puro	17	18,740710	1,102395		
Total do erro	20	90,615544	4,530777		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-96,463912	1	83,960499	-1,149	0,2641
x	0,670768	1	0,337197	1,989	0,0605
y	7,142723	1	6,645853	1,075	0,2953
x^2	-0,005529	1	0,000643	-8,595	0,0000
y^2	-0,335129	1	0,144736	-2,315	0,0313
$x*y$	0,043448	1	0,012543	3,464	0,0025

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado-95\%}}$
Linear	2	44,66	1,86	9,55
Quadrática	2	171,12	7,14	9,55
Interação	1	54,366	2,27	10,13
Total da regressão	5	97,188	4,056	9,01
Falta de ajuste	3			

TABELA 7A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TORQUE DE EXTRUSADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas			5646,153846				
Desvio Padrão			413,782354				
R ²			0,8005				
Coeficiente de variação			7,3286				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F		
Linear	2	3918245	0,6521	11,442	0,0062		
Quadrático	2	147896	0,0246	0,432	0,6655		
Interação	1	743906	0,1238	4,345	0,0756		
Total da regressão	5	4810047	0,8005	5,619	0,0214		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	1009261	336420	7,111	0,0442		
Erro puro	4	189250	47313				
Total do erro	7	1198511	171216				
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	-27897	1	23082	-1,209	0,2661		
x	153,755718	1	92,700936	1,659	0,1412		
y	2395,712031	1	1827,053758	1,311	0,2311		
x ²	-0,022613	1	0,176845	-0,128	0,9018		
y ²	-36,975692	1	39,790231	-0,929	0,3837		
x*y	-7,187500	1	3,448186	-2,084	0,0756		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	-9594,06080032	10765,9112200	0,79	0,3960			
x	146,97180135	71,05796384	4,28	0,0685			
y	768,78156566	488,33735493	2,48	0,1499			
xy	-7,18750000	3,22318771	4,97	0,0527			
Step	Var.ent.	Var. rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	y ²		0,5130	0,5130	8,0904	11,5875	0,0059
2	xy		0,1629	0,6759	4,3751	5,0244	0,0489
3	x		0,0757	0,7515	3,7199	2,7404	0,1322
4		y ²	0,0373	0,7142	3,0293	1,3514	0,2749
5	y		0,0617	0,7759	2,8638	2,4784	0,1499

TABELA 8A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DE EXTRUSADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas			2,409585		
Desvio Padrão			0,131603		
R ²			0,9171		
Coefficiente de variação			5,4617		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	3,920079	0,3178	113,2	0,0000
Quadrático	2	7,341754	0,5953	212,0	0,0000
Interação	1	0,049800	0,0040	2,875	0,0952
Total da regressão	5	11,311633	0,9171	130,6	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,656526	0,218842	33,546	0,0000
Erro puro	56	0,365319	0,006524		
Total do erro	59	1,024844	0,017319		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	5,182262	1	3,283107	1,578	0,1198
x	0,130556	1	0,013185	9,902	0,0000
y ₂	-0,954278	1	0,259873	-3,672	0,0005
x ²	-0,000501	1	0,000025154	-19,936	0,0000
y ₂ ²	0,015319	1	0,005660	2,707	0,0089
x*y	0,000832	1	0,000490	1,696	0,0952

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	1,46	6,67	9,55
Quadrática	2	3,67	16,76	9,55
Interação	1	0,0498	0,227	10,13
Total da regressão	5	2,262	10,33	9,01
Falta de ajuste	3	0,219		

Resumo do procedimento de Stepwise

Resumo do procedimento de Stepwise							
Variável		Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F		
b		5,18226193	3,28310699	2,49	0,1198		
x		0,13055596	0,01318541	98,04	0,0001		
y		-0,95427763	0,25987275	13,48	0,0005		
x ²		-0,00050147	0,000025154	397,46	0,0001		
xy		0,00083167	0,00049046	2,88	0,0952		
y ²		0,01531887	0,00565960	7,33	0,0089		
Step	Var.ent.	Var. rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	y		0,3105	0,3105	429,9794	28,3757	0,0001
2	y ²		0,0371	0,3477	405,5318	3,5298	0,0650
3	x ²		0,0237	0,3713	390,6852	2,2955	0,1349
4	x		0,5418	0,9131	6,8754	374,1162	0,0001
5	xy		0,0040	0,9171	6,0000	2,8754	0,0952

TABELA 9A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO (VOL. ESP.) DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ (MODELO QUADRÁTICO)

Média das respostas	2,012308				
Desvio Padrão	0,082531				
R ²	0,8507				
Coefficiente de variação	4,1013				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,689566	0,7559	50,619	0,0000
Quadrático	2	0,084355	0,0925	6,192	0,0081
Interação	1	0,002113	0,0023	0,310	0,5838
Total da regressão	5	0,776034	0,8507	22,786	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,078988	0,026329	7,820	0,0017
Erro puro	17	0,057240	0,003367		
Total do erro	20	0,136228	0,006811		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	2,687091	1	3,255415	0,825	0,4189
x	0,025596	1	0,013074	1,958	0,0644
y ₁	-0,233561	1	0,257681	-0,906	0,3755
x ²	-0,000083984	1	0,000024942	-3,367	0,0031
y ₂	0,003425	1	0,005612	0,610	0,5485
x*y	0,000271	1	0,00486	0,557	0,5838

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,345	13,26	9,55
Quadrática	2	0,042	1,62	9,55
Interação	1	0,0021	0,08	10,13
Total da regressão	5	0,155	5,97	9,01
Falta de ajuste	3	0,026		

Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente

Resumo da regressão para a variável dependente							
Variável		Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F		
b		0,10376703	0,58052325	0,03	0,8598		
x		0,03210405	0,00723342	19,70	0,0002		
y		-0,04223485	0,01005314	17,65	0,0004		
x ²		-0,00008582	0,00002401	12,78	0,0017		
Step	Var.ent.	Var. rem	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x		0,6320	0,6320	27,2875	41,2167	0,0001
2	y		0,1239	0,7559	12,6946	11,6728	0,0024
3	x ²		0,0897	0,8456	2,6826	12,7770	0,0017

TABELA 10A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR L* DA CROSTA DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas	59,051282				
Desvio Padrão	2,773740				
R ²	0,3089				
Coefficiente de variação	4,6972				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	67,511938	0,1838	4,388	0,0204
Quadrático	2	42,820604	0,1166	2,783	0,0764
Interação	1	3,162133	0,0086	0,411	0,5259
Total da regressão	5	113,494675	0,3089	2,950	0,0261
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	100,857734	33,619245	6,591	0,0015
Erro puro	30	153,03227	5,101074		
Total do erro	33	253,889961	7,693635		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	35,922245	1	89,332363	0,402	0,6902
x	0,593505	1	0,358771	1,654	0,1076
y	-1,910889	1	7,071060	-0,270	0,7887
x ²	-0,001519	1	0,000684	-2,220	0,0334
y ²	0,080985	1	0,153996	0,526	0,6025
x*y	-0,008556	1	0,013345	-0,641	0,5259

TABELA 11A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR a^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas	6,014359				
Desvio Padrão	2,402343				
R^2	0,3883				
Coeficiente de variação	39,9435				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	91,093017	0,2926	7,892	0,0016
Quadrático	2	18,023045	0,0579	1,561	0,2249
Interação	1	11,800833	0,0379	2,045	0,1621
Total da regressão	5	120,916896	0,3883	4,190	0,0047
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	164,664757	54,888252	63,857	0,0000
Erro puro	30	25,786507	0,859558		
Total do erro	33	190,451263	5,771250		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	96,471181	1	77,370960	1,247	0,2212
x	-0,048842	1	0,310732	-0,157	0,8761
y	-7,870946	1	6,124261	-1,285	0,2077
x^2	-0,000851	1	0,000593	-1,436	0,1604
y^2	0,113295	1	0,133376	0,849	0,4018
$x*y$	0,016528	1	0,011558	1,430	0,1621

TABELA 12A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas			27,103077		
Desvio Padrão			3,253838		
R^2			0,3926		
Coeficiente de variação			12,0054		
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	106,435863	0,1850	5,027	0,0124
Quadrático	2	102,843718	0,1788	4,857	0,0142
Interação	1	16,544008	0,0288	1,563	0,2201
Total da regressão	5	225,823589	0,3926	4,266	0,0042
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	179,8332148	59,944049	10,606	0,0001
Erro puro	30	169,55093	5,651803		
Total do erro	33	349,386241	10,587462		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	235,505463	1	104,794613	2,247	0,0314
x	0,130366	1	0,420870	0,310	0,7587
y	-19,842945	1	8,294967	-2,392	0,0226
x^2	-0,001655	1	0,000803	-2,061	0,0472
y^2	0,374459	1	0,180651	2,073	0,0461
$x*y$	0,019569	1	0,015655	1,250	0,2201

TABELA 13A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR L* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas	60,503436				
Desvio Padrão	3,142540				
R ²	0,1932				
Coeficiente de variação	5,1936				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	43,339185	0,1073	2,194	0,1274
Quadrático	2	2,066998	0,0051	0,105	0,9009
Interação	1	32,637008	0,0808	3,305	0,0782
Total da regressão	5	78,043191	0,1932	1,581	0,1928
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	250,785926	83,595309	33,390	0,0000
Erro puro	27	75,107427	2,503581		
Total do erro	30	325,893352	9,875556		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-27,680669	1	101,210090	-0,273	0,7862
x	0,669263	1	0,406474	1,647	0,1092
y	4,015780	1	8,011236	0,501	0,6195
x ²	-0,000354	1	0,000775	-0,456	0,6513
y ²	-0,003478	1	0,174472	-0,0199	0,9842
x*y	-0,027486	1	0,015120	-1,818	0,0782

TABELA 14A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR a^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas				-1,346154	
Desvio Padrão				0,029518	
R^2				0,8915	
Coefficiente de variação				-2,1928	
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	0,024415	0,0922	14,010	0,0000
Quadrático	2	0,155721	0,5878	89,360	0,0000
Interação	1	0,056033	0,2115	64,309	0,0000
Total da regressão	5	0,236170	0,8915	54,210	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,007353	0,002451	3,436	0,0293
Erro puro	30	0,021400	0,000713		
Total do erro	33	0,028753	0,000871		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	5,397093	1	0,950672	5,677	0,0000
x	-0,001054	1	0,003818	-0,276	0,7843
y	-0,587795	1	0,075250	-7,811	0,0000
x^2	-0,000082700	1	0,00000728	-11,355	0,0000
y^2	0,009239	1	0,001639	5,638	0,0000
$x*y$	0,001139	1	0,000142	8,019	0,0000

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado-95\%}}$
Linear	2	0,0122	4,98	9,55
Quadrática	2	0,07786	31,76	9,55
Interação	1	0,056	22,85	10,13
Total da regressão	5	0,047	19,27	9,01
Falta de ajuste	3	0,00245		

Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente

Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente

Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F
b	5,25053879	0,77778793	45,57	0,0001
y	-0,58161280	0,07085669	67,38	0,0001
x ²	-0,00008386	0,00000589	202,63	0,0001
xy	0,00110681	0,00008051	189,00	0,0001
y ²	0,00920803	0,00161257	32,61	0,0001

Step	Var.ent.	Var. rem	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x ²		0,0863	0,0863	242,8046	3,4955	0,0695
2	x		0,4500	0,5363	107,9760	34,9409	0,0001
2	y		0,0391	0,5754	98,0925	3,2219	0,0813
4	xy		0,2115	0,7869	35,7836	33,7508	0,0001
5		x	0,0000	0,7869	33,7963	0,0066	0,9356
6	y ²		0,1043	0,8912	4,0762	32,6060	0,0001

TABELA 15A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ.

Média das respostas		4,470256			
Desvio Padrão		0,336398			
R2		0,8070			
Coeficiente de variação		7,5252			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	1,033186	0,0534	4,565	0,0178
Quadrático	2	5,738683	0,2966	25,356	0,0000
Interação	1	8,840833	0,4570	78,124	0,0000
Total da regressão	5	15,612702	0,8070	27,593	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	2,952569	0,984190	37,765	0,0000
Erro puro	30	0,781827	0,026061		
Total do erro	33	3,734395	0,113163		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-101,874802	1	10,834184	-9,403	0,0000
x	0,281244	1	0,043512	6,464	0,0000
y	7,687653	1	0,857575	8,964	0,0000
x ²	0,000133	1	0,0000830	1,602	0,1186
y ²	-0,125047	1	0,018677	-6,695	0,0000
x*y	-0,014306	1	0,001618	-8,839	0,0000

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,5166	0,52	9,55
Quadrática	2	2,87	2,91	9,55
Interação	1	8,84	8,98	10,13
Total da regressão	5	3,122	3,17	9,01
Falta de ajuste	3	0,984		

TABELA 16A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TEXTURA: ELASTICIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas				-1,139885	
Desvio Padrão				0,03923	
R2				0,3670	
Coeficiente de variação				-3,4417	
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,012560	0,2583	4,081	0,0326
Quadrático	2	0,001964	0,0404	0,638	0,5387
Interação	1	0,003321	0,0683	2,158	0,1574
Total da regressão	5	0,017845	0,3670	2,319	0,0815
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,017273	0,005758	7,246	0,0024
Erro puro	17	0,013508	0,000795		
Total do erro	20	0,030781	0,001539		
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-3,149295	1	1,532883	-2,054	0,0532
x	0,011421	1	0,007050	1,620	0,1209
y	0,122053	1	0,121060	1,008	0,3254
x ²	-0,000007734	1	0,000012120	-0,638	0,5306
y ²	-0,001598	1	0,002752	-0,581	0,5680
x*y	-0,000433	1	0,000295	-1,469	0,1574

TABELA 17A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: GOMOSIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ.

Média das respostas	86,554308				
Desvio Padrão	16,271460				
R ²	0,1366				
Coeficiente de variação	18,7991				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	411,506149	0,0671	0,777	0,4731
Quadrático	2	368,971349	0,0602	0,697	0,5099
Interação	1	57,150581	0,0093	0,216	0,6472
Total da regressão	5	837,62878	0,1366	0,633	0,6771
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	563,171813	187,723938	0,674	0,5795
Erro puro	17	4732,036640	278,355096		
Total do erro	20	5295,208453	264,760423		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-645,770940	1	635,780359	-1,016	0,3219
x	1,477402	1	2,924210	0,505	0,6189
y	59,774491	1	50,211159	1,190	0,2478
x ²	-0,001008	1	0,005027	-0,201	0,8430
y ²	-1,219588	1	0,122341	-1,068	0,6472
x*y	-0,056840	1	1,141409	-0,465	0,2980

TABELA 18A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TEXTURA: FRATURABILIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas			194,142308		
Desvio Padrão			36,142343		
R ²			0,1367		
Coeficiente de variação			18,6164		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	2316,495881	0,0765	0,887	0,4276
Quadrático	2	1451,530978	0,0480	0,556	0,5823
Interação	1	370,017155	0,0122	0,283	0,6004
Total da regressão	5	4138,044014	0,1367	0,634	0,6765
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	3447,418447	1149,139482	0,861	0,4800
Erro puro	17	22678	1333,997706		
Total do erro	20	26125	1306,268972		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1275,949342	1	1412,202188	-0,904	0,3770
x	3,215816	1	6,495287	0,495	0,6259
y	119,446741	1	111,529569	1,071	0,2969
x ²	-0,000597	1	0,011166	-0,0535	0,9579
y ²	-2,360419	1	2,535310	-0,931	0,3629
x*y	-0,144629	1	0,271745	-0,532	0,6004

TABELA 19A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TEXTURA: COESIVIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas			0,456731				
Desvio Padrão			0,002148				
R ²			0,4788				
Coeficiente de variação			0,4704				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F		
Linear	2	0,000058814	0,3321	6,371	0,0072		
Quadrático	2	0,000006672	0,0377	0,723	0,4977		
Interação	1	0,000019311	0,1090	4,184	0,0542		
Total da regressão	5	0,000084798	0,4788	3,674	0,0161		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	0,000033817	0,000011272	3,276	0,0466		
Erro puro	17	0,000058500	0,000003441				
Total do erro	20	0,000092317	0,000004616				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	0,558976	1	0,083947	6,659	0,0000		
x	-0,000905	1	0,000386	-2,344	0,0295		
y	-0,004332	1	0,006630	-0,653	0,5209		
x ²	0,000000572	1	0,000000664	0,862	0,3990		
y ²	0,000012840	1	0,000151	0,0852	0,9330		
x*y	0,000033041	1	0,000016154	2,045	0,0542		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	0,44515647	0,00337409	17406,6	0,0001			
y ²	0,00002348	0,00000679	11,97	0,0020			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	y ²		0,3327	0,3327	3,6046	11,9664	0,0020

TABELA 20A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TEXTURA: DUREZA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ.

Média das respostas	189,238461				
Desvio Padrão	35,580557				
R ²	0,1379				
Coefficiente de variação	18,8020				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	2099,893458	0,0715	0,829	0,4508
Quadrático	2	1589,035110	0,0541	0,628	0,5441
Interação	1	360,492262	0,0123	0,285	0,5995
Total da regressão	5	4049,420830	0,1379	0,640	0,6721
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	3150,010708	1050,003569	0,805	0,5082
Erro puro	17	22170	1304,088824		
Total do erro	20	25320	1265,976035		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1355,969971	1	1390,251322	-0,975	0,3410
x	3,341683	1	6,394326	0,523	0,6070
y	125,119732	1	109,795985	1,140	0,2679
x ²	-0,001128	1	0,010992	-0,103	0,9193
y ²	-2,489110	1	2,495902	-0,997	0,3305
x*y	-0,142756	1	0,267521	-0,534	0,5995

TABELA 21A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TEXTURA: MASTIGABILIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ

Média das respostas		-94,363654			
Desvio Padrão		19,505174			
R ²		0,0718			
Coeficiente de variação		-20,6702			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	162,425835	0,0198	0,213	0,8096
Quadrático	2	368,561105	0,0450	0,484	0,6231
Interação	1	57,792853	0,0070	0,152	0,7008
Total da regressão	5	588,779792	0,0718	0,310	0,9014
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	560,608055	186,869352	0,451	0,7201
Erro puro	17	7048,428329	414,613431		
Total do erro	20	7609,036384	380,451819		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-108,280946	1	762,132369	-0,142	0,8884
x	0,575314	1	3,505354	0,164	0,8713
y	-4,533248	1	60,189890	-0,0753	0,9407
x ²	-0,006058	1	0,006026	-1,005	0,3267
y ²	-0,045711	1	1,368247	-0,0334	0,9737
x*y	0,057159	1	0,146655	0,390	0,7008

TABELA 22A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS DE ARROZ (MODELO LINEAR)

Média das Respostas			1,71143		
Desvio Padrão			0,06624		
R²			0,6004		
Coeficiente de variação			3,87073		
Origem	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Modelo	2	0,11867	0,05933	13,52	3,55
Resíduo	18	0,079	0,0044		
Falta de ajuste	2	0,0272	0,0136	4,21	3,63
Erro puro	16	0,0518	0,0032		
Total	20	0,19766			

FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1,711429	1	0,01445578	118,391	0,0001
x ₁	-0,06333	1	0,01912320	-3,312	0,0039
x ₂	0,07667	1	0,01912320	4,009	0,0008

TABELA 23A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE INICIAL (VI) PARA FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			330,833333		
Desvio Padrão			92,208007		
R ²			0,8381		
Coeficiente de variação			27,8714		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	175124	0,5558	10,299	0,0115
Quadrático	2	85929	0,2727	5,053	0,0517
Interação	1	3025,00000	0,0096	0,356	0,5727
Total da regressão	5	264078	0,8381	6,212	0,0229
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	49014	16338	24,507	0,0130
Erro puro	3	2000,000	666,666667		
Total do erro	6	51014	8502,316584		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	706,686813	1	1010,952059	0,699	0,5107
x	-13,236827	1	12,643351	-1,047	0,3355
y	255,893610	1	175,070480	1,462	0,1941
x ²	0,064956	1	0,041110	1,580	0,1652
y ²	-38,842454	1	16,198126	-2,398	0,0534
x*y	-0,611111	1	1,024533	-0,596	0,5727

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	87562	5,35	9,55
Quadrática	2	42964,5	2,63	9,55
Interação	1	3025	0,18	10,13
Total da regressão	5	52815,6	3,23	9,01
Falta de ajuste	3	16338		

TABELA 24A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE MÁXIMA À 95°C (V95) PARA FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		223,333333			
Desvio Padrão		63,329708			
R ²		0,6652			
Coeficiente de variação		28,3566			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	36153	0,5031	4,507	0,0638
Quadrático	2	11625	0,1618	1,449	0,3066
Interação	1	25,000000	0,0003	0,00623	0,9396
Total da regressão	5	47803	0,6652	2,384	0,1601
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	23389	7796,303896	34,650	0,0079
Erro puro	3	675,000000	225,000000		
Total do erro	6	24064	4010,651948		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1630,184416	1	694,335568	2,348	0,0572
x	-16,435231	1	8,683625	-1,893	0,1073
y	-27,021704	1	120,240777	-0,225	0,8296
x ²	0,047896	1	0,028235	1,696	0,1407
y ²	5,254322	1	11,125092	0,472	0,9396
x*y	-0,055556	1	0,703663	-0,0790	0,6534

TABELA 25A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE FINAL (V50) PARA FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		362,500000			
Desvio Padrão		97,015260			
R ²		0,5630			
Coeficiente de variação		26,7628			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	63072	0,4881	3,351	0,1054
Quadrático	2	1581,260808	0,0122	0,0840	0,9205
Interação	1	8100,000000	0,0627	0,861	0,3894
Total da regressão	5	72753	0,5630	1,546	0,3036
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	51397	17132	10,127	0,0445
Erro puro	3	5075,000000	1691,666667		
Total do erro	6	56472	9411,960583		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1468,836157	1	1063,657913	1,381	0,2165
x	-8,761338	1	13,302511	-0,659	0,5346
y	-187,933240	1	184,197757	-1,020	0,3470
x ²	0,011023	1	0,043253	0,255	0,8074
y ²	6,212460	1	17,042613	0,365	0,7280
x*y	1,000000	1	1,077947	0,928	0,3894

TABELA 26A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO EM ÁGUA (IAA) PARA FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			7,393611				
Desvio Padrão			0,429163				
R ²			0,4767				
Coeficiente de variação			5,8045				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F		
Linear	2	2,988002	0,2830	8,112	0,0015		
Quadrático	2	1,974470	0,1870	5,360	0,0102		
Interação	1	0,070533	0,0067	0,383	0,5407		
Total da regressão	5	5,033005	0,4767	5,465	0,0011		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	0,797201	0,265734	1,517	0,2325		
Erro puro	27	4,728225	0,175119				
Total do erro	30	5,525426	0,184181				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	2,914932	1	2,716587	1,073	0,2918		
x	0,046071	1	0,033975	1,356	0,1852		
y	0,400126	1	0,470442	0,851	0,4018		
x ²	-0,000129	1	0,000110	-1,169	0,2516		
x*y	0,001704	1	0,002753	0,619	0,5407		
y ²	-0,140483	1	0,043527	-3,227	0,0030		
Resumo do procedimento de Stepwise							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	5,65581650	0,49417469	130,99	0,0001			
x	0,01158530	0,00325185	12,69	0,0011			
Step	Var.ent.	Var. rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x		0,2718	0,2718	9,7431	12,6927	0,0011

TABELA 27A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)
PARA FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		15,912222			
Desvio Padrão		5,053268			
R ²		0,1504			
Coeficiente de variação		31,7571			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	78,704681	0,0873	1,541	0,2306
Quadrático	2	56,499009	0,0627	1,106	0,3439
Interação	1	0,381633	0,0004	0,0149	0,9035
Total da regressão	5	135,585323	0,1504	1,062	0,4008
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	61,985466	20,661822	0,792	0,5088
Erro puro	27	704,080033	26,077038		
Total do erro	30	766,065499	25,535517		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-23,315709	1	31,987008	-0,729	0,4717
x	0,441797	1	0,40042	1,104	0,2782
y	2,652813	1	5,539314	0,479	0,6355
x ²	-0,001303	1	0,001301	-1,002	0,3243
y ²	-0,652639	1	0,512516	-1,273	0,2127
x*y	0,003963	1	0,032417	0,122	0,9035

TABELA 28A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TORQUE DE EXTRUSADOS FOSFATADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas		7241,666667			
Desvio Padrão		719,593			
R ²		0,6890			
Coeficiente de variação		9,9368			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	4963083	0,4968	4,792	0,0571
Quadrático	2	1716702	0,1719	1,658	0,2672
Interação	1	202500	0,0203	0,391	0,5548
Total da regressão	5	6882285	0,6890	2,658	0,1329
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	3056882	1018961	61,138	0,0034
Erro puro	3	50000	16667		
Total do erro	6	3106882	517814		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	16874	1	7889,485362	2,139	0,0763
x	-123,314443	1	98,668908	-1,250	0,2579
y	1358,348859	1	1366,252708	0,994	0,3585
x ²	0,367417	1	0,320821	1,145	0,2957
y ²	-147,307947	1	126,410421	-1,165	0,2881
x*y	-5,000	1	7,995474	-0,625	0,5548

TABELA 29A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE EXPANSÃO DE EXTRUSADOS FOSFATADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas			2,507833		
Desvio Padrão			0,149658		
R ²			0,7803		
Coefficiente de variação			5,9676		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,073586	0,0063	1,643	0,1980
Quadrático	2	8,615248	0,7414	192,3	0,0000
Interação	1	0,378302	0,0326	16,890	0,0001
Total da regressão	5	9,067136	0,7803	80,966	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	1,169531	0,389844	31,272	0,0000
Erro puro	111	1,383770	0,012466		
Total do erro	114	2,553301	0,022397		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-6,962233	1	0,518872	-13,418	0,0000
x	0,125591	1	0,006489	19,354	0,0000
y	0,283137	1	0,089855	3,151	0,0021
x ²	-0,000403	1	0,000021100	-19,101	0,0000
y ²	0,005351	1	0,008314	0,644	0,5211
x*y	-0,002161	1	0,000526	-4,110	0,0001

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,037	0,09	9,55
Quadrática	2	4,31	11,05	9,55
Interação	1	0,378	0,97	10,13
Total da regressão	5	1,81	4,65	9,01
Falta de ajuste	3	0,39		

Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente

Resumo da regressão stepwise para a variável dependente							
Variável		Par. estimado		Erro padrão	F	Prob>F	
b		-7,04560083		0,50116149	197,64	0,0001	
x		0,12638486		0,00635474	395,54	0,0001	
y		0,30989001		0,07945863	15,21	0,0002	
x ²		-0,00040567		0,00002064	386,21	0,0001	
xy		-0,00216111		0,00052450	16,98	0,0001	
Step	Var.ent.	Var. rem	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x ²		0,0178	0,0178	393,5807	2,1419	0,1460
2	x		0,7259	0,7438	18,9417	331,4742	0,0001
3	xy		0,0065	0,7503	17,5469	3,0399	0,0839
4	y		0,0292	0,7795	4,4142	15,2101	0,0002

TABELA 30A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VOLUME ESPECÍFICO (VOL. ESP.) DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		1,740556			
Desvio Padrão		0,106008			
R ²		0,3238			
Coeficiente de variação		6,0905			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,080645	0,1617	3,588	0,0401
Quadrático	2	0,074281	0,1490	3,305	0,0504
Interação	1	0,006533	0,0131	0,581	0,4517
Total da regressão	5	0,161459	0,3238	2,874	0,0309
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,194505	0,064835	12,274	0,0000
Erro puro	27	0,142625	0,005282		
Total do erro	30	0,337130	0,011238		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1,182095	1	0,671026	1,762	0,0883
x	0,004526	1	0,008392	0,539	0,5936
y	0,248069	1	0,116204	2,135	0,0411
x ²	-0,000014377	1	0,000027287	-0,527	0,6022
y ²	-0,000519	1	0,000680	-0,762	0,45517
x*y	-0,027641	1	0,010752	-2,571	0,0153

TABELA 31A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR L^* DA CROSTA DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas	60,022222				
Desvio Padrão	2,673775				
R^2	0,6309				
Coefficiente de variação	4,4546				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	164,078381	0,2824	11,475	0,0002
Quadrático	2	190,253747	0,3275	13,306	0,0001
Interação	1	12,200833	0,0210	1,707	0,2014
Total da regressão	5	366,532961	0,6309	10,254	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	87,487369	29,162456	6,201	0,0024
Erro puro	27	126,984892	4,703144		
Total do erro	30	214,472261	7,149075		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par=0	Prob>T
b	103,953092	1	16,924905	6,142	0,0000
x	-0,462261	1	0,211669	-2,184	0,0369
y	-4,423971	1	2,930951	-1,509	0,1417
x^2	0,001487	1	0,000688	2,160	0,0389
y^2	1,360186	1	0,271182	5,016	0,0000
$x*y$	-0,022407	1	0,017152	-1,306	0,2014

TABELA 32A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR a^* DA CROSTA DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		6,143056			
Desvio Padrão		3,185474			
R^2		0,6787			
Coeficiente de variação		51,8549			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	97,573158	0,1030	4,808	0,0154
Quadrático	2	524,851992	0,5540	25,862	0,0000
Interação	1	20,593200	0,0217	2,029	0,1646
Total da regressão	5	643,018350	0,6787	12,674	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	115,266348	38,422116	5,484	0,0045
Erro puro	27	189,151067	7,005595		
Total do erro	30	304,417414	10,147247		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-86,605575	1	20,163941	-4,295	0,0002
x	1,131816	1	0,252178	4,488	0,0001
y	6,268776	1	3,491868	1,795	0,0827
x^2	-0,003804	1	0,000820	-4,640	0,0001
y^2	-2,033389	1	0,323080	-6,294	0,0000
$x*y$	0,029111	1	0,020435	1,425	0,1646

TABELA 33A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR b^* DA CROSTA DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		29,774444			
Desvio Padrão		4,280325			
R^2		0,6255			
Coeficiente de variação		14,3758			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	421,207079	0,2870	11,495	0,0002
Quadrático	2	481,333011	0,3280	13,136	0,0001
Interação	1	15,368033	0,0105	0,839	0,3670
Total da regressão	5	917,908123	0,6255	10,020	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	469,931032	156,643677	53,063	0,0000
Erro puro	27	79,704533	2,952020		
Total do erro	30	549,635565	18,321186		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-63,958729	1	27,094309	-2,361	0,0249
x	1,043100	1	0,338852	3,078	0,0044
y	8,062538	1	4,692026	1,718	0,0960
x^2	-0,003320	1	0,001102	-3,013	0,0052
y^2	-2,020436	1	0,434122	-4,654	0,0001
$x*y$	0,025148	1	0,027458	0,916	0,3670

TABELA 34A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR L^* DO MIOLO DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			59,556111				
Desvio Padrão			2,004994				
R ²			0,3965				
Coeficiente de variação			3,3666				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F		
Linear	2	14,128940	0,0707	1,757	0,1898		
Quadrático	2	59,162149	0,2961	7,358	0,0025		
Interação	1	5,936133	0,0297	1,477	0,2338		
Total da regressão	5	79,227222	0,3965	3,942	0,0073		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	12,620134	4,206711	1,052	0,3857		
Erro puro	27	107,979900	3,999256				
Total do erro	30	120,600034	4,020001				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	53,498508	1	12,691542	4,215	0,0002		
x	0,087029	1	0,158725	0,548	0,5875		
y	1,049022	1	2,197843	0,477	0,6366		
x ²	-0,000409	1	0,000516	-0,792	0,4348		
y ²	-0,780059	1	0,203352	-3,836	0,0006		
x*y	0,015630	1	0,012862	1,215	0,2338		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	57,26616346	1,19919561	2280,43	0,0001			
y	3,23666305	1,02086399	10,05	0,0033			
y ²	-0,74869790	0,19693113	14,45	0,0006			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	y ²		0,1557	0,1557	9,9689	6,2698	0,0172
2	y		0,1971	0,3528	2,1697	10,0522	0,0033

TABELA 35A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR a^* DO MIOLO DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			-1,295000				
Desvio Padrão			0,087670				
R ²			0,5988				
Coeficiente de variação			-6,7699				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F		
Linear	2	0,261207	0,4545	16,992	0,0000		
Quadrático	2	0,080213	0,1396	5,218	0,0114		
Interação	1	0,002700	0,0047	0,351	0,5578		
Total da regressão	5	0,344119	0,5988	8,954	0,0000		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	0,039914	0,013305	1,884	0,1561		
Erro puro	27	0,190667	0,007062				
Total do erro	30	0,230581	0,007686				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	-0,436867	1	0,554948	-0,787	0,4373		
x	-0,010906	1	0,006940	-1,571	0,1266		
y	-0,218891	1	0,096102	-2,278	0,0300		
x ²	0,000043238	1	0,000022567	1,916	0,0649		
y ²	0,026003	1	0,008892	2,924	0,5578		
x*y	0,000333	1	0,000562	0,593	0,5578		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	-0,56186690	0,50791139	1,22	0,2771			
x	-0,01007294	0,00672499	2,24	0,1443			
y	-0,16889051	0,04554835	13,75	0,0008			
x ²	0,00004324	0,00002233	3,75	0,0620			
y ²	0,02600289	0,00879820	8,73	0,0059			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x ²		0,3262	0,3262	18,3843	16,4572	0,0003
2	y		0,1419	0,4681	9,7726	8,8047	0,0056
3	y ²		0,0966	0,5647	4,5479	7,1032	0,0120
4	x		0,0294	0,5941	4,3513	2,2435	0,1443

TABELA 36A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO VALOR b* DO MIOLO DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas	4,898611				
Desvio Padrão	0,549894				
R ²	0,7435				
Coeficiente de variação	11,2255				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	14,672589	0,4148	24,262	0,0000
Quadrático	2	11,575945	0,3273	19,141	0,0000
Interação	1	0,049408	0,0014	0,163	0,6889
Total da regressão	5	26,297943	0,7435	17,394	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	7,958121	2,652707	64,330	0,0000
Erro puro	27	1,113367	0,041236		
Total do erro	30	9,071488	0,302383		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	15,410907	1	3,480807	4,427	0,0001
x	-0,188394	1	0,043532	-4,328	0,0002
y	1,057224	1	0,602785	1,754	0,0897
x ²	0,000723	1	0,000142	5,106	0,0000
y ²	-0,135702	1	0,055772	-2,433	0,0211
x*y	-0,001426	1	0,003528	-0,404	0,6889

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	7,335	2,73	9,55
Quadrática	2	5,785	2,18	9,55
Interação	1	0,049	0,018	10,13
Total da regressão	5	5,26	1,985	9,01
Falta de ajuste	3	2,65		

TABELA 37A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: ELASTICIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			-1,124333				
Desvio Padrão			0,021824				
R²			0,3650				
Coeficiente de variação			-1,9411				
REGRESSÃO	GL	SQ	R²	F	Prob>F		
Linear	2	0,001294	0,0959	1,359	0,2822		
Quadrático	2	0,003584	0,2655	3,762	0,0431		
Interação	1	0,000050000	0,0037	0,105	0,7497		
Total da regressão	5	0,004928	0,3650	2,069	0,1169		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	0,001600	0,000533	1,147	0,3623		
Erro puro	15	0,006973	0,000465				
Total do erro	18	1,008573	0,000476				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	-1,357609	1	0,169193	-8,024	0,0000		
x	0,003686	1	0,002116	1,742	0,0986		
y	-0,019656	1	0,029300	-0,671	0,5108		
x²	-0,000012342	1	0,000006880	-1,794	0,0897		
y²	0,004571	1	0,002711	1,686	0,7497		
x*y	-0,000055556	1	0,000171	-0,324	0,1090		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	Prob>F			
b	-1,10149964	0,01166637	8914,50	0,0001			
xy	-0,00011599	0,00005694	4,15	0,0545			
y²	0,00266641	0,00175159	2,32	0,1429			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R² parcial	R² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	xy		0,0945	0,0945	5,6689	2,2951	0,1440
2	y²		0,0900	0,1845	5,1179	2,3173	0,1429

TABELA 38A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: GOMOSIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		116,293292			
Desvio Padrão		28,416117			
R ²		0,1894			
Coeficiente de variação		24,4349			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	1772,994872	0,0989	1,098	0,3549
Quadrático	2	1105,933982	0,0617	0,685	0,5168
Interação	1	517,004168	0,0288	0,640	0,4340
Total da regressão	5	3395,933022	0,1894	0,841	0,5380
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	13784	4594,570000	91,787	0,0000
Erro puro	15	750,852651	50,056843		
Total do erro	18	14535	807,475703		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	445,343824	1	220,298560	2,022	0,0583
x	-3,547037	1	2,755138	-1,287	0,2143
y	-43,702931	1	38,149954	-1,146	0,2670
x ²	0,009928	1	0,008958	1,108	0,2823
y ²	2,063990	1	3,529766	0,585	0,5660
x*y	0,178644	1	0,223258	0,800	0,4340

TABELA 39A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: FRATURABILIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas	261,020833				
Desvio Padrão	63,944998				
R ²	0,1800				
Coefficiente de variação	24,4980				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	8551,964008	0,0953	1,046	0,3718
Quadrático	2	5000,245957	0,0557	0,611	0,5535
Interação	1	2606,42000	0,0290	0,637	0,4351
Total da regressão	5	16159	0,1800	0,790	0,5703
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	69623	23208	87,499	0,0000
Erro puro	15	3978,505000	265,233667		
Total do erro	18	73601	4088,962757		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	973,093645	1	495,739478	1,963	0,0653
x	-7,648112	1	6,199907	-1,234	0,2332
y	-95,690335	1	85,849124	-1,115	0,2797
x ²	0,021278	1	0,020159	1,055	0,3052
y ²	4,203106	1	7,943058	0,529	0,6032
x*y	0,401111	1	0,502399	0,798	0,4351

TABELA 40A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: COESIVIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas			0,458917		
Desvio Padrão			0,002635		
R ²			0,2892		
Coefficiente de variação			0,5742		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,000016506	0,0939	1,189	0,3274
Quadrático	2	0,000034224	0,1946	2,465	0,1132
Interação	1	0,000000125	0,0007	0,0180	0,8948
Total da regressão	5	0,000050855	0,2892	1,465	0,2499
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,000024479	0,000008160	1,218	0,3375
Erro puro	15	0,000100	0,000006700		
Total do erro	18	0,000125	0,000006943		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	0,494390	1	0,020428	24,201	0,0000
x	-0,000395	1	0,000255	-1,547	0,1393
y	-0,003850	1	0,003538	-1,088	0,2908
x ²	0,000001189	1	0,000000831	1,431	0,1695
y ²	0,000636	1	0,000327	1,944	0,0677
x*y	0,000002778	1	0,000020703	0,134	0,8948

TABELA 41A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: DUREZA DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas		253,441667			
Desvio Padrão		61,891372			
R ²		0,1822			
Coeficiente de variação		24,4204			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	8131,657456	0,0964	1,061	0,3666
Quadrático	2	4865,385140	0,0577	0,635	0,5414
Interação	1	2366,720000	0,0281	0,618	0,4421
Total da regressão	5	15364	0,1822	0,802	0,5626
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	65267	21756	88,605	0,0000
Erro puro	15	3683,035000	245,535667		
Total do erro	18	68950	3830,541985		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	948,225593	1	479,818558	1,976	0,0637
x	-7,488453	1	6,000794	-1,248	0,2281
y	-92,474422	1	83,092036	-1,113	0,2804
x ²	0,020953	1	0,019512	1,074	0,2971
y ²	4,186672	1	7,687962	0,545	0,5927
x*y	0,382222	1	0,486265	0,786	0,4421

TABELA 42A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: MASTIGABILIDADE DE PÃES COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS FOSFATADAS

Média das respostas				-130,589500	
Desvio Padrão				31,015243	
R ²				0,1898	
Coeficiente de variação				-23,7502	
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	1820,124603	0,0852	0,946	0,4067
Quadrático	2	1571,991551	0,0736	0,817	0,4574
Interação	1	665,449921	0,0311	0,692	0,4165
Total da regressão	5	4057,566075	0,1898	0,844	0,5365
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	16461	5487,004499	96,4	0,0000
Erro puro	15	854,001572	56,933438		
Total do erro	18	17315	961,945282		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-517,862305	1	240,448522	-2,154	0,0451
x	4,303524	1	3,007141	1,431	0,1695
y	46,283439	1	41,639401	1,112	0,2810
x ²	-0,012291	1	0,009778	-1,257	0,2248
y ²	-1,822559	1	3,852621	-0,473	0,6418
x*y	-0,202675	1	0,243679	-0,832	0,4165

TABELA 43A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ (MODELO LINEAR)

Média das Respostas		1,78810			
Desvio Padrão		0,07306			
R ²		0,5444			
Coeficiente de variação		4,08614			
Origem	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Modelo	2	0,11483	0,05742	10,76	3,55
Resíduo	18	0,09609	0,00534		
Falta de ajuste	2	0,0404	0,0202	5,80	3,63
Erro puro	16	0,0557	0,0035		
Total	20	0,21092			
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1,788095	1	0,01594389	112,149	0,0001
x ₁	0,038333	1	0,02109178	1,817	0,0858
x ₂	0,09000	1	0,02109178	4,267	0,0005

TABELA 44A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE INICIAL (VI) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas			350,00000		
Desvio Padrão			82,830451		
R ²			0,6087		
Coeficiente de variação			23,6658		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	31318	0,2977	2,282	0,1832
Quadrático	2	29117	0,2768	2,122	0,2009
Interação	1	3600,000000	0,0342	0,525	0,4961
Total da regressão	5	64035	0,6087	1,867	0,2345
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	31165	10,388	3,117	0,1877
Erro puro	3	10000	3333,333333		
Total do erro	6	41165	6860,883567		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1058,783422	1	856,455226	-1,236	0,2626
x	19,157597	1	11,092336	1,727	0,1349
y	-1023,626738	1	5881,395340	-0,174	0,8676
x ²	-0,057503	1	0,036378	-1,581	0,1650
y ²	30216	1	25780	1,172	0,2856
x*y	-25,00000	1	34,512688	-0,724	0,4961

TABELA 45A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE MÁXIMA À 95°C (V95) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS NTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas			196,666667				
Desvio Padrão			32,597597				
R ²			0,8401				
Coeficiente de variação			16,5750				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F		
Linear	2	24548	0,6158	11,551	0,0088		
Quadrático	2	6442,661897	0,1616	3,032	0,1230		
Interação	1	2500,00000	0,627	2,353	0,1760		
Total da regressão	5	33491	0,8401	6,304	0,0222		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	4900,620040	1633,540013	3,322	0,1752		
Erro puro	3	1475,000000	491,666667				
Total do erro	6	6375,620040	1062,603340				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	1026,757213	1	337,054576	3,046	0,0226		
x	-10,061670	1	4,365345	-2,305	0,0607		
y	884,313154	1	2314,599936	0,382	0,7156		
x ²	0,032578	1	0,014316	2,276	0,0632		
y ²	11600	1	10146	1,143	0,1760		
x*y	-20,833333	1	13,582332	-1,534	0,2964		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	prob>F			
b	249,75573308	21,44787617	135,60	0,0001			
y	2729,47984234	1227,65643765	4,94	0,0533			
xy	-25,19083969	7,81555227	10,39	0,0104			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	xy		0,4963	0,4963	10,8996	9,8511	0,0105
2	y		0,1786	0,6748	6,1993	4,9432	0,0533

TABELA 46A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE FINAL (V50) DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas			335,833333				
Desvio Padrão			61,917933				
R ²			0,8688				
Coeficiente de variação			18,4371				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F		
Linear	2	105667	0,6028	13,781	0,0057		
Quadrático	2	42397	0,2419	5,529	0,0435		
Interação	1	4225,000000	0,0241	1,102	0,3343		
Total da regressão	5	152289	0,8688	7,944	0,0127		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	19203	6400,994295	5,053	0,1082		
Erro puro	3	3800,000000	1266,66667				
Total do erro	6	23003	3833,830481				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	2711,471862	1	640,222735	4,235	0,0055		
x	-29,063650	1	8,291812	-3,505	0,0127		
y	1376,202835	1	4396,497206	0,313	0,7649		
x ²	0,089777	1	0,027193	3,301	0,0164		
y ²	13434	1	19271	0,697	0,5118		
x*y	-27,083333	1	25,799139	-1,050	0,3343		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	prob>F			
b	2787,17099574	564,07740419	24,41	0,0011			
x	-29,43372420	7,62854185	14,89	0,0048			
y	0,08800300	0,02530742	12,09	0,0084			
xy	-9,04050965	3,66137517	6,10	0,0388			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	x		0,4938	0,4938	15,1434	9,7561	0,0108
2	y		0,2369	0,7307	6,3110	7,9191	0,0202
3	xy		0,1165	0,8472	2,9866	6,0967	0,0388

TABELA 47A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE ABSORÇÃO EM ÁGUA (IAA)
DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZAS DE ARROZ

Média das respostas			5,812611		
Desvio Padrão			0,290513		
R ²			0,4528		
Coeficiente de variação			4,9980		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,637805	0,1379	3,779	0,0344
Quadrático	2	1,450818	8,595	8,595	0,0011
Interação	1	0,006211	0,0736	0,0736	0,7880
Total da regressão	5	2,094834	4,964	4,964	0,0020
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,951792	0,317264	5,421	0,0047
Erro puro	27	1,580142	0,058524		
Total do erro	30	2,531934	0,084398		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	6,443484	1	1,742127	3,699	0,0009
x	-0,017104	1	0,022550	-0,759	0,4541
y	15,888546	1	11,788279	1,348	0,1878
x ²	0,000071118	1	0,000073962	0,962	0,3440
x*y	0,018958	1	0,069887	0,271	0,7880
y ²	-186,375311	1	48,015050	-3,882	0,0005

**TABELA 48A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)
DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ**

Média das respostas	20,014861				
Desvio Padrão	3,253168				
R ²	0,7963				
Coeficiente de variação	16,2538				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	1136,012776	0,7290	53,671	0,0000
Quadrático	2	20,898277	0,0134	0,987	0,3843
Interação	1	84,015792	0,0539	7,939	0,0085
Total da regressão	5	1240,926845	0,7963	23,451	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	219,683893	73,227964	20,214	0,0000
Erro puro	27	97,809238	3,622564		
Total do erro	30	317,493131	10,583104		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par =0	Prob>T
b	8,169190	1	19,508364	0,419	0,6784
x	-0,013650	1	0,252513	-0,0541	0,9572
y	-180,460387	1	132,005291	-1,367	0,1818
x ²	0,000374	1	0,000828	0,452	0,6548
x*y	2,205000	1	0,782591	2,818	0,0085
y ²	-679,595614	1	537,673120	-1,264	0,2160

TABELA 49A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TORQUE DOS EXTRUSADOS INTERCRUZADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas			7566,666667		
Desvio Padrão			314,104979		
R ²			0,8329		
Coeficiente de variação			4,1512		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	1856595	0,5242	9,409	0,0141
Quadrático	2	1087475	0,3071	5,511	0,0438
Interação	1	5625,000000	0,0016	0,0570	0,8192
Total da regressão	5	2949695	0,8329	5,979	0,0251
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	559472	186491	17,215	0,0215
Erro puro	3	32500	10833		
Total do erro	6	591972	98662		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	7523,624985	1	3247,801359	2,317	0,0597
x	8,471558	1	42,063734	0,201	0,8470
y	37614	1	22303	1,686	0,1427
x ²	-0,076762	1	0,137949	-0,556	0,5980
y ²	-323593	1	97762	-3,310	0,0162
x*y	-31,250000	1	130,877074	-0,239	0,8192

TABELA 50A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS INTERCRUZADOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas			2,464917		
Desvio Padrão			0,118584		
R ²			0,8657		
Coeficiente de variação			4,8109		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,102154	0,0086	3,632	0,0296
Quadrático	2	9,307962	0,7795	331,0	0,0000
Interação	1	0,927203	0,0777	65,936	0,0000
Total da regressão	5	10,337319	0,8657	147,0	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,432630	0,144210	13,676	0,0000
Erro puro	111	1,170450	0,010545		
Total do erro	114	1,603080	0,014062		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-7,972498	1	0,389491	-20,469	0,0000
x	0,134571	1	0,005041	26,693	0,0000
y	21,945142	1	2,635527	8,327	0,0000
x ²	-0,000425	1	0,000016536	-25,704	0,0000
y ²	-22,739137	1	10,738438	-2,118	0,0364
x*y	-0,126875	1	0,015625	-8,120	0,0000

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,051	0,35	9,55
Quadrática	2	4,66	32,28	9,55
Interação	1	0,927	6,44	10,13
Total da regressão	5	2,068	14,36	9,01
Falta de ajuste	3	0,144		

TABELA 51A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO (Vol. Esp.) DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ (DELINEAMENTO QUADRÁTICO)

Média das respostas			1,823056		
Desvio Padrão			0,059679		
R ²			0,7812		
Coefficiente de variação			3,2736		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,003004	0,0062	0,422	0,6597
Quadrático	2	0,312505	0,6399	43,872	0,0000
Interação	1	0,066008	0,1352	18,534	0,0002
Total da regressão	5	0,381517	0,7812	21,424	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,058688	0,019563	10,968	0,0001
Erro puro	27	0,048158	0,001784		
Total do erro	30	0,106847	0,003562		
FATORES	Par. estimado	G L	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-0,453907	1	0,357877	-1,268	0,2144
x	0,032837	1	0,004632	7,089	0,0000
y	-2,725441	1	2,421612	-1,125	0,2693
x ²	-0,000120	1	0,000015194	-7,902	0,0000
x*y	0,061806	1	0,014356	4,305	0,0002
y ²	-58,944906	1	9,863513	-5,976	0,0000

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,0015	0,077	9,55
Quadrática	2	0,156	7,99	9,55
Interação	1	0,066	3,47	10,13
Total da regressão	5	0,0763	3,90	9,01
Falta de ajuste	3	0,01956		

TABELA 52A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR L* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	60,951111				
Desvio Padrão	2,485936				
R ²	0,5729				
Coeficiente de variação	4,0786				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	42,717451	0,0984	3,456	0,0446
Quadrático	2	204,561356	0,4712	16,551	0,0000
Interação	1	1,421408	0,0033	0,230	0,6350
Total da regressão	5	248,700215	0,5729	8,049	0,0001
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	82,831249	27,610416	7,268	0,0010
Erro puro	27	102,565092	3,798707		
Total do erro	30	185,396340	6,179878		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	51,338563	1	14,907373	3,444	0,0017
x	0,107453	1	0,192958	0,557	0,5817
y	281,673263	1	100,872212	2,792	0,0090
x ²	-0,000445	1	0,000633	-0,702	0,4879
y ²	-2364,642647	1	411,003228	-5,753	0,0000
x*y	-0,286806	1	0,598023	-0,480	0,6350

TABELA 53A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR a^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas		5,153056			
Desvio Padrão		1,416530			
R^2		0,8082			
Coeficiente de variação		27,4891			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	prob>F
Linear	2	89,450757	0,2851	22,290	0,0000
Quadrático	2	162,983470	0,5194	40,613	0,0000
Interação	1	1,140833	0,0036	0,569	0,4567
Total da regressão	5	253,575060	0,8082	25,275	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	34,267971	11,422657	11,895	0,0000
Erro puro	27	25,928733	0,960323		
Total do erro	30	60,196704	2,006557		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	3,442188	1	8,494482	0,405	0,6882
x	0,015470	1	0,109951	0,141	0,8890
y	-241,713659	1	57,475751	-4,205	0,0002
x^2	0,000099	1	0,000361	0,273	0,7864
y^2	2101,241374	1	0,340764	0,754	0,4567
$x*y$	0,256944	1	234,196829	8,972	0,0000

TABELA 54A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	26,393333				
Desvio Padrão	3,781633				
R^2	0,6446				
Coeficiente de variação	14,3280				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	prob>F
Linear	2	243,124436	0,2014	8,500	0,0012
Quadrático	2	534,762418	0,4430	18,697	0,0000
Interação	1	0,353633	0,0003	0,0247	0,8761
Total da regressão	5	778,240487	0,6446	10,884	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	345,552947	115,184316	37,259	0,0000
Erro puro	27	83,469567	3,091465		
Total do erro	30	429,022513	14,300750		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	16,525150	1	22,677261	0,729	0,4718
x	0,101459	1	0,293530	0,346	0,7320
y	-354,65120	1	153,447921	-2,311	0,0279
x^2	0,000014414	1	0,000963	0,0150	0,9882
y^2	3794,572864	1	625,222639	6,069	0,0000
$x*y$	-0,143056	1	0,909720	-0,157	0,8761

TABELA 55A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR L^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	60,446389				
Desvio Padrão	2,119329				
R^2	0,2540				
Coefficiente de variação	3,5061				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	prob>F
Linear	2	3,756289	0,0208	0,418	0,6620
Quadrático	2	33,871277	0,1875	3,771	0,0346
Interação	1	8,250208	0,0457	1,837	0,1854
Total da regressão	5	45,877774	0,2540	2,043	0,1009
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	47,205765	15,735255	4,853	0,0079
Erro puro	27	87,540892	3,242255		
Total do erro	30	134,746656	4,491555		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	63,393854	1	12,708947	4,988	0,0000
x	-0,026599	1	0,164502	-0,162	0,8726
y	-10,805670	1	85,996340	-0,126	0,9008
x^2	-0,000012675	1	0,000540	-0,0235	0,9814
y^2	-955,689545	1	350,391573	-2,727	0,1854
x*y	0,690972	1	0,509831	1,355	0,0106

TABELA 56A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR a^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas			-1,260278		
Desvio Padrão			0,064189		
R^2			0,5280		
Coeficiente de variação			-5,0932		
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	prob>F
Linear	2	0,125548	0,4794	15,236	0,0000
Quadrático	2	0,012669	0,0484	1,537	0,2314
Interação	1	0,000075000	0,0003	0,0182	0,8936
Total da regressão	5	0,138292	0,5280	6,713	0,0003
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,050472	0,016824	6,211	0,0024
Erro puro	27	0,073133	0,002709		
Total do erro	30	0,123605	0,004120		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1,913659	1	0,384919	-4,972	0,0000
x	0,007425	1	0,004982	1,490	0,1466
y	1,243650	1	2,604589	0,477	0,6365
x^2	-0,000023356	1	0,000016342	-1,429	0,1633
y^2	8,805345	1	10,612383	0,830	0,4132
$x*y$	-0,002083	1	0,015441	-0,135	0,8936

TABELA 57A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas		3,810833			
Desvio Padrão		0,386835			
R^2		0,5451			
Coeficiente de variação		10,1509			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	prob>F
Linear	2	1,463510	0,1483	4,890	0,0145
Quadrático	2	3,819325	0,3870	12,762	0,0001
Interação	1	0,097200	0,0098	0,650	0,4266
Total da regressão	5	5,380036	0,5451	7,191	0,0002
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	2,846639	0,948880	15,597	0,0000
Erro puro	27	1,642600	0,060837		
Total do erro	30	4,489239	0,149641		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	12,467716	1	2,319727	5,375	0,0000
x	-0,118209	1	0,030026	-3,937	0,0005
y	24,347766	1	15,696663	1,551	0,1314
x^2	0,000390	1	0,000098	3,958	0,0004
y^2	-167,615598	1	63,955962	-2,621	0,0136
$x*y$	-0,075000	1	0,093058	-0,806	0,4266

TABELA 58A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: ELASTICIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas				-1,155833	
Desvio Padrão				0,085119	
R ²				0,0118	
Coefficiente de variação				-7,3643	
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,00132	0,0102	0,0926	0,9120
Quadrático	2	0,000209	0,0016	0,0144	0,9857
Interação	1	0,0000125	0,0001	0,00173	0,9673
Total da regressão	5	0,001563	0,0118	0,0432	0,9987
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,029705	0,009902	1,475	0,2614
Erro puro	15	0,100709	0,006714		
Total do erro	18	0,130414	0,007245		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1,232961	1	0,625148	-1,972	0,0641
x	0,001229	1	0,008092	0,152	0,8810
y	0,065679	1	4,230123	0,0155	0,9878
x ²	-0,000004237	1	0,00002654	-0,160	0,8749
y ²	-1,325180	1	17,235609	-0,0769	0,9396
x*y	-0,001042	1	0,025078	-0,0415	0,96673

TABELA 59A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: GOMOSIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas		87,307042			
Desvio Padrão		17,432778			
R ²		0,2325			
Coeficiente de variação		19,9672			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	528,265328	0,0741	0,869	0,4362
Quadrático	2	1077,555787	0,1512	1,773	0,1982
Interação	1	51,506175	0,0072	0,169	0,6854
Total da regressão	5	1657,327290	0,2325	1,091	0,3990
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	1887,614143	629,204714	2,634	0,0878
Erro puro	15	3582,617608	238,841174		
Total do erro	18	5470,231751	303,901764		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	291,560918	1	128,033442	2,277	0,0352
x	-2,880575	1	1,657242	-1,738	0,0993
y	170,362352	1	866,350907	0,197	0,8463
x ²	0,010174	1	0,005436	1,872	0,0776
y ²	103,863657	1	5,136182	-0,412	0,6854
x*y	-2,114479	1	3529,941605	0,0294	0,9769

TABELA 60A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: FRATURABILIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	195,083333				
Desvio Padrão	39,853696				
R ²	0,2231				
Coeficiente de variação	20,4291				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	2597,499914	0,0706	0,818	0,4572
Quadrático	2	5385,105845	0,1463	1,695	0,2116
Interação	1	228,980000	0,0062	0,144	0,7086
Total da regressão	5	8211,585759	0,2231	1,034	0,4277
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	9847	3282,42725	2,627	0,0884
Erro puro	15	18742	1249,495000		
Total do erro	18	28590	1588,317087		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	645,320811	1	292,701815	2,205	0,0407
x	-6,388429	1	3,788680	-1,686	0,1090
y	422,696509	1	1980,595683	0,213	0,8334
x ²	0,022610	1	0,012427	1,819	0,0855
y ²	-434,163281	1	8069,925301	-0,0538	0,9577
x*y	-4,458333	1	11,742008	-0,380	0,7086

TABELA 61A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: COESIVIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas			0,460292		
Desvio Padrão			0,003289		
R ²			0,2597		
Coefficiente de variação			0,7145		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,000047069	0,1790	2,176	0,1424
Quadrático	2	0,000019212	0,0731	0,888	0,4287
Interação	1	0,000002000	0,0076	0,185	0,6723
Total da regressão	5	0,000068282	0,2597	1,263	0,3223
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,000051177	0,000017059	1,783	0,1935
Erro puro	15	0,000144	0,000009567		
Total do erro	18	0,000195	0,000010815		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	0,460800	1	0,024153	19,078	0,0000
x	0,000057960	1	0,000313	0,185	0,8550
y	-0,061665	1	0,163436	-0,377	0,7104
x ²	-0,000000254	1	0,000001025	-0,248	0,8070
y ²	0,844650	1	0,665919	1,268	0,2208
x*y	-0,000417	1	0,000969	-0,430	0,6723

TABELA 62A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: DUREZA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	189,837500				
Desvio Padrão	38,647184				
R ²	0,2249				
Coeficiente de variação	20,3580				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	2378,308424	0,0686	0,796	0,4663
Quadrático	2	5196,640109	0,1498	1,740	0,2038
Interação	1	223,661250	0,0064	0,150	0,7033
Total da regressão	5	7798,609785	0,2249	1,044	0,4224
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	9387,38771	3129,129239	2,682	0,0842
Erro puro	15	17497	1166,499917		
Total do erro	18	26885	1493,604804		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	634,555678	1	283,840695	2,236	0,0383
x	-6,298984	1	3,673983	-1,714	0,1036
y	400,700640	1	1920,636044	0,209	0,8371
x ²	0,022262	1	0,012050	1,847	0,0812
y ²	-195,980392	1	7825,620109	-0,0250	0,9803
x*y	-4,406250	1	11,386536	-0,387	0,7033

TABELA 63A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: MASTIGABILIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS INTERCRUZADAS DE ARROZ

Média das respostas	-99,967667				
Desvio Padrão	15,475476				
R ²	0,3430				
Coeficiente de variação	-15,4805				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	666,991023	0,1017	1,393	0,2740
Quadrático	2	1506,843180	0,2297	3,146	0,0673
Interação	1	76,409522	0,0116	0,319	0,5792
Total da regressão	5	2250,243726	0,3430	1,879	0,1482
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	1377,011678	459,003893	2,347	0,1139
Erro puro	15	2933,814939	195,587663		
Total do erro	18	4310,286618	239,490368		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-341,807356	1	113,658216	-3,007	0,076
x	3,415032	1	1,471172	2,321	0,0322
y	-169,514774	1	769,079525	-0,220	0,8280
x ²	0,012092	1	0,004825	-2,506	0,0220
y ²	-630,370127	1	3133,60993	-0,201	0,5792
x*y	2,575417	1	4,559506	0,565	0,8428

TABELA 64A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ (MODELO LINEAR)

Média das Respostas		2,03667			
Desvio Padrão		0,09512			
R ²		0,6827			
Coeficiente de variação		4,67046			
Origem	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Modelo	2	0,35040	0,17520	19,36	3,55
Resíduo	18	0,16287	0,00905		
Falta de ajuste	2	0,1216	0,0608	23,58	3,63
Erro puro	16	0,0413	0,0026		
Total	20	0,51327			
FATORES	Parâmetro estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	2,036667	1	0,02075727	98,118	0,0001
x ₁	0,160000	1	0,02745929	5,827	0,0001
x ₂	-0,060000	1	0,02745929	-2,185	0,0423

TABELA 65A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE INICIAL (VI) DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas			275,000000				
Desvio Padrão			81,857238				
R²			0,8444				
Coeficiente de variação			29,7663				
REGRESSÃO	GL	SQ	R²	F	prob>F		
Linear	2	78060	0,3022	5,825	0,0393		
Quadrático	2	61636	0,2386	4,599	0,0615		
Interação	1	78400	0,3035	11,700	0,0141		
Total da regressão	5	218096	0,8444	6,510	0,0206		
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F		
Falta de ajuste	3	36929	12310	11,276	0,0385		
Erro puro	3	3275,000000	1091,666667				
Total do erro	6	40204	6700,607351				
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T		
b	428,290264	1	850,215256	0,504	0,6324		
x	-3,591436	1	11,005034	-0,326	0,7552		
y	746,008504	1	575,306534	1,297	0,2424		
x²	0,028021	1	0,036096	0,776	0,4671		
y²	704,589494	1	234,408304	3,006	0,0238		
x*y	-11,666667	1	3,410718	-3,421	0,0141		
Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente							
Variável	Par. estimado	Erro padrão	F	prob>F			
b	346,95090552	82,743222953	17,58	0,0030			
x²	0,00962316	0,00414636	5,39	0,0489			
xy	-7,71013105	1,56111507	24,39	0,0011			
y²	831,97675090		15,50	0,0043			
Step	Var.ent.	Var.rem.	R² parcial	R² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	xy		0,3869	0,3869	15,6340	6,3107	0,0308
2	y²		0,2651	0,6520	7,4155	6,8552	0,0279
3	x²		0,1400	0,7920	4,0174	5,3864	0,0489

TABELA 66A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE MÁXIMA À 95°C (V95) DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	150,000000				
Desvio Padrão	37,944696				
R ²	0,8265				
Coeficiente de variação	25,2965				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	34085	0,6844	11,837	0,0083
Quadrático	2	5051,330332	0,1014	1,754	0,2513
Interação	1	2025,000000	0,0407	1,406	0,2805
Total da regressão	5	41161	0,8265	5,718	0,0278
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	8363,799694	2787,933231	30,414	0,0095
Erro puro	3	275,000000	91,666667		
Total do erro	6	8638,799694	1439,799949		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	543,828710	1	394,114928	1,380	0,2168
x	-3,518531	1	5,101353	-0,690	0,5161
y	-70,115184	1	266,681752	-0,263	0,8014
x ²	0,010504	1	0,016732	0,628	0,5533
y ²	198,764388	1	108,659321	1,829	0,1171
x*y	-1,875000	1	1,581029	-1,186	0,2805

TABELA 67A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VISCOSIDADE FINAL (V50) DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	241,666667				
Desvio Padrão	58,808520				
R ²	0,8716				
Coeficiente de variação	24,3346				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	112513	0,6964	16,266	0,0038
Quadrático	2	27903	0,1727	4,034	0,0776
Interação	1	400,000000	0,0025	0,116	0,7454
Total da regressão	5	140816	0,8716	8,143	0,0119
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	19851	6616,884118	22,056	0,0151
Erro puro	3	900,000000	300,000000		
Total do erro	6	20751	3458,442059		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1241,043296	1	610,818329	2,032	0,0884
x	-8,860085	1	7,906323	-1,121	0,3053
y	-644,774764	1	413,316244	-1,560	0,1698
x ²	0,024076	1	0,025932	0,928	0,3890
y ²	468,044585	1	168,405457	2,779	0,7454
x*y	-0,833333	1	2,450355	-0,340	0,0320

TABELA 68A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	7,811750				
Desvio Padrão	0,254018				
R ²	0,8328				
Coeficiente de variação	3,2511				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	2,630400	0,2272	20,383	0,0000
Quadrático	2	6,556856	0,5664	50,809	0,0000
Interação	1	0,453185	0,0391	7,023	0,0127
Total da regressão	5	9,60441	0,8328	29,881	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	1,769259	0,589753	95,7	0,0000
Erro puro	27	0,166493	0,006166		
Total do erro	30	1,935751	0,064525		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-9,119576	1	1,523265	-5,987	0,0000
x	0,206823	1	0,019717	10,490	0,0000
y	4,549105	1	1,030732	4,413	0,0001
x ²	-0,000634	1	0,00006467	-9,806	0,0000
y ²	-1,488122	1	0,419971	-3,543	0,0013
x*y	-0,016194	1	0,006111	-2,650	0,0127

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	1,31	2,23,	9,55
Quadrática	2	3,33	5,64	9,55
Interação	1	0,45	0,76	10,13
Total da regressão	5	1,81	3,12	9,01
Falta de ajuste	3	0,59		

TABELA 69A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)
DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	25,983333				
Desvio Padrão	4,893908				
R ²	0,7885				
Coefficiente de variação	18,8348				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	2194,660882	0,6460	45,817	0,0000
Quadrático	2	305,747082	0,0900	6,383	0,0049
Interação	1	178,178133	0,0525	7,439	0,0106
Total da regressão	5	2678,586098	0,7885	22,368	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	661,086811	220,362270	103,6	0,0000
Erro puro	27	57,423292	2,126789		
Total do erro	30	718,510102	23,950337		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	53,507566	1	29,347222	1,823	0,0782
x	-0,646349	1	0,379865	-1,702	0,0992
y	-12,060962	1	19,858087	-0,607	0,5482
x ²	0,002540	1	0,001246	2,038	0,0504
y ²	-21,500980	1	8,091166	-2,657	0,0125
x*y	0,321111	1	0,117729	2,728	0,0106

TABELA 70A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TORQUE DE EXTRUSADOS ÁCIDOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas	4970,833333				
Desvio Padrão	955,713893				
R ²	0,5001				
Coefficiente de variação	19,2264				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	1521975	0,1388	0,833	0,4794
Quadrático	2	2857483	0,2607	1,564	0,2840
Interação	1	1102500	0,1006	1,207	0,3140
Total da regressão	5	5481957	0,5001	1,200	0,4088
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	5390334	1796778	59,893	0,0036
Erro puro	3	90000	30000		
Total do erro	6	5480334	913389		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	13457	1	9927	1,356	0,2240
x	-65,739088	1	128,487894	-0,512	0,6272
y	-11666	1	6716,919155	-1,737	0,1331
x ²	0,097673	1	0,421434	0,232	0,8244
y ²	4840,597513	1	2736,804704	1,769	0,1274
x*y	43,750000	1	39,821412	1,099	0,3140

TABELA 71A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DE EXTRUSADOS ÁCIDOS DE FARINHA DE ARROZ

Média das respostas		2,356167			
Desvio Padrão		0,186645			
R ²		0,8434			
Coeficiente de variação		7,9216			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,399170	0,0157	5,729	0,0043
Quadrático	2	19,802959	0,7807	284,2	0,0000
Interação	1	1,193703	0,0471	34,265	0,0000
Total da regressão	5	21,395831	0,8434	122,8	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	2,751298	0,917099	83,434	0,0000
Erro puro	111	1,220107	0,010992		
Total do erro	114	3,971406	0,034837		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-12,158328	1	0,613044	-19,833	0,0000
x	0,191205	1	0,007935	24,096	0,0000
y ₁	2,346056	1	0,414822	5,656	0,0000
x ²	-0,000617	1	0,000026	-23,695	0,0000
y ²	-0,055397	1	0,169019	-0,328	0,7437
x*y	-0,014396	1	0,002459	-5,854	0,0000

ANOVA modificada

Regressão	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado-95%}
Linear	2	0,199	0,218	9,55
Quadrática	2	9,9	10,79	9,55
Interação	1	1,1937	1,30	10,13
Total da regressão	5	4,28	4,66	9,01
Falta de ajuste	3	0,917		

Resumo do procedimento de Stepwise para a variável dependente

Tabela de regressão de superfície para a variável dependente							
Variável		Par. estimado		Erro padrão	F	prob>F	
b		2,40326535		0,08925786	724,95	0,0001	
xy		-0,00359331		0,00213359	2,84	0,0948	
y ²		0,64011229		0,29733323	4,63	0,0334	
Step	Var.ent.	Var.rem.	R ² parcial	R ² do modelo	C(p)	F	Prob>F
1	y ²		0,0189	0,0189	598,4264	2,2703	0,1345
2	xy		0,0232	0,0421	583,5167	2,8364	0,0948

TABELA 72A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VOLUME ESPECÍFICO (VOL.ESP.) DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ (MODELO QUADRÁTICO)

Média das respostas			1,948667		
Desvio Padrão			0,150666		
R ²			0,3363		
Coefficiente de variação			7,7317		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	prob>F
Linear	2	0,108725	0,1060	2,395	0,1084
Quadrático	2	0,152688	0,1488	3,363	0,0481
Interação	1	0,083667	0,0815	3,686	0,0644
Total da regressão	5	0,345080	0,3363	3,040	0,0245
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Falta de ajuste	3	0,426694	0,142231	15,101	0,0000
Erro puro	27	0,254312	0,009419		
Total do erro	30	0,681006	0,022700		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1,112331	1	0,903496	-1,231	0,2278
x	0,035355	1	0,011695	3,023	0,0051
y	1,219555	1	0,611359	1,995	0,0552
x ²	-0,000099	1	0,000038358	-2,592	0,0146
x*y	-0,006958	1	0,003624	-1,920	0,0644
y ²	-0,100208	1	0,249098	-0,402	0,6903

TABELA 73A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR L* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	60,992778				
Desvio Padrão	2,412203				
R ²	0,5005				
Coeficiente de variação	3,9549				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	118,117401	0,3380	10,150	0,0004
Quadrático	2	10,383490	0,0297	0,892	0,4203
Interação	1	46,413333	0,1328	7,977	0,0083
Total da regressão	5	174,914224	0,5005	6,012	0,0006
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	52,769398	17,589799	3,899	0,0195
Erro puro	27	121,792300	4,510826		
Total do erro	30	174,561698	5,818723		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	90,653008	1	14,465220	6,267	0,0000
x	-0,253873	1	0,187235	-1,356	0,1852
y	-35,118238	1	9,788033	-3,588	0,0012
x ²	0,000529	1	0,000614	0,861	0,3961
y ²	4,470236	1	3,988128	1,121	0,2712
x*y	0,000529	1	0,058029	2,824	0,0083

TABELA 74A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR a^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	7,356389				
Desvio Padrão	1,674596				
R^2	0,8241				
Coefficiente de variação	22,7638				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	84,805760	0,1774	15,121	0,0000
Quadrático	2	309,199319	0,6467	55,130	0,0000
Interação	1	0,020833	0,0000	0,00743	0,9319
Total da regressão	5	394,025913	0,8241	28,102	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	54,930293	18,310098	16,932	0,0000
Erro puro	27	29,197825	1,081401		
Total do erro	30	84,128118	2,804271		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-61,228049	1	10,042021	-6,097	0,0000
x	0,843482	1	0,129982	6,489	0,0000
y	30,796538	1	6,795033	4,532	0,0001
x^2	-0,002820	1	0,000426	-6,616	0,00000
y^2	-24,684924	1	2,768632	-8,916	0,0000
$x*y$	0,003472	1	0,040285	0,0862	0,9319

TABELA 75A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DA CROSTA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas		30,690000			
Desvio Padrão		2,091140			
R^2		0,7348			
Coeficiente de variação		6,8138			
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	72,458859	0,1465	8,285	0,0014
Quadrático	2	269,384126	0,5446	30,802	0,0000
Interação	1	21,600833	0,0437	4,940	0,0339
Total da regressão	5	363,443818	0,7348	16,623	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	50,865448	16,955149	5,700	0,0037
Erro puro	27	80,320533	2,974835		
Total do erro	30	131,185982	4,372866		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-33,481629	1	12,539906	-2,670	0,0121
x	0,7293	1	0,162314	4,497	0,0001
y	47,492929	1	8,485251	5,597	0,0000
x^2	-0,002264	1	0,000532	-4,253	0,0002
y^2	-24,462383	1	3,457310	-7,076	0,0000
$x*y$	0,111806	1	0,050305	-2,223	0,0339

TABELA 76A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR L^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	64,312222				
Desvio Padrão	1,567830				
R^2	0,6360				
Coefficiente de variação	2,4378				
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	15,316000	0,0756	3,115	0,0590
Quadrático	2	92,228481	0,4553	18,760	0,0000
Interação	1	21,280033	0,1051	8,657	0,0062
Total da regressão	5	128,824514	0,6360	10,482	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	2,953217	0,984406	0,375	0,7714
Erro puro	27	70,789492	2,621833		
Total do erro	30	73,742709	2,458090		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	121,439616	1	9,401780	12,917	0,0000
x	-0,719901	1	0,121695	-5,916	0,0000
y	-23,393069	1	6,361807	-3,677	0,0009
x^2	0,002222	1	0,000399	5,567	0,0000
y^2	8,369694	1	2,592115	3,229	0,0030
$x*y$	0,110972	1	0,037716	2,942	0,0062

TABELA 77A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR a^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas				-1,336389	
Desvio Padrão				0,074129	
R ²				0,5854	
Coefficiente de variação				-5,5470	
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,179972	0,4526	16,376	0,0000
Quadrático	2	0,031128	0,0783	2,832	0,0747
Interação	1	0,021675	0,0545	3,944	0,0562
Total da regressão	5	0,232776	0,5854	8,472	0,0000
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	0,125296	0,041765	28,506	0,0000
Erro puro	27	0,039558	0,001465		
Total do erro	30	0,164855	0,005495		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-2,290247	1	0,444530	-5,152	0,0000
x	0,011991	1	0,005754	2,084	0,0458
y	-0,636294	1	0,300796	-2,115	0,0428
x ²	-0,000036417	1	0,000018873	-1,930	0,0632
y ²	0,139929	1	0,122559	1,142	0,2626
x*y	0,003542	1	0,001783	1,986	0,0562

TABELA 78A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VALOR b^* DO MIOLO DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas			4,383889		
Desvio Padrão			0,297565		
R^2			0,5633		
Coefficiente de variação			6,7877		
REGRESSÃO	GL	SQ	R^2	F	Prob>F
Linear	2	0,411806	0,0677	2,325	0,1151
Quadrático	2	2,299101	0,3780	12,983	0,0001
Interação	1	0,715408	0,1176	8,080	0,0080
Total da regressão	5	3,426316	0,5633	7,739	0,0001
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	1,171448	0,390483	7,100	0,0011
Erro puro	27	1,484892	0,054996		
Total do erro	30	2,656340	0,088545		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	14,130520	1	1,784401	7,919	0,0000
x	-0,122833	1	0,023097	-5,318	0,0000
y	-3,811711	1	1,207432	-3,157	0,0036
x^2	0,000385	1	0,000075757	5,083	0,0000
y^2	0,486874	1	0,491968	0,990	0,3303
$x*y$	0,020347	1	0,007158	2,842	0,0080

TABELA 79A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: ELASTICIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas			-1,154292		
Desvio Padrão			0,073050		
R ²			0,0883		
Coeficiente de variação			-6,3285		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,005765	0,0547	0,540	0,5918
Quadrático	2	0,002429	0,0231	0,228	0,7987
Interação	1	0,001105	0,0105	0,207	0,6546
Total da regressão	5	0,009299	0,0883	0,349	0,8765
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	0,005111	0,001704	0,281	0,8383
Erro puro	15	0,090942	0,006063		
Total do erro	18	0,096052	0,005336		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-0,738302	1	0,536506	-1,376	0,1857
x	-0,004317	1	0,006944	-0,622	0,5420
y	-0,230543	1	0,363032	-0,635	0,5334
x ²	0,000010638	1	0,000022777	0,467	0,6461
y ²	0,080085	1	0,147917	0,541	0,5949
x*y	0,000979	1	0,002152	0,455	0,6546

TABELA 80A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: GOMOSIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas	78,000375				
Desvio Padrão	28,476477				
R ²	0,6670				
Coeficiente de variação	36,5081				
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	11723	0,2674	7,229	0,0050
Quadrático	2	17000	0,3878	10,482	0,0010
Interação	1	515,285253	0,0118	0,635	0,4358
Total da regressão	5	29,238	0,6670	7,211	0,0007
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	13606	4535,306704	68,685	0,0000
Erro puro	15	990,454881	66,030325		
Total do erro	18	14596	810,909722		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	1096,220610	1	209,142870	5,241	0,0001
x	-12,700462	1	2,707108	-4,692	0,0002
y	-57,312044	1	141,518585	-0,405	0,6903
x ²	0,038321	1	0,008879	4,316	0,0004
y ²	-56,414434	1	57,661663	-0,978	0,3409
x*y	0,668802	1	0,838996	0,797	0,4358

TABELA 81A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: FRATURABILIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas			178,362500		
Desvio Padrão			64,434878		
R ²			0,6494		
Coefficiente de variação			36,1258		
REGRESSÃO	G L	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	50692	0,2378	6,105	0,0095
Quadrático	2	86908	0,4077	10,466	0,0010
Interação	1	844,605000	0,0040	0,203	0,6574
Total da regressão	5	138444	0,6494	6,669	0,0011
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	69583	23194	67,551	0,0000
Erro puro	15	5150,428750	343,361917		
Total do erro	18	74733	4151,853566		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	2443,163125	1	473,236054	5,163	0,0001
x	-28,624785	1	6,125483	-4,673	0,0002
y	-76,455958	1	320,219841	-0,239	0,8140
x ²	0,088183	1	0,020091	4,389	0,0004
y ²	-95,745587	1	130,473383	-0,734	0,4725
x*y	0,856250	1	1,898431	0,451	0,6574

TABELA 82A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: COESIVIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas			0,456125		
Desvio Padrão			0,002725		
R ²			0,6562		
Coeficiente de variação			0,5973		
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	0,000244	0,6276	16,429	0,0001
Quadrático	2	0,000004962	0,0128	0,334	0,7203
Interação	1	0,000006125	0,0158	0,825	0,3757
Total da regressão	5	0,000255	0,6562	6,870	0,0010
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	0,000063123	0,000021041	4,477	0,0196
Erro puro	15	0,000070500	0,000004700		
Total do erro	18	0,000134	0,000007424		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	0,473311	1	0,020011	23,653	0,0000
x	-0,000134	1	0,000259	-0,519	0,6102
y	0,008180	1	0,013540	0,604	0,5533
x ²	0,000000251	1	0,000000850	0,295	0,7710
y ²	-0,003969	1	0,005517	-0,719	0,4811
x*y	-0,000072917	1	0,000080275	-0,908	0,3757

TABELA 83A . ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: DUREZA DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas		173,408333			
Desvio Padrão		62,389405			
R ²		0,6506			
Coeficiente de variação		35,9783			
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	48252	0,2406	6,198	0,0090
Quadrático	2	81506	0,4064	10,470	0,0010
Interação	1	725,805000	0,0036	0,186	0,6710
Total da regressão	5	130483	0,6506	6,704	0,0011
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	65186	21729	66,821	0,000
Erro puro	15	4877,695000	325,179667		
Total do erro	18	70064	3892,437829		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	2366,217338	1	458,213260	5,164	0,0001
x	-27,720697	1	5,931030	-4,674	0,0002
y	-66,933273	1	310,054520	-0,216	0,8315
x ²	0,085384	1	0,019453	4,389	0,0004
y ²	-93,061662	1	126,331529	-0,737	0,6710
x*y	0,793750	1	1,838165	0,432	0,4708

TABELA 84A. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEXTURA: MASTIGABILIDADE DE PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS ÁCIDAS DE ARROZ

Média das respostas				-90,549042	
Desvio Padrão				31,243454	
R ²				0,6590	
Coeficiente de variação				-34,5045	
REGRESSÃO	GL	SQ	R ²	F	Prob>F
Linear	2	12269	0,2381	6,284	0,0085
Quadrático	2	21559	0,4184	11,043	0,0007
Interação	1	126,460656	0,0025	0,130	0,7231
Total da regressão	5	33954	0,6590	6,957	0,0009
RESÍDUO	GL	SQ	QM	F	p
Falta de ajuste	3	16840	5613,229272	115,2	0,0000
Erro puro	15	731,074036	48,738269		
Total do erro	18	17571	976,153436		
FATORES	Par. estimado	GL	Erro padrão	T para H0: Par= 0	Prob>T
b	-1206,279211	1	229,464684	-5,257	0,0001
x	14,157703	1	2,970150	4,767	0,0002
y	21,886687	1	155,269541	0,141	0,8895
x ²	-0,043805	1	0,009742	-4,497	0,0003
y ²	50,265880	1	63,264482	0,795	0,4372
x*y	-0,331323	1	0,920519	-0,360	0,7231