

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO

**Desenvolvimento de Extrudado Para Cereal Matinal
Enriquecido com Fruto-oligossacarídeos.**

Monique Soares de Araujo

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

Desenvolvimento de Extrudado Para Cereal Matinal Enriquecido com Fruto-oligossacarídeos.

MONIQUE SOARES DE ARAUJO

Sob Orientação do

Dr. José Luis Ramírez Ascheri

Apresentação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ

Janeiro de 2010

664	Araújo, Monique Soares de, 1977-
A658d	Desenvolvimento de Extrudado para Cereal Matinal Enriquecido com Fruto-oligossacarídeos / Monique Soares de Araújo - 2010.
T	140 f.: il.
	Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.
	Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
	Bibliografia: f. 69-77.
	1. Tecnologia de alimentos - Teses. 2. Alimentos funcionais - Teses. 3. Cereais como alimentos - Teses. I. Ascheri, José Luiz Ramírez, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

MONIQUE SOARES DE ARAUJO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos no Programa de Pós-Graduação em ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

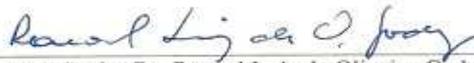
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2010



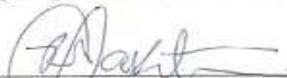
Pesquisador Dr. José Ramirez Ascheri
(Orientador)



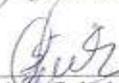
Pesquisador Dr. Carlos Wanderley Piler de Carvalho
Embrapa Agroindústria de Alimentos



Pesquisador Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy
Embrapa Agroindústria de Alimentos



Pesquisadora Dr. Cristina Yoshie Takeiti
Embrapa Agroindústria de Alimentos



Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri
Universidade Estadual de Goiás

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a sua realização. Dedico ao meu Orientador que sempre mostrou a humildade dos grandes homens. Principalmente dedico a Deus e aos meus pais que me ensinaram tudo que realmente importa

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro e CORN PRODUCTS® pelo apoio em ceder os fruto-oligossacarídeos. Além disso, agradeço a todos que participaram na elaboração deste trabalho. Agradeço especialmente a professora Doutora Sandra Gregório por ceder gentilmente o laboratório de análises físico-químicas do IT-DTA / UFRRJ, ao professor PhD em Veterinária Celso Barbosa pelo apoio em parte das análises estatísticas e a Professora PhD em microbiologia Rosa Luchese por ceder o laboratório de análises microbiológicas do IT/DTA/UFRRJ.

RESUMO

ARAÚJO, Monique Soares. 2010. **Desenvolvimento de Extrudado para Cereal Matinal Enriquecido com Fruto-oligossacarídeos**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

O uso dos alimentos como veículo de promoção do bem-estar e saúde e, ao mesmo tempo, como redutor dos riscos de algumas doenças, tem incentivado as pesquisas de componentes naturais não usuais e o desenvolvimento de novos ingredientes, possibilitando a inovação em produtos alimentícios e a criação de novos nichos de mercado. Este trabalho visou o desenvolvimento de um cereal matinal extrudado, enriquecido a partir de substituição de parte do fubá de milho por fruto-oligossacarídeos. Os extrudados foram obtidos por extrusão termoplástica utilizando misturas de fruto-oligossacarídeos (FOS) com fubá de milho nas proporções de 0:100, 2:98, 5:95, 8:92 e 10:90. As amostras foram extrudadas com umidades de 25, 27, 30, 33 e 35% numa Extrusora Brabender de parafuso simples, com temperaturas fixa na segunda zona do cilindro de 90°C e a terceira zona variando entre 60,0 68,1, 80,0, 91,9 e 100,0 °C. A matriz utilizada foi a laminar com 1,00 mm de largura e o parafuso usado possui taxa de compressão de 3:1 e rotação de 120 RPM. A taxa de alimentação foi de 20 RPM. Os produtos foram caracterizados quanto composição centesimal e avaliação microbiológica para bolores e leveduras e coliformes a 45°C, avaliação de teor final de nistose e kestose por CLAE, incremento de taxa de ingesta de açúcares complexos/açúcares simples em relação a adição de FOS, densidade absoluta (DAb), densidade aparente (DA), índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), viscosidade de pasta (VP) por Analisador Rápido de Viscosidade (RVA), textura por método instrumental, tendência ao encharcamento por avaliação do tempo de tigela e vazão do processamento. Obteve-se um produto com < 10 UFC/g para Bolores, Leveduras e < 0,3 NMP/g para Coliformes a 45°C ao nível do ponto central, de composição centesimal próxima aos valores relatados em literatura entretanto, com elevados teores de FOS sendo a perda do processamento irrelevante. As densidades dos produtos assados foram menores que os produtos crus indicando um grau de expansão. Os valores de VP muito similares obtidos nos diferentes tratamentos nas análises de RVA demonstraram que o cisalhamento foi de pequena extensão. Os valores de IAA demonstraram que FOS tem efeito negativo neste parâmetro fato este corroborado pelo bom resultado obtido na análise do tempo de tigela. De fato a fibra foi significativamente eficaz em produzir um produto com menor tendência ao encharcamento quando embebido em líquido de imersão. FOS também foi eficaz em diminuir a dureza do produto, o que sugere o seu uso no preparo de misturas para formulações com elevados teores de fibras da porção insolúvel que tendem a elevar a dureza do produto.

Palavras-chave: Alimentos funcionais, pré-bióticos, fruto-oligossacarídeos, FOS, cereal matinal, extrusão e milho.

ABSTRACT

ARAÚJO, Monique Soares. 2010. Development of extruded enriched breakfast cereal with Fructooligosaccharides. 140 p. Dissertation (Master Science In Food Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

The use of food as a vehicle for promoting welfare, health and, at the same time used as reducing the risk of some diseases, has stimulated the search for diferents natural compounds enabling the innovation of foods and creating new market niches. This work aimed at developing an extruded breakfast cereal, enriched from replacing part of corn meal by fructooligosaccharides. Extruded samples were prepared by thermoplastic extrusion using mixtures of fructooligosaccharides with cornmeal in proportions of 0:100, 2:98, 5:95, 8:92 and 10:90. The samples were extruded with moisture content of 25, 27, 30, 33 and 35% in a Brabender single screw extruder with barrel temperature of second heating zone of 90.0°C and third heating zone ranging of 60,0, 68.1, 80.0, 91.9 e 100.0 °C. The extruder was equipped with a flat die of 1 mm wide and screw compress ratiun of 3:1 running at 120 RPM whit the solid feed rate set at 20 RPM. The samples were characterized by chemical composition, microbiological evaluation for molds and yeasts and coliforms at 45 ° C, HPLC of nistose and kestose content determination after processing, intake rate of complex sugars / simple sugars due the addition of FOS, absolute density, apparent density, water solubility index (WSI), water absorption index (IAA), paste viscosity by rapid visco-analiser (RVA), texture by instrumental method, bowl time and extrusion out put. We obtained a product < 10 UFC/gfor molds and yeasts and < 0,3 NMP/g para coliforms at 45°C at central point level. The results of chemical composition were similar to the literature and the loss of FOS by the extrusion process was very low. The relative and absolut densities of the baked products were lower than the raw products indicated by a degree of expansion. All treatments presented similar viscositiy curve shape and viscosite values analyses have showed that the shear had small extent. The IAA values showed that FOS had a negative effect on this parameter wich corroborated with the good results obtained in the bowl time index analysis. In fact, the fiber was significantly effective in producing a product with low tendency of soggy and sticky when soaked in liquid. FOS was also effective in decreasing the hardness of the products, which indicates the use of this kind of fiber for formulating blends with high content of insoluble fraction which tend to increase the hardness of the product.

Key-words: Functional foods, prebiotics, fructooligosaccharides, FOS , break fast cereal, extrusion and maize.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das estruturas químicas de kestose (GF ₂), nistose (GF ₃) e frutofuranosil nistose (GF ₄).	5
Figura 2 - Representação esquemática do grão de milho.	9
Figura 3 - Processo de moagem de milho a seco.	10
Figura 4 - Representação esquemática das formas estruturais de da amilopectina.	12
Figura 5 - Representação de hélice de amilose tipo A e V.	12
Figura 6 - Estrutura cristalina do grânulo de amido.	13
Figura 7 - Mudanças no grânulo de amido durante gelatinização.	14
Figura 8- Efeito da Umidade de processamento no índice de expansão.	15
Figura 9 - Desenho esquemático de uma extrusora de rosca simples	16
Figura 10 - Fluxograma de processamento do cereal matinal.	22
Figura 11 - Processo de extrusão em equipamento Brabender de rosca simples.	23
Figura 12 - Processo de laminação das fitas extrudadas.	23
Figura 13 - Sistema cromatográfico utilizado para avaliação de perda de frutanos durante processo por análise de açúcares.	24
Figura 14 - Fluxograma de preparo de análise de avaliação de perdas de frutanos por cromatografia líquida	24
Figura 15 - Desenho esquemático do RVA.	25
Figura 16 - Picnômetro Micromeritics modelo AccuPyc III340 para análise de densidade absoluta.	26
Figura 17 - Esquema de diferenciação de volumes referentes às análises de densidade aparente e absoluta.	27
Figura 18- Texturômetro Analyser modelo XT.RA com acessório cilíndrico de compressão	28
Figura 19 - Exemplos de cromatogramas reportados por Cabello (2005) e do tratamento T ₁₅	31
Figura 20- Curva do teor final de FOS (%) com base no modelo do cálculo estatístico.	33
Figura 21- Curva da relação entre taxa de teor de açúcar complexo/ açúcar simples e adição de FOS.	35
Figura 22- Gráfico de RVA para tratamento T ₁₃	36
Figura 23- Gráfico de RVA para tratamento T ₁₇	36
Figura 24- Superfície de resposta de efeito de Temperatura e teor de Umidade na V final.	41
Figura 25- Superfície de resposta de efeito de Temperatura e teor de FOS na V final.	41
Figura 26- Superfície de resposta de efeito de teor de Umidade e teor de	42

FOS na V final.

Figura 27-	Superfície de resposta do efeito do teor de umidade e da temperatura da na densidade absoluta do cereal matinal cru.	46
Figura 28-	Superfície de resposta de efeito de teor de FOS e temperatura na densidade absoluta do cereal matinal cru.	46
Figura 29-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e FOS na densidade absoluta do cereal matinal cru.	47
Figura 30-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e temperatura na densidade aparente do cereal matinal assado.	48
Figura 31-	Superfície de resposta de efeito de teor de FOS e temperatura na densidade aparente do cereal matinal assado.	49
Figura 32-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e de teor de FOS na densidade aparente do cereal matinal assado.	59
Figura 33-	Efeito do teor de umidade e da temperatura na densidade absoluta cereal matinal assado.	51
Figura 34 -	Superfície de resposta do efeito do teor de umidade e da temperatura na textura (dureza) medido em texturômetro.	54
Figura 35-	Superfície de resposta do efeito do teor de FOS e temperatura na textura (dureza) medido em texturômetro.	55
Figura 36-	Superfície de resposta do efeito do teor de FOS e de teor de umidade na textura (dureza) medido em texturômetro.	55
Figura 37-	Perda de consistência com tempo de imersão visualizada por diferença no número de picos medidos em texturômetro.	57
Figura 38-	Perda de consistência com tempo de imersão visualizada por diferença na força máxima (N) medidos em texturômetro.	57
Figura 39-	Superfície de resposta de efeito de temperatura e de teor de umidade no ISA do cereal matinal.	59
Figura 40-	Superfície de resposta de efeito de temperatura e de teor de FOS no ISA do cereal matinal.	60
Figura 41-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e de teor de FOS no ISA do cereal matinal.	60
Figura 42-	Superfície de resposta de efeito de temperatura e teor de umidade no IAA do cereal matinal.	62
Figura 43-	Superfície de resposta de efeito de temperatura e teor de FOS no IAA do cereal matinal.	62
Figura 44-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e teor de FOS no IAA do cereal matinal.	63
Figura 45-	Superfície de resposta de efeito de teor de umidade e temperatura na vazão da extrusão.	64
Figura 46-	Superfície de resposta de efeito de teor de FOS e temperatura	65

na vazão da extrusão.

Figura 47- Superfície de resposta de efeito de teor de FOS e teor de Umidade na vazão da extrusão.

65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1 - Diferenças de hábitos alimentares entre cidadãos de Murcia	3
Gráfico 2 - Crescimento global em categorias de carboidratos sem adição de açúcar	8

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações de qualidade de milho.	10
Quadro 2 - Especificações do fubá comercial utilizado	19
Quadro 3 - Especificações de fruto-oligossacarídeo comercial	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo por processo a seco e a úmido (x1000 toneladas)	7
Tabela 2- Características do amido de milho	13
Tabela 3- Níveis codificados das variáveis independentes do experimento	20
Tabela 4- Transformada das variáveis independentes.	20
Tabela 5- Resumo dos resultados almeçados para parâmetros tecnológicos em relação a adição de FOS	29
Tabela 6- Composição centesimal de amostras T ₁₉ (Ponto central), T ₁₃ (- α = menor teor de FOS) e T ₁₄ (+ α = maior teor de FOS).	30
Tabela 7- Resultados da análise de teor de açúcares por CLAE avaliação para da perda de frutanos no processo.	32
Tabela 8- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de teor final de FOS cereais matinais extrudados	33
Tabela 9- Comparação entre teor de aç. simples e aç. complexos das formulações com adição de 5% (média PCs), 0% (T ₁₃) e 10% (T ₁₄)	34
Tabela 10- Resultado da avaliação de estabilidade microbiológica de amostra de cereal matinal T ₁₈ (Ponto central).	35
Tabela 11- Resultado de análise de viscosidade de pasta por RVA.	37
Tabela 12 - Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V _{frio} de cereais matinais extrudados.	38
Tabela 13- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V _{máx} a 95°C de cereais matinais extrudados.	38
Tabela 14- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V _{min} de extrudado de cereais matinais.	39
Tabela 15- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de viscosidade de Breakdown de cereais matinais extrudados.	39
Tabela 16- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V. de setback de cereais matinais extrudados.	40
Tabela 17- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V _{final} de cereais matinais extrudados.	40
Tabela 18- Resultados de densidade aparente e densidade absoluta de amostras cruas e assadas de cereais matinais.	44
Tabela 19- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade aparente de cereal matinal extrudado cru.	45
Tabela 20- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade absoluta de cereal matinal extrudado cru.	45
Tabela 21- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade aparente de cereal matinal extrudado assado.	47
Tabela 22- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade absoluta de extrudado assado.	50

Tabela 23-	Resultados de número de picos medidos em texturômetro para avaliação de crocância	52
Tabela 24-	Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de crocância de cereais matinais assados.	52
Tabela 25-	Resultados de força máxima (N) medidos em texturômetro para avaliação de dureza	52
Tabela 26-	Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de dureza de cereais matinais assados.	54
Tabela 27 -	Avaliação da perda de consistência com tempo de imersão em leite para replicatas do ponto central e para amostra comercial.	56
Tabela 28-	Resultados de ISA e IAA de farinhas de cereais matinais prontos	58
Tabela 29-	Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de ISA de cereais matinais assados.	59
Tabela 30-	Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de IAA de cereais matinais assados.	61
Tabela 31-	Média de vazão de extrusão	63
Tabela 32-	Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de vazão de extrusão de cereais matinais.	64

LISTA DE ABREVIATURAS

FOS	Fruto-oligossacarídeo
GF ₂	1- kestose
GF ₃	nistose
GF ₄	Frutofuranosil nistose
RVA	Rapid visco-analyser (Analisador Rápido de viscosidade)
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
HPLC	High pressure liquid chromatography
DA	Densidade Aparente
DAb	Densidade Absoluta
MP	Matéria-prima (frutano comercial)
aç. ou Aç.	açúcar
nº de picos	número de picos
CM	Cereal matinal
V.	Viscosidade
V _{final}	Viscosidade final
V _{min}	Viscosidade mínima
V _{max}	Viscosidade máxima
V _{frio}	Viscosidade a frio
ISA	Índice de solubilidade em Água
IAA	Índice de Absorção de Água
N	Newton (unidade de força)
PC	Ponto central (indica os tratamentos que são repetições do PC)
PCs	Pontos centrais
I ₂ /I ₃	Iodo ou íon triodeto
RTE	<i>Ready-to-eat</i> (pronto para consumo)
RSM	<i>Response Surface Methodology</i> (Metodologia de superfície de resposta)
min.	minuto (unidade de tempo)
RPM	Rotações por minuto (unidade de velocidade)
cP	centi Poise (unidade de viscosidade)
cm ³	centímetro cúbico (unidade de volume)
g /cm ³	gramas por centímetro cúbico (unidade de densidade)
(L)	Efeito linear
(Q)	Efeito quadrático
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Fibras Dietéticas e Fruto-oligossacarídeos	2
2.2	Mercado de Produtos Funcionais	5
2.3	Mercado de Produtos de Milho e Cereais Matinais	6
2.4	Milho	8
2.5	Amido	11
2.6	Processo de Extrusão	15
3	MATERIAS E MÉTODOS	19
3.1	Materiais	19
3.2	Métodos	19
3.2.1	Delineamento do experimento	19
3.2.2	Preparo e condicionamento das amostras para extrusão	20
3.2.3	Parâmetros de extrusão do cereal matinal	21
3.2.4	Desenvolvimento de cereal matinal	21
3.2.5	Preparo de amostras extrudadas para análises	21
3.2.6	Determinação de composição centesimal	21
3.2.7	Avaliação de teor de frutanos após processamento	23
3.2.8	Avaliação de elevação da taxa de ingesta de açúcares de aç. Complexos/ aç. simples com incremento de adição de FOS	23
3.2.9	Avaliação microbiológica de bolores e leveduras e Coliformes a 45°C	24
3.2.10	Determinação de viscosidade de pasta do extrudado por RVA	25
3.2.11	Densidade aparente	26
3.2.12	Densidade absoluta	26
3.2.13	Crocância e dureza em texturômetro	26
3.2.14	Tempo de tigela (perda de consistência)	27
3.2.15	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA).	28
3.2.16	Determinação de vazão de processo	28
3.2.17	Análise estatística	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Composição Centesimal de Extrudado Assado	30
4.2	Avaliação de teor final de FOS após processamento	30
4.3	Avaliação de Elevação da Taxa de Ingesta de Açúcares. Complexos/ aç. Simples com Incremento de Adição de FOS	34

4.4	Avaliação microbiológica de Bolores e leveduras e Coliformes à 45°C.	35
4.5	Determinação de Viscosidade do Material Obtido em RVA	36
4.6	Estudo de Densidade Aparente e Densidade Aparente Extrudado Cru (pellet) e assado.	43
4.7	Avaliação de Textura por Testes Mecânicos	51
4.8	Tempo de tigela	56
4.9	Avaliação de Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção de Água (IAA)	58
4.10	Determinação de vazão de extrusão	63
5	CONCLUSÃO	67
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	77
Anexo A	Tabelas de análises de ANOVAS para validação de modelos	78
Anexo B	Imagens de tratamentos assados	83
Anexo C	Gráficos de viscosidade medidos em RVA	91
Anexo D	Gráficos de curvas médias de textura atributos indicando força máxima (N) e nº de picos medidos em texturômetro	99
Anexo E	Análise de significância de perda de consistência com tempo de imersão utilizando o teste t:	111
Anexo F	Cromatogramas	114
Anexo G	Análise estatística de observação de ocorrência de diferença significativa na relação da taxa de aç. Complexo/aç. Simples em relação à adição de FOS aplicando ANOVA e regressão e linear	139

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos funcionais capazes de produzir efeitos metabólicos ou fisiológicos desejáveis na manutenção da saúde é um fenômeno evidente.

Os principais mercados para alimentos funcionais hoje são o Japão, os Estados Unidos e a Europa. De acordo com Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) é esperado que em 2009 o mercado norte-americano para alimentos funcionais fosse valorado em US\$ 6,9 bilhões. Entretanto, o mercado brasileiro de produtos funcionais apesar de emergente está muito aquém de seu potencial carecendo de pesquisa para desenvolvimento de novos produtos.

Outro aspecto a ser considerado como relevante para o mercado nacional decorre do fato do segmento industrial de moagem a seco, que é responsável pela produção de farinha, fubá, canjica e “grits” de milho, se apresentar muito vulnerável, praticamente estagnado. Como possibilidade de recuperação dessa indústria está em primeiro lugar o crescimento da indústria de “snacks”, particularmente dos produtos extrudados, que podem se tornar grandes consumidores de farinhas e “grits” de milho. Ressalta-se que produtos matinais e “snacks” são indústrias com grande potencial de crescimento em um cenário de estabilização econômica e retomada do desenvolvimento.

Uma opção para agregar o consumo de substâncias funcionais e simultaneamente movimentar o mercado de produtos derivados do segmento industrial de moagem a seco é o desenvolvimento de produtos extrudados enriquecidos. A adição de fruto-oligossacarídeos (FOS) na produção de um cereal matinal acarretaria no incremento de consumo de prebióticos na dieta principalmente de crianças e adolescentes. Estas substâncias são chamadas de pré-bióticas por promover o crescimento de pro-bióticos enquanto inibem o crescimento de bactérias putrefativas no trato intestinal. Estão também relacionadas a uma série de benefícios metabólicos como diminuir os níveis de triglicérides no sangue e o aumento na absorção de minerais como cálcio, magnésio e fósforo (PASSOS & PARK; 2003). Outra vantagem se deve a apresentarem apenas um terço do valor calórico da sacarose (SILVA, 1996). Isto significa que seu uso possibilita a obtenção de um produto com redução de valor energético, o que tem sido uma fonte de críticas recorrentes às marcas de cereais matinais comerciais. Sabe-se que a taxa glicêmica apresenta maior pico de elevação justamente após o café da manhã e a maior parte dos cereais matinais são classificados como alimentos de elevado índice glicêmicos (FAIRCHILD *et al*, 1995). A característica de auxiliar o metabolismo do diabético torna o cereal matinal um excelente produto para enriquecimento com FOS. Kanran & Salem (2008) reporta que a maioria das organizações de saúde do mundo recomenda que os cereais matinais sigam a tendência de enriquecimento com fibras alimentares.

Entretanto, apesar do apelo nutricional, alimentos funcionais não podem ser desenvolvidos simplesmente pela adição ou mistura de ingredientes apropriados. Efeitos decorrentes do processamento, bem como os atributos que afetam a qualidade final do produto devem ser considerados.

Este trabalho visou o desenvolvimento de um cereal matinal, enriquecido a partir de substituição de parte do fubá de milho por fruto-oligossacarídeos avaliando as características reológicas e físico-químicas. Também foram avaliadas as possíveis perdas do enriquecimento decorrentes do processamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras Dietéticas e Fruto-oligossacarídeos:

Produtos com elevado teor de fibras são geralmente reportados como fazendo parte da lista de alimentos funcionais, ou seja, aqueles semelhantes em aparência ao alimento convencional, consumido como parte de uma alimentação normal, capazes de produzir efeitos metabólicos ou fisiológicos desejáveis na manutenção da saúde (ASHWELL, 2002). De fato existe uma forte evidência assumida pela comunidade médica de que a dieta contribui significativamente com a saúde. Isto gera uma tendência a se buscar uma alimentação que esteja positivamente correlacionada ao decréscimo de incidência de determinadas patologias (DAVIES, 1995).

O U.S Expert Panel on Dietar and Fiber definiu as fibras dietéticas como componentes endógenos de materiais vegetais presentes na dieta que resistem as enzimas digestivas. São classificadas como solúveis (ex. pectinas e gomas) ou insolúveis (ex. celulose, hemicelulose e lignina) (JACOBS, 1988).

Dentre as fibras solúveis estão alguns oligossacarídeos que ocorrem naturalmente. Destes oligossacarídeos destacam-se os fruto-oligossacarídeos (FOS), que são importantes principalmente por suas propriedades funcionais (GIBSON, 2004).

As funções fisiológicas e metabólicas das fibras no organismo se relacionam as características físicas das mesmas. As ditas fibras insolúveis atuam melhorando as funções intestinais (COSTA & MARTINEZ, 1997). Isso ocorre devido à capacidade destas fibras de absorverem água, lubrificando as fezes. O conseqüente aumento de volume ainda estimula os movimentos peristálticos, facilitando à excreta (FRIEDMAN, 1991; MC NEIL et al., 1978).

As fibras solúveis têm sido diretamente relacionadas a uma série de regulações metabólicas. A capacidade de formação do gel destas fibras e o decorrente aumento de viscosidade aumentam a sensação de saciedade e diminuem a velocidade do transito intestinal. Esta característica parece ser responsável por uma diminuição da absorção da glicose e ácidos biliares (SILVA et al., 1997). Os efeitos das fibras solúveis também são correlacionadas ao metabolismo dos lipídios (PASQUIER et al, 1996) e do colesterol (NUTTAL, 1993). Uma extensa variedade de estudos tem reportado que algumas fontes de fibras podem diminuir a extensão da lipólise. O aumento da viscosidade do conteúdo digestivo devido a geleificação da fibra no pH ácido do estômago aumenta o tamanho das estruturas de emulsificação de lipídios do estômago e diminuem a área de ação das lípases gástricas. Há uma hipótese de que o aumento da viscosidade diminua a turbulência causando o aumento dessas estruturas. Sob uma energia mecânica fraca, como é o caso do trato digestivo, a viscosidade do meio é o fator limitante para a emulsificação dos lipídios por reduzirem a eficiência da energia utilizada para deformar e depois romper essa massa lipídica de grandes a pequenos “droplets” (estruturas de emulsificação). Uma vez que a emulsificação intragástrica dos lipídeos e a lipólise parcial são os primeiros passos da digestão das gorduras dos mamíferos, este mecanismo pode explicar o efeito de redução de hiperlipidemia com a presença de fibras dietéticas na dieta (PASQUIER et al., 1996). Testes realizados em porcos mostraram o efeito de fibras solúveis, principalmente pectina, na diminuição dos níveis de colesterol sérico. Mecanismos propostos relacionam a influência das fibras na ação da 7- α -hidroxilase sob o tamanho das partículas de LDL, que diminuem e passam a conter menos colesterol. Pectina e goma guar diminuem a concentração hepática de colesterol por provocarem um aumento nos receptores hepáticos de LDL, a ativação da HMG-CoA Redutase e a inibição da Ayl-CoA aciltransferase (FERNANDEZ, 1995).

Os efeitos do uso de FOS para a saúde são muito próximos aos relatados para as fibras solúveis em geral (MOSCATO, 2004). Estes açúcares não convencionais, entretanto aliam a vantagem de serem classificados como assistentes de bactérias benéficas do trato digestivo, como *Lactobacillus* e *Bifidobacteria*. Eles melhoraram o metabolismo da *Bifidobacteria* e diminuem o pH do intestino grosso, destruindo bactérias putrefativas incluindo *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* (PASSOS; PARK, 2003; YAMASHITA et al., 1984). O resultado é que a ingestão diária pode resultar num aumento de bifidobactérias no trato intestinal (CUMMINGS et al., 2004; GIBSON, 2004; HARTEMINK et al., 1997; THAMER; PENNA, 2006). O controle de distúrbios intestinais como colite ulcerativa, gastroenterite e síndrome do cólon irritável são diretamente relacionadas ao consumo de prebióticos (GIBSON, 2004). Devido atuar auxiliando as bactérias bifidas chamadas de pró-bióticas são denominados pré-bióticos (THAMER; PENNA, 2005; THAMER; PENNA, 2006). Bingham (2003) reportou que em populações com baixa ingestão dietética de fibras, uma duplicação do consumo total de fibras no alimento poderia reduzir o risco de câncer cólon-retal em 40%. Segundo Zobel (2005) os frutanos do tipo inulina são fibras que podem ser relevantes na prevenção deste tipo de câncer. Um estudo comparando a ingestão de fibras dietéticas por cidadãos da cidade de Murcia (Espanha) e Copenhagem (Dinamarca) concluiu que as diferenças na alimentação podem estar diretamente relacionadas à grande diferença de incidência de câncer cólon-retal entre as duas populações. A Espanha possui a menor taxa de casos da doença e Murcia tem a menor taxa de mortalidade devido à patologia. A Dinamarca está no outro extremo da lista apresentando a maior taxa de incidência. O estudo observou que a cidade de Murcia tem uma dieta Mediterrânea com maior consumo de frutas e legumes acarretando numa ingestão significativamente maior de fibras dietéticas. Segundo o estudo a ingestão de fibras dietéticas incluía oligossacarídeos que tiveram o consumo estimado entre 2 a 10 g/dia. Segundo reportado no estudo, os hábitos alimentares dos cidadãos de Copenhagem seguem uma dieta tipicamente escandinava. O gráfico 1 mostra a diferença na ingestão entre as duas populações (TABERNERO et al., 2007).

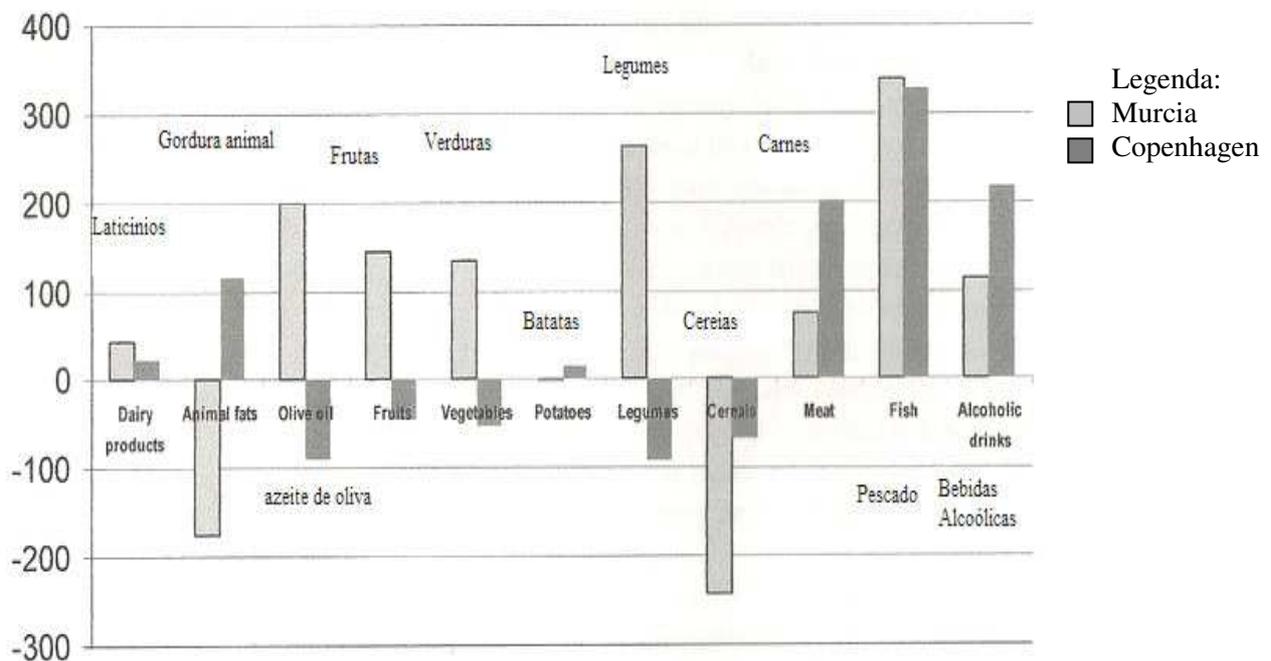


Gráfico 1: Diferenças de hábitos alimentares entre cidadãos de Murcia e Copenhagem.

Segundo Martini e Philips (2009) os hábitos adquiridos pela população no decorrer do século 20 que envolvem fazer refeições fora de casa, se alimentar de alimentos prontos para consumo ou de alimentos congelados que não fornecem necessariamente uma dieta balanceada estão diretamente relacionados à grande incidência de obesidade. Nos Estados Unidos a obesidade tem crescido assustadoramente, especialmente entre as crianças. Segundo Daniel (2005) alimentos com altos teores de fibras são menos calóricos e aumentam a sensação de saciedade. Frutanos do tipo inulina modulam peptídeos gastrointestinais envolvidos na regulação do apetite. São efetivos no controle da obesidade (EYRE et al., 2004).

Relata-se que a ingestão de FOS esta também relacionada ao aumento na absorção de minerais como cálcio, magnésio e fósforo (OHTA et al., 1993).

O equilíbrio produzido na flora gastrointestinal pelo consumo de FOS estimula outros benefícios no metabolismo humano, como a redução da pressão arterial em hipertensos, alteração do metabolismo de ácidos gástricos bem como redução da absorção de carboidratos e lipídeos (YAMASHITA et al., 1984). Ainda são relatados aumento da digestão e metabolismo da lactose, aumento da reciclagem de compostos como o estrógeno, aumento da síntese de vitaminas do complexo B, aumento de compostos imuno estimulantes, que possuem atividade antitumoral (YUN, 1996). A introdução de FOS numa dieta com ácido fítico combateu os efeitos antinutricionais dessa substância em relação à diminuição da absorção de minerais (LOPEZ et al., 2000).

Existem várias fontes importantes de frutanos de origem vegetal. Entre elas pode-se citar a *Chicorium intybus* (chicória), *Dahlia pinuata* (dália), *Helianthus tuberosus* (alcachofra de Jerusalém) e a *Polymnia sonchifolia* (Yacon). Apesar da inulina da chicória ser a fonte mais popular, o yacon vem sendo bastante estudado devido ser rico em fibras não digeríveis e frutanos, atingindo uma produtividade relatada de 120 toneladas por hectare de raízes tuberosas (CABELLO, 2005). Oligossacarídeos também podem ser encontrados naturalmente em aspargos, beterraba, banana, alho, cebola, trigo e tomate (YAMASHITA et al., 1984). As estruturas dos oligossacarídeos presentes na farinha de Yacon foram determinadas e os resultados demonstram que tem estrutura semelhante aos oligofrutanos da inulina da chicória. Possuem repetições de D-frutofuranosil ligados por ligações β -2,1 e um terminal sacarose (GOTO, 1995). De fato, FOS atualmente é o nome comum dado apenas a oligomonômeros de frutose que são compostos de 1- kestose (GF₂), nistose (GF₃) e fruto furanosil nistose (GF₄), em que as unidades de frutossil (F) são ligadas na posição β -2,1 da sacarose, o que os distingue dos outros oligômeros (YUN, 1996). A Figura 1 mostra a representação da estrutura química destes oligômeros. Comercialmente, podem ser encontrados de duas formas. A primeira é por hidrólise ácida da inulina, e consiste em unidades lineares de frutossil com ou sem uma unidade final de glicose. O grau de polimerização desses FOS varia de 1 a 7 unidades de frutossil. A segunda forma é preparada por reação enzimática de transfrutossilacção em resíduos de sacarose, e consiste tanto de cadeias lineares como de cadeias ramificadas de oligossacarídeos, com grau de polimerização variando entre um e cinco unidades de frutossil (HIDAKA et al., 1986).

Devido suas características, Os FOS possuem aplicação em várias áreas. Podem ser usados como edulcorantes seguros pra diabéticos, pois apresentam cerca de um terço do poder edulcorante da sacarose. Os FOS apresentam solubilidade maior que a sacarose e não cristalizam, não precipitam, e nem deixam sensação de secura ou areia na boca. Apresentam a vantagem tecnológica de não serem degradados pelas temperaturas normalmente utilizadas no fabrico de alimentos. Entretanto, em condições muito ácidas e em condições de exposição prolongada de determinados binômios tempo/temperatura, podem ser hidrolizados em frutose (YUN, 1996).

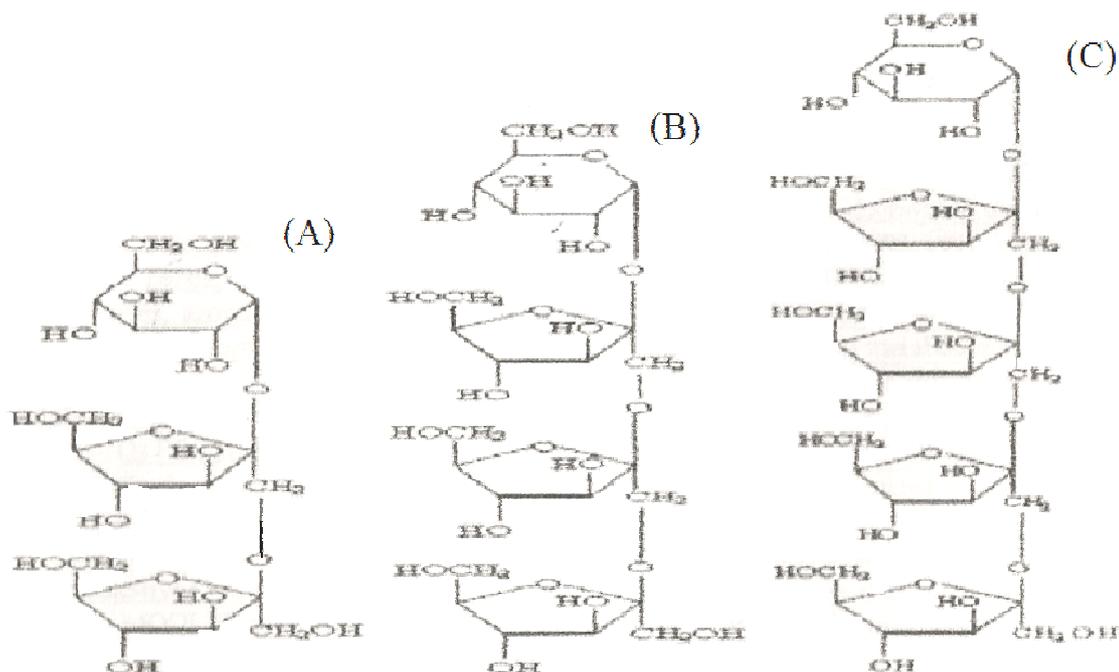


Figura 1: Representação das estruturas químicas de kestose (GF₂), nistose (GF₃) e fruto furanosil nistose (GF₄).

Importante ressaltar que não existe evidência da toxicidade ou do desenvolvimento de distúrbios gastrointestinais associados ao consumo de inulina. Estimativas apontam para um consumo normal médio de 1 a 5 g por dia para americanos e de 12 g por dia para europeus. Estudos clínicos usando inulina comercial demonstram que um consumo diário regular de 40 a 70 g por dia não ocasionou efeitos adversos. A partir destes resultados um consumo diário de 40 g diárias foi estabelecido como aceitável (SILVA, 1996).

Apesar da grande importância das fibras alimentares na dieta existem alguns problemas tecnológicos no uso de fibras. (RONAI et al., 1997). É sabido por exemplo que as fibras insolúveis aumentam a pegajosidade do material. Isso decorre da estrutura química das fibras possuírem grandes quantidades de grupos hidroxilas e por isso absorverem muita água. (FONSECA FILHO, 1997).

2.2 Mercado de Produtos Funcionais:

Os principais mercados para alimentos funcionais hoje são o Japão, os Estados Unidos e a Europa. Estima-se que o mercado mundial de alimentos funcionais movimentou, em 2005, em torno de US\$ 60 bilhões na Europa, Japão e Estados Unidos — só neste último ele representou US\$ 15 bilhões (ABIA, 2005).

De acordo com Centro de Estudos Avançado em Economia Aplicada – CEPEA (2006), o mercado norte-americano para alimentos funcionais cresceu 8% entre 2002 e 2004, alcançando US\$ 5,2 bilhões. Era esperado que em 2009 fosse valorado em US\$ 6,9 bilhões.

No Brasil, em 2005, o mercado foi avaliado em US\$ 600 milhões. Os produtos “diet” e “light”, presentes no mercado desde o início da década de 90, atingiram vendas anuais ao redor de US\$ 4 bilhões, em 2005. Desse volume, o mercado de produtos funcionais representou 14% e na indústria de alimentos, 0,8%. Sendo assim, juntos, os segmentos de “diet” e “light”, e funcionais somam 6,3% do volume de vendas da indústria brasileira da alimentação. Dos R\$ 88,2 bilhões que as fábricas brasileiras do setor faturaram no ano de

2006, apenas R\$ 700 milhões (0,8%) foram provenientes das vendas de alimentos funcionais. No entanto, enquanto o ramo de alimentos tinha estimativa de crescimento entre 4,5% e 5% neste ano, os funcionais tinham previsão de expansão de 12% a 14% (ABIA, 2005).

Os alimentos funcionais correspondem de 5-7% do mercado mundial de alimentos (RODRÍGUES et al., 2003).

Segundo a ABIMA (2010a) em relação a elaboração de produtos enriquecidos com fibras apenas nos últimos 2 anos as vendas dos alimentos ricos em fibras cresceram em 20%.

A ABIMA também reporta que pesquisas de mercado indicam que brasileiros lêem rótulos em busca de alimentos saudáveis sendo que quase 50% lêem os rótulos quando desejam acrescentar fibra em suas dietas. Além disso o estudo também mostra que: (1) 62% dos pesquisados acham que o rótulo “Agora mais saudável, com fibras” é um atrativo nos produtos de panificação e (2) 73% consideram que os produtos de panificação que melhoram a saúde digestiva também são atraentes (ABIMA, 2010b).

A pesquisa ainda descobriu que 67% dos brasileiros passaram a pensar mais sobre alimentação saudável nos últimos dois anos e 52% estão procurando alternativas mais saudáveis de alimentação. Especificamente em relação ao público infantil reporta-se que mais de 80% dos pais lêem os rótulos de alimentos e bebidas com mais atenção quando estão comprando produtos para os seus filhos e 84% dos pais acreditam que a fibra seja um componente importante da dieta infantil (ABIMA, 2010b).

2.3 Mercado de Produtos de Milho e Cereais Matinais:

O milho esta entre os três cereais mais consumidos no mundo (ROCHA et al., 2003). A cultura do milho tem grande importância para o Brasil (VIANA; POTENZA, 2000). É considerado o terceiro maior produtor de milho no mundo, sendo que a projeção de produção FNP para 2007 foi de 40.828.939 toneladas de grãos. De uma produção mundial total, no ano de 2005, de cerca de 708 milhões de toneladas, cerca de 75 milhões são comercializadas internacionalmente (aproximadamente 10% da produção total em 2005, com uma expectativa de 11,5% em 2006). Isto indica que a produção de milho destina-se basicamente ao consumo interno. O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três países, os Estados Unidos (46 milhões de t de exportações em 2005), a Argentina (14,0 milhões de t em 2005) e a África do Sul (2,3 milhões de t em 2005). A principal vantagem destes países é uma logística favorável, que pode ser decorrente da excelente estrutura de transporte (caso dos EUA), proximidade dos portos (caso da Argentina) ou dos compradores (caso da África do Sul). O Brasil eventualmente participa deste mercado, porém, a instabilidade cambial e a deficiência da estrutura de transporte até aos portos têm prejudicado o país na busca de uma presença mais constante no comércio internacional de milho (DUARTE, 2008).

Segundo o PROCISUR (1997), em termos de produto, o milho ocupa a maior área, com aproximadamente 27% do total cultivado, seguido pela soja, com cerca de 20%. Apesar do grande potencial de produção agrícola do milho podem-se citar dois entraves para o melhor aproveitamento econômico dessa cultura. Primeiramente grande parte da produção é destinada ao mercado de ração animal com produção de produtos de pequeno valor agregado. Segundo pode-se citar a substituição do uso de “grits” de milho por cevada e, mais recentemente, por xarope de glucose, produzido pela indústria de moagem úmida, na etapa de fermentação da indústria cervejeira.

O segmento industrial de moagem a seco, que é responsável pela produção de farinha, fubá, canjica e “grits” de milho, se apresenta muito vulnerável segundo o PROCISUR (1997). A Tabela 1 segundo estimativa da Abimilho (2008) mostra como o mercado de produtos de milho de forma geral encontra-se praticamente estagnado.

O PROCISUR (1997) cita que como possibilidade de recuperação dessa indústria está em primeiro lugar o crescimento da indústria de “snacks”, particularmente dos produtos extrudados, que podem se tornar grandes consumidores de farinhas e “grits” de milho. Produtos matinais e “snacks” são indústrias com grande potencial de crescimento em um cenário de estabilização econômica e retomada do desenvolvimento. São produtos de alto valor adicionado, de grande apelo junto à camada mais sofisticada de consumo e encontram grande receptividade junto ao consumidor infantil e juvenil. Essas indústrias abrem uma grande perspectiva para pesquisa com novos processos e produtos, principalmente na área de extrusão termoplástica de matérias primas nacionais.

A ACNielsen (2003) realizou uma pesquisa de mercado de amplitude global sobre marcas próprias e detectou que os cereais matinais extrudados estavam em uma das 40 categorias de produtos pesquisados que tanto marcas tradicionais quanto Marcas Próprias expandiram, porém Marcas Próprias expandiram a uma *taxa* superior à das marcas tradicionais. O crescimento de marcas próprias superou o de marcas tradicionais em mais de dois terços das categorias analisadas (56 das 80 Categorias). Outro dado interessante é que a participação de marca própria dos cereais matinais foi próxima de produtos como biscoitos doces, ambos com de 11%.

Tabela 1 MILHO - CONSUMO POR PROCESSO A SECO E A ÚMIDO (x1000 toneladas)

Segmento	Ano							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Moagem a seco	1500	1450	1550	1590	1588	1592	1500	1500
Moagem úmida	1200	1150	1150	1180	1182	1184	1200	1200
Pequenos moinhos	1450	1400	1350	1380	1385	1385	1450	1480
Total	4150	4000	4050	4152	4157	4161	4150	4180

Fonte: Estimativa Abimilho

A ACNielsen (2003) realizou uma pesquisa de mercado de amplitude global sobre marcas próprias e detectou que os cereais matinais extrudados estavam em uma das 40 categorias de produtos pesquisados que tanto marcas tradicionais quanto Marcas Próprias expandiram, porém Marcas Próprias expandiram a uma *taxa* superior à das marcas tradicionais. O crescimento de marcas próprias superou o de marcas tradicionais em mais de dois terços das categorias analisadas (56 das 80 Categorias). Outro dado interessante é que a participação de marca própria dos cereais matinais foi próxima de produtos como biscoitos doces, ambos com 11%.

Deve-se apontar, no entanto que pesquisa de mercado reportada pela ACNielsen (2004) com intuito de identificar as categorias que apresentaram o mais rápido crescimento global se verificou que os cereais matinais estão na cesta de produtos com a mais baixa taxa de crescimento entre todas as 12 cestas de produtos analisadas. Isto é explicado devido ao crescente apelo por dietas pobres em carboidratos. Isso pode ser deduzido devido o crescimento desta cesta nos EUA, onde a dieta pobre em carboidratos é bastante divulgada,

ter apresentado o menor crescimento, +1%. No extremo oposto, a cesta de Carboidratos Sem Açúcar teve o mais rápido crescimento nos Mercados Emergentes (+13%), onde tal dieta é muito menos adotada ou conhecida.

Conforme visto em Gráfico 2 a cesta de Carboidratos Sem Açúcar não somente apresentou um crescimento geral em valor de vendas de apenas +2%, mas também as categorias que compõem esta cesta de produtos também apresentaram crescimento individual limitado. De fato, nenhuma das categorias nesta cesta de produtos apresentou crescimento superior à +4%.

Segundo Eskinazi (2000) a preocupação com a saúde é um tema cada vez mais recorrente ao consumidor. Por isso é interessante a proposta de complementar esse produto de fácil consumo, oferecendo uma composição de carboidratos mais equilibrada, com alto valor comercial.

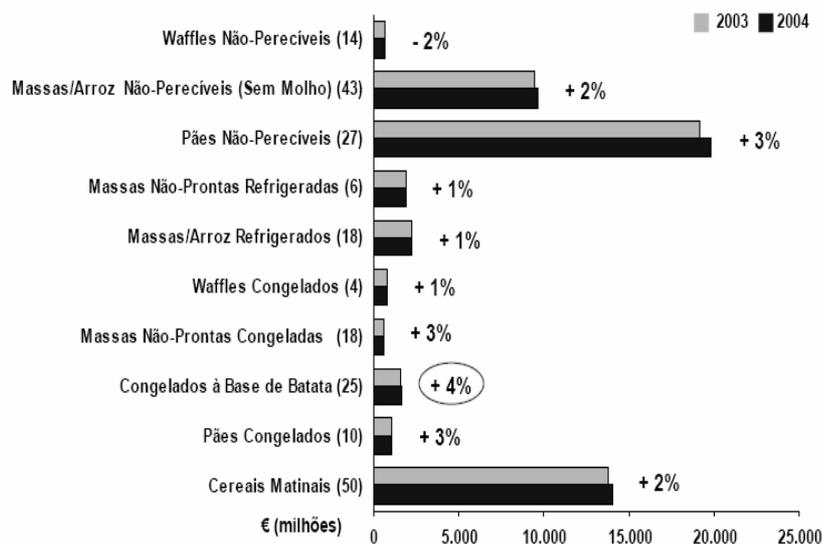


Gráfico 2: Crescimento global em categorias de carboidratos sem adição de açúcar. (Número e países incluídos em cada categoria). Fonte : ACNielsen (2004).

2.4 Milho

O milho (*Zea mays L*) é uma planta herbácea da família das gramíneas, utilizado desde a antiguidade na alimentação humana e animal (PEREIRA et al. , 1998).

O grão do milho pode ser visualizado na Figura 2. Possui quatro partes principais: epiderme e farelo, endosperma (incluindo a camada de aleurona), germe e pedúnculo ou ponta. As células de aleurona contêm muita proteína e óleo, bem como pigmentos carotenóides. O farelo constitui em torno de 5 – 6 % do grão de milho e consiste basicamente de celulose e outros polissacarídeos não amiláceos insolúveis. O germe tem a maior proporção em comparação aos demais grãos, em torno de 10%. Existem dois tipos de endospermas. O primeiro é mais compacto, duro e translúcido, apresentando pouco ou nenhum espaço com ar e contém um maior conteúdo protéico. Os grânulos de amido deste endosperma têm um formato poligonal e são mantidos juntos por uma matriz protéica. No segundo caso os grânulos de amido são macios e opacos, tem geometria esférica, são cobertos por uma matriz protéica e possuem um grande espaço vazio preenchido com ar. Este endosperma preenche a coroa do grão, se estendendo descendentemente em torno do germe. Com o amadurecimento ele encolhe causando uma depressão no topo do grão. Um típico dente de milho possui aproximadamente 6% de pericarpo, 11% de germe e 83% de endosperma. (POMERAZ, 1987). A qualidade do milho para uso no processamento de

alimentos varia dependendo do tipo do processo e do tipo do produto final. O Quadro 1 mostra as especificações de qualidade do milho. Moagem a seco, cozimento alcalino, produção de “snacks” e cereais matinais requerem necessariamente os mesmos atributos de qualidade (ASCHERI; CARVALHO, 2008). No processo a seco, o milho, após limpeza e secagem, é degerminado e separado em endosperma e germe. O fluxo do endosperma é moído e classificado para a obtenção de produtos finais, e o germe passa por processo de extração para produção de óleo. A Figura 3 mostra o fluxograma do processo de moagem a seco bem como os principais produtos resultantes (ABIMILHO, 2008).

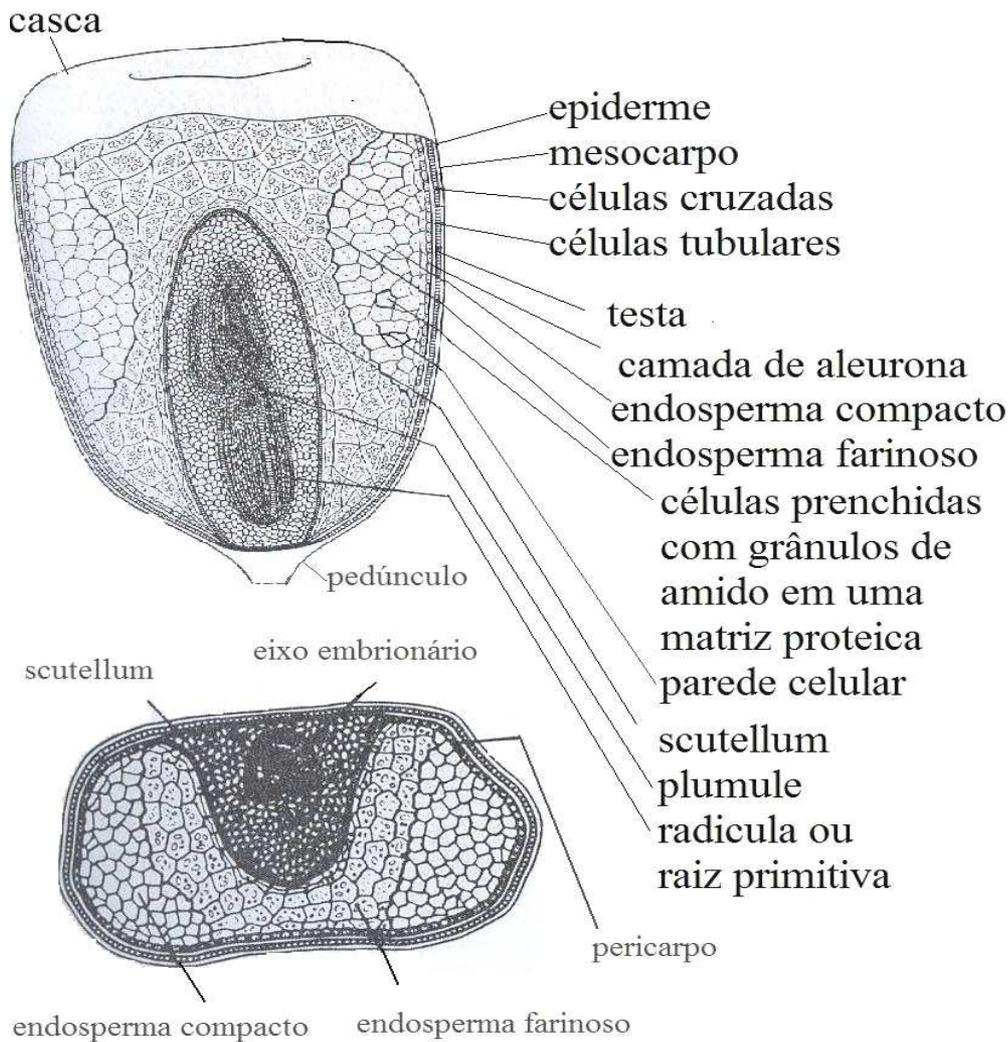


Figura 2: Representação esquemática do grão de milho.

A secagem é o fator mais determinante na qualidade dos derivados do milho obtidos por moagem seca. Esta operação deve ser feita a baixas temperaturas, para reduzir as perdas por fratura e danificação dos mesmos. Grãos com maior número de fissuras são mais suscetíveis a quebra, provocando baixo rendimento durante a moagem a seco e são mais suscetíveis ao ataque de insetos e danificação durante a estocagem. Um milho com 11 a 12 % de umidade está sujeito a maior danificação na manipulação. Milho de 14 a 15% precisa de mais cuidado na estocagem para evitar a formação de mofo. (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

Quadro 1 - Especificações de qualidade de milho

Parâmetros	Limites estabelecidos
Milho branco	Máximo 5% de grãos amarelos
Milho amarelo	Máximo de 5% de grãos brancos
Remoção de pericarpo	Teste de álcali
Tamanho e forma de grãos	Teste visual 10% de variação
Percentagem de germe mortos	Máximo 6% pelo método da coloração
Faixa de umidade	11,5 a 15%
Evidencias de Roedores	Nenhuma
Quebra	10% de amido exposto
Aflatoxina	20 ppb (FDA)
Grãos mofados	Nenhum/100g
Teste de peso/Bushel	56 pounds mínimo (25 kg)
Milho para alimento humano deverá ser característico	Ausência indesejáveis de odores ou baixa textura
Insetos ou partes	Não procede para grau alimentício

Fonte: ASCHERI; CARVALHO, 2008



Figura 3: Processo de moagem de milho a seco. Fonte: ABIMILHO, 2008.

O principal perigo biológico relacionado aos produtos de milho devido à baixa atividade de água são os bolores. Estes são indesejáveis porque muitos são capazes de produzir uma variedade de metabólitos tóxicos quando estão se multiplicando nos alimentos. Estes metabólitos recebem o nome genérico de micotoxinas. O perigo é agravado pelo fato de que tratamentos térmicos tradicionais dados aos alimentos são em geral insuficientes para a eliminação deste perigo. A seguir descreveremos algumas das micotoxinas relacionadas ao milho, as relações entre esta contaminação e as matérias primas utilizadas no processo de extrusão como os grits de milho e grãos geneticamente modificados, bem como o efeito do processo de extrusão sob esse perigo.

As aflatoxinas são as micotoxinas mais estudadas. São produzidas principalmente pelo *A. flavus*. São compostos químicos derivados da cumarina, apresentando diferentes graus de hidroxilação. A produção da aflatoxina é favorecida pela temperatura de 23 a 26°C, sendo produzida em maior quantidade quando o substrato é rico em carboidratos, gorduras e proteínas (FRANCO; LANDGRAF, 1996)

O processo de extrusão de milho acima de 180°C não resulta em elevados níveis de destruição de aflatoxina (MURPHY et al., 2006).

A ocratoxina está presente em muitos produtos alimentícios porque é produzida por uma gama de fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* os quais possuem uma grande variedade fisiológica e ecológica. A presença de cloreto faz a molécula desta toxina única. É considerada tóxica para os rins, tóxica para o sistema imunológico, teratogênica e carcinogênica. A moagem seca do milho resulta na obtenção de germes e grits com redução dos níveis de ocratoxina em 96 e 49%, respectivamente (MURPHY et al., 2006).

Conhece-se que aproximadamente 180 tricotecenos, mas só alguns são importantes à saúde humana. O deoxynivalenol (DOM) é o mais prevalente do trichothecenes presente em alimentos. Embora relacionado com o DOM 3-acetyl, a toxina de t-2, e nivalenol também ocorrem com alguma regularidade. A via metabólica da produção trichothecene é conhecida para várias espécies de *Fusarium*. O estrogênio zearalenone atraiu atenção recentemente devido relatos de que os estrogênios ambientais tenham o potencial para interromper funções de hormônio de esteróide sexuais. É sabido que a micose no gado causa a infertilidade. O milho é o alimento mais suscetível à contaminação pela espécie *Fusarium*. Plantações em áreas temperadas resultam em menores contaminações. Estão sendo identificadas proteínas anti-fusarium que poderão ser utilizadas em espécies transgênicas para diminuir o risco de contaminação fúngica (DAHLEEN et al., 2001).

Os insetos estão implicados na infecção do milho por *Fusarium* via dois mecanismos: primeiro, eles comprometem a proteção externa de grãos e tecidos da planta, assim permitindo que a hifa do fungo penetre e tenha acesso a nutrientes e segundo, eles transportam esporos do fungo. Assim, aconselhou-se que o controle de insetos pelo uso de cereais geneticamente modificados reduza o nível de contaminação com fungos, mas os resultados preliminares ainda são contraditórios. Até o momento, não há nenhuma evidência que cereais transgênicos estão mais seguros quanto à micotoxinas. A presença de fumonisinas na produção de extrudados tipo flocos de milho foi estudada em grits contaminados diretamente pela adição de toxinas ou por adição de culturas de *Fusarium proliferatum*. Os autores indicaram que, no fim do processo houve redução de 35 % e 53 % de fumosina tipo B1 (também chamada de macrofusina ou FB1) no grits em que foi semeado o fungo e no que sofreu adição direta, respectivamente. O resultado foi diferente depois da adição de glicose ao produto contaminado. Nesse caso a destruição da FB1 foi de 86 % e 89 % respectivamente. Estudos indicam que o uso de parafusos duplos durante a extrusão do “grits” de milho contaminado com FB1 aumentou a redução da toxina quando em comparação com a extrusão com parafusos simples. Os autores informaram que a temperatura não teve nenhum efeito no conteúdo de FB1 no grits de milho quando o processo de extrusão é feito em parafuso simples, ao passo que o aumento de conteúdo de umidade fez. Também, o conteúdo de zen no grits de milho artificialmente contaminado é reduzido em 66-83 % depois da extrusão em temperaturas nos limites de 120 para 160°C, enquanto reduções mais baixas foram observadas para o DOM. (CASTELLS et al., 2005).

A irradiação pode ser usada para eliminar a contaminação com esporos de fungo, mas não para limpar alimentos já contaminados com micotoxinas (MURPHY, 2006).

Do ponto de vista nutricional o milho apresenta como conteúdo energético o amido que representa cerca de 70 a 80% de seu peso seco, compreendendo uma mistura de amilose (22 a 28%) e amilopectina (72 a 78%), formando um complexo altamente organizado (FURLAN et al., 2003).

2.5 Amido

O amido é o principal material de reserva do reino vegetal e a principal fonte de carboidratos disponível para a alimentação humana. É encontrado nos amiloplastos das células e, de todos os polissacarídeos, é o único presente nos tecidos vegetais em pequenas

unidades individuais denominadas grânulos. Todos os grânulos apresentam uma fissura denominada hilo, que é o ponto de nucleação em torno do qual o grânulo se desenvolve (RIBEIRO; SERAVALI, 2004). Singh et al. (2003) reportam que a morfologia dos grânulos de amido depende da bioquímica do cloroplasto ou amiloplasto e da fisiologia da planta.

Os grânulos de amido apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, o que indica certo grau de organização molecular (SOUZA; ANDRADE, 2000).

Os grânulos são compostos de duas macromoléculas formadas por unidades constitucionais repetidas de α -D-glicose com massas moleculares elevadas: amilose e amilopectina. A proporção entre elas varia de acordo com a origem botânica e o grau de maturação da planta, o que definirá diferenças nas propriedades das pastas de amido (FRANCO *et al*, 2002; RIBEIRO; SERAVALI, 2004). Os amidos de cereais possuem maiores teores de amilose o que acarreta formarem geis mais duros enquanto que os de tuberosas são mais viscosos e transparentes (FRANCO *et al*, 2002). A amilopectina é mais insolúvel. Possui longas cadeias essencialmente lineares de D-glicose α -1-4 com ramificações por ligação α -1-6. A amilose é uma molécula com cadeias longas e lineares de D-glicose com ligações α -1-4. (SOUZA; ANDRADE, 2000). A Figura 4 mostra a representação esquemática das formas estruturais de macromoléculas de amilopectina. A Figura 5 mostra o esquema de amiloses dos tipos A e V.

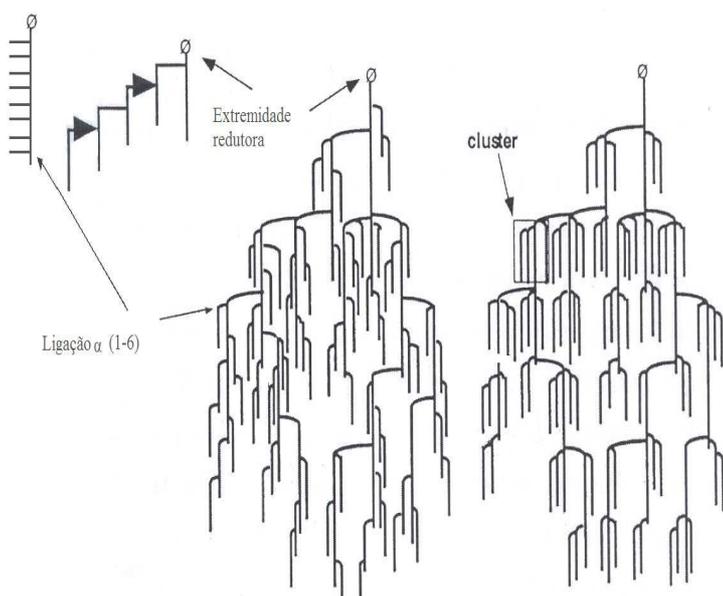


Figura 4: Representação esquemática das formas estruturais da amilopectina.

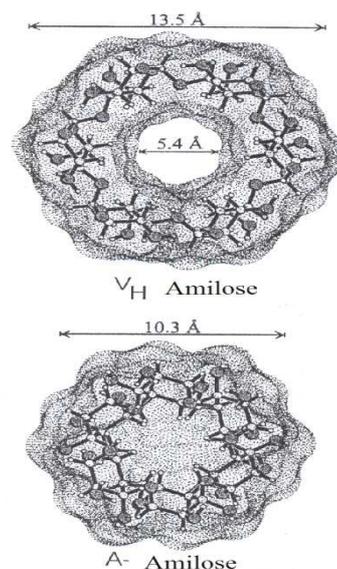


Figura 5: Representação de hélice de amilose tipo A e V.

A amilose pode ter as configurações A, B e V. As estruturas polimórficas A e B são mais comuns e tem configuração em dupla hélice. A configuração V consiste numa hélice simples com seis unidades de glicose por dobra e possui habilidade de complexar com (I_2/I_3) ou ácido graxo devido presença de um canal de natureza hidrofóbica no interior da hélice. Isto torna possível o desenvolvimento de coloração azul no contato do amido com iodo (CALABRESE; KHAN; 1999). A amilopectina possui uma estrutura complexa em formato de cachos chamados clusters. Por difração de raio X podem ser caracterizados 3 principais padrões na estrutura do cluster: A, B e C. Amidos com comprimento de cadeia entre curto e médio exibem um padrão de cristalinidade do tipo A (KUAKPETTON; WANG, 2006). O

padrão A é mais denso e apresenta menos espaço para moléculas de água, sendo geralmente o encontrado em amidos de cereais. A Tabela 2 traz as propriedades do grânulo de amido do milho.

Por análise de difração de raio X dos grânulos de amido percebem-se regiões cristalinas e amorfas alternadas (OTUTUMI et al., 2005). A Figura 6 mostra uma representação esquemática de um grânulo de amido indicando áreas amorfas e cristalinas. Sabe-se que as partes lineares das cadeias de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por pontes de hidrogênio entre grupamentos hidroxila. Estas dão origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações de amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000).

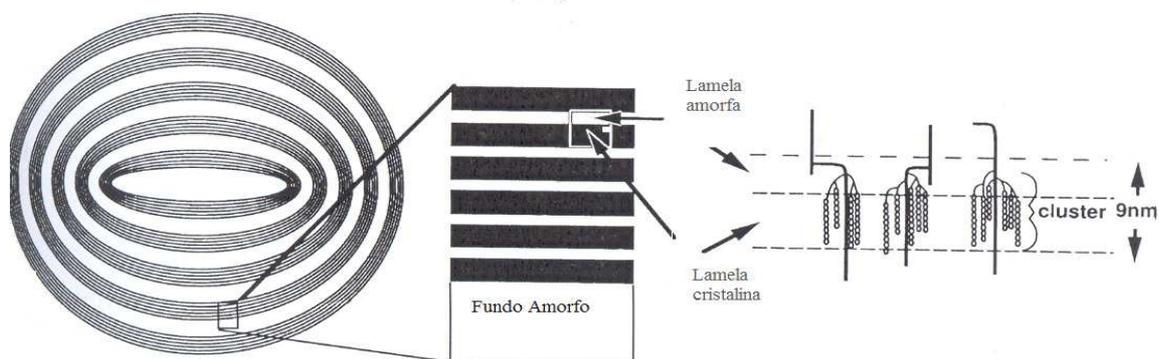


Figura 6: Estrutura cristalina do grânulo de amido

Tabela 2: Características do amido de milho (CARVALHO, 2001)

Propriedades		Especificação
Formato e diâmetro (μm)		Esférico ou angular. Tamanho 2-30, média 10.
Amilose (%)		28
Temperatura de gelatinização de pasta ($^{\circ}\text{C}$) ^(a)		62-80
Amilose	Diâmetro (μm)	5-25
	Conteúdo (%)	28
	Grau de polimerização	940
	Constante de ligação a iodo ^(b)	0,91
Amilopectina	Grau de polimerização ^(c)	25-26

(a) Faixa de Temperatura iniciais e finais de gelatinização.

(b) Capacidade de complexação de iodo (mg de iodo por mg de amido)

(c) Grau médio de polimerização determinada por pullulanase ou isoamylase desramificadora.

Em presença de calor e excesso de água sob agitação ocorre quebra das pontes de hidrogênio entre as cadeias de polissacarídeos no grânulo acarretando na desordenação das regiões cristalinas. Nesse fenômeno chamado de gelatinização o grânulo de amido absorve a água do meio e intumescer irreversivelmente (MUNHOZ et al., 2004), torna-se sensível a estresse mecânico e térmico ou, à acidez do meio, adquirindo tamanho muitas vezes maior que o original (SILVA et al., 2006). A temperatura de gelatinização é relacionada à proporção e ao tamanho das cadeias de amilopectina. Cadeias longas formam longas hélices que requerem temperaturas mais elevadas para se dissociarem (YUAN et al., 1993).

Segundo Ratnayake e Jacson (2007) as modificações que ocorrem durante a gelatinização podem ser resumidas em três etapas: (1) A absorção de água pelo grânulo de

amido facilita o aumento da mobilidade da cadeia polimérica na região amorfa; (2) Os polímeros de amido na região amorfa se rearranjam freqüentemente formando novas interações intermoleculares e (3) Devido aumento do efeito hidrotérmico, os polímeros ganham maior mobilidade e perdem as interações intermoleculares acarretando na perda da estrutura granular. A Figura 7 mostra a representação esquemática das transformações durante a gelatinização desde o intumescimento do grânulo ate formação de estado amorfo.

Quando a temperatura é reduzida ocorre um rearranjo das moléculas por ligações de hidrogênio, favorecendo a retrogradação. A retrogradação do amido é um fenômeno caracterizado pela reconstrução de uma estrutura mais rígida devido às cadeias de amilose ficarem mais disponíveis para se rearranjarem resultando em subsequente perda de água do sistema e endurecimento do produto. (MUNHOZ et al., 2004).

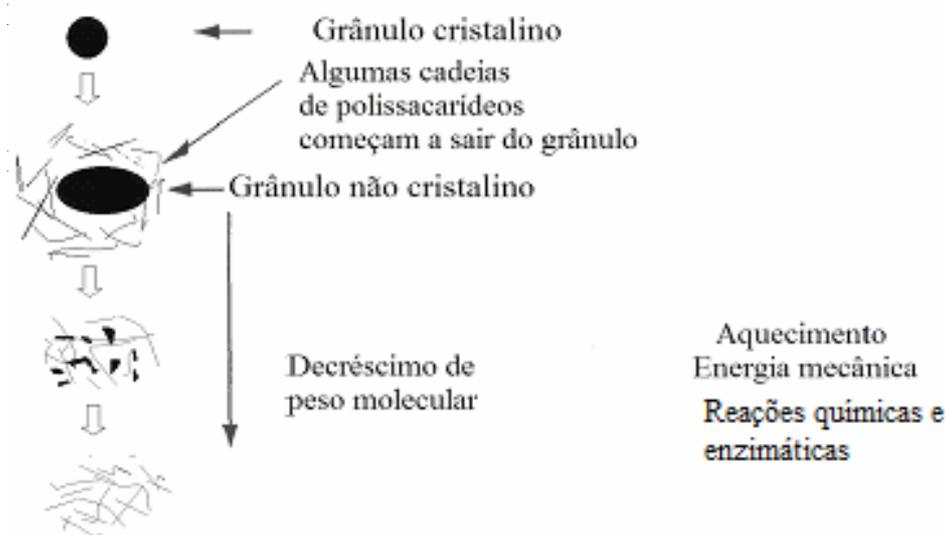


Figura 7: Mudanças no grânulo de amido durante gelatinização.

A uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes, principalmente do material amiláceo (em maior proporção na formulação) permite que estas sejam adequadas e uniformemente cozidas no processo de extrusão, prevenindo dureza, ou cozimento parcial no produto final. Se os tamanhos das partículas das matérias-primas são muito variados, o produto final pode conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade tanto na aparência como na palatabilidade (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

É importante ressaltar que além dos carboidratos o amido pode conter baixos níveis de substâncias acompanhantes, que interferem em suas propriedades físico-químicas (CEREDA et al., 2001). Um alto teor de lipídeos é indesejável devido ser capaz de produzir gosto residual (*off flavour*), turbidez elevada, elevada temperatura de pasta e diminuição de viscosidade. Similarmente, proteínas podem ter o efeito adverso por conferirem um sabor e odor residual e apresentam a tendência de causar espuma. Em relação ao teor de cinzas tem-se relatado que a maior importância está relacionado ao conteúdo de fosfato. O maior teor de fosfato tem sido relacionado a uma menor temperatura de gelatinização, aumento de viscosidade e melhora da brancura (MISHRA; RAI, 2006). Kearsley e Sicard (1989) também

declararam que os grupos fosfato são eficientes em aumentar a repulsão entre as cadeias de amido e facilitar desta forma o acesso das moléculas de água durante a gelatinização.

2.6 Processo de Extrusão:

A importância de estudarmos o processo de extrusão na confecção de um cereal matinal enriquecido se deve ao fato de que apesar do apelo nutricional dos alimentos funcionais, estes não podem ser desenvolvidos simplesmente pela adição ou mistura de ingredientes apropriados. Efeitos decorrentes do processamento, bem como os atributos sensoriais que afetam a qualidade final de qualquer produto devem ser considerados (CASÉ et al., 2005).

De acordo com Alonso, Aguirre, e Marzo (2000), Camire e Krumahar (1990), Gutkoski (1997), Yaulayan, Fichtali e Van de Voort (1992) e, a extrusão é também considerado um processo de alta temperatura e curto tempo (HTST – High temperature Short Time), com período de residência no extrusor de 1 a 2 minutos em média. Isto minimiza a degradação de nutrientes e ainda é suficiente para produzir os efeitos positivos de melhorar a digestibilidade das proteínas, eliminar fatores anti-nutricionais e atividades enzimáticas indesejáveis, e em alguns casos, reduz a rancidez oxidativa, devido ao poder antioxidante de alguns intermediários das reações do tipo Maillard.

Segundo Miller (1985), a temperatura e a umidade do material a ser extrudado são os parâmetros de maior importância na extrusão, pois influenciam na reologia do material durante o processo e nas reações e transformações que ocorrem para obtenção do produto final. A umidade é o parâmetro operacional mais importante no processo de extrusão e a Figura 8 demonstra que o aumento da umidade provoca produtos com uma menor expansão (ASCHERI; CARVALHO, 2008). Outros parâmetros influenciam o processo em escala secundária como: composição do alimento, tamanho das partículas, velocidade e configuração do parafuso, configuração da matriz e pressão (VILELA, 1989; YACU, 1990). A manipulação dos parâmetros de extrusão possibilita obter produtos com diferentes valores de umidade, grau de expansão, cor, gosto, aroma, textura, grau de cozimento e outros (YACU, 1990). A velocidade de alimentação, diâmetros da matriz, tempo e temperatura de secagem do material são também citadas como tendo influência no produto extrudado (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

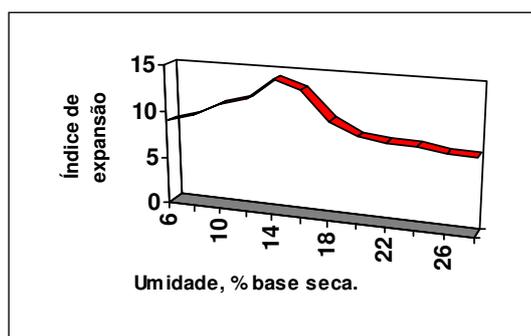


Figura 8: Efeito da Umidade de processamento no índice de expansão. Fonte (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

O princípio de funcionamento da extrusora é bastante simples e consiste do transporte do material por um cilindro, de uma extremidade à outra, impulsionado por uma rosca ou parafuso sem fim que carrega a massa em direção à extremidade final. Essa extremidade é parcialmente fechada pela matriz, que impõem resistência ao escoamento. A interação entre a restrição na matriz e a força mecânica da rosca sobre a massa acarreta dois fenômenos mecânicos, que são cisalhamento e pressão (HARPER, 1992). Durante esse processo o

material se torna plástico e reestruturado com características físicas e geométricas pré-determinadas (CHEN et al., 1991; MERCIER et al., 1980)

A diversidade no formato das matrizes possibilita a obtenção de produtos estruturados das mais diversas formas como fios, parafusos, cilindros, esferas, escamas, conchas e etc (ALVIM, 2001). A produtividade do processo de extrusão é dependente da vazão volumétrica da matriz e é função da geometria da matriz e reologia da matéria-prima sob processo (MILLER; MULVANEY, 2000).

O cilindro é composto por seções encamisadas e por uma ou duas roscas sem fim, respectivamente chamadas de rosca simples ou dupla. A Figura 9 mostra o desenho esquemático de uma extrusora de rosca simples. O encamisamento é importante para permitir a modificação da temperatura ao longo do comprimento do cilindro. As seções são aquecidas por vapor, água quente ou óleo térmico. Podem ser resfriadas por água ou outro meio de resfriamento (HAUCK; HUBER, 1989).

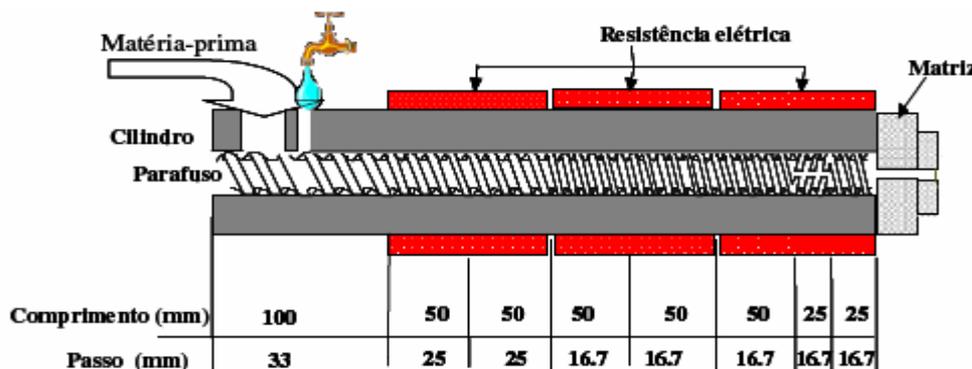


Figura 9: O desenho esquemático de uma extrusora de rosca simples.

O cilindro possui três zonas: alimentação, compactação e reológica. A alimentação recebe e transporta a massa para as zonas seguintes. (HARPER, 1992; HAUCK; HUBER, 1989) e deve ser contínua para manter a homogeneidade do processo (VILLELA, 1989; YACU, 1990). Na zona de compactação o material começa a receber um aumento de compressão e grande parte da energia mecânica é dissipada. Isto acarreta em um rápido aumento de temperatura e a transformação da massa da forma granular para uma forma plástica contínua. É na terceira zona que ocorre a texturização ou amorfização da estrutura do produto. Esta é a região onde a configuração da compressão da rosca é máxima. Isto geralmente implica em um aumento de temperatura e pressão devido o incremento da taxa de cisalhamento. A temperatura, pressão, e viscosidade obtida nessa região é o que determina as características finais do produto como textura, densidade, cor e propriedades funcionais (HARPER, 1992; HAUCK; HUBER, 1989).

Extrusoras de rosca simples podem ser comparadas a bombas de fricção. A eficiência mecânica é reduzida sendo que grande parte da potência empregada no processo é dissipada como calor (ZUILICHEM et al., 1982). A única força que mantém o movimento no sentido da alimentação à matriz é a fricção contra a superfície do cilindro. Este fato limita as formulações que podem ser produzidas num equipamento deste tipo. Composições com elevado teor de umidade e gordura possivelmente serão de difícil maquinabilidade num sistema de rosca simples. Uma forma de tornar o sistema mais eficiente é utilizar um cilindro com ranhuras e parafusos com cortes nos desenho das hélices. Também aumentar a pressão na região final do cilindro pode melhorar a performance da mistura (HARPER, 1992; SHARMA et al., 2000).

O deslocamento da massa em extrusoras de rosca simples é mais influenciado pela pressão devido vazamento de matéria-prima pelas hélices da rosca, no sentido contrário ao deslocamento relativo da rosca. Sendo assim, dois escoamentos ocorrem no interior do cilindro de extrusão de rosca simples: o escoamento de arraste e o que ocorre devido à pressão. O escoamento de arraste pode ser explicado mediante análise do movimento relativo entre rosca e cilindro. O movimento da rosca cria um deslocamento do produto no sentido tangente à parede do cilindro. Este deslocamento implica na aderência do produto às superfícies do cilindro. As hélices da rosca redirecionam esse movimento ao passo que o produto nas proximidades da superfície do cilindro sofre cisalhamento enquanto que o próximo a rosca se move com ela. Isto resulta em um perfil de velocidade, com média entre tais extremos (superfícies do cilindro e parafuso) (KELLEY; WALKER, 2000; RIAZ, 2001). O escoamento da pressão no sentido inverso é causado pela elevação da pressão na região final do cilindro devido à matriz ser de pequeno calibre em relação ao diâmetro do cilindro (HARPER, 1992).

Extrusoras de dupla rosca podem apresentar várias configurações. Podem ter a rotação dos parafusos no mesmo sentido ou em sentidos opostos. Roscas de sentidos opostos geralmente atuam como uma bomba de deslocamento positivo devido à câmara em forma de C entre os dois parafusos que se forma desde a alimentação e se move até o final do cilindro. Isto impede que o material escape de um parafuso para o outro. A consequência é a otimização do fluxo do escoamento devido reduzir a extensão da mistura e diminuir o tempo de residência do material no cilindro (HARPER, 1992). No caso de parafusos co-rotacionais, não há formação de câmaras fechadas e as trajetória combinadas dos parafusos produzem passagens que permitem que o material se mova de um parafuso para o outro. Portanto, este tipo de rosca dupla forma câmaras abertas axialmente que possibilitam que o material se mova longitudinalmente na máquina. Não ocorrem pontos localizados de pressão e pequenos espaços vazios entre os parafusos tornam possível que eles tenham a capacidade de se auto-limparem. Este sistema é considerado mais útil para o processamento de alimentos podendo fornecer uma variedade de produtos. Graças a uma boa habilidade de mistura, alta velocidade de parafuso e boa vazão esse desenho de rosca dupla se tornou uma escolha popular para as indústrias de “snacks” e cereais matinais (SHARMA et al., 2000).

Do ponto de vista químico durante o processo de extrusão termoplástica o material amiláceo sofre desordenação molecular e perda de cristalinidade (CARVALHO, 2000). Os grânulos de amido absorvem água, incham e gelatinizam-se. A estrutura granular é rompida dando lugar a uma massa viscosa e plástica (MERCIER, et al. 1980).

O processo de extrusão para produção de alimentos expandidos pode ser feito para produção de expandidos diretos chamados de “snacks” ou para produção de produtos de terceira geração ou intermediários chamados de pellets (ASCHERI; CARVALHO, 2008). Segundo Huang, 1998 cereais matinais tipo flocos também podem ser feitos pelo processo de extrusão além da forma tradicional em com a laminação e gelatinização em grandes cilindros.

A obtenção de produtos extrudados expandidos diretos é feita por submeter à matéria-prima a um rigoroso tratamento termomecânico, sob alta pressão, intenso esforço de corte ou cisalhamento com teores de umidade reduzidos (14-17%) (ASCHERI et al., 2003) e alta temperatura (>100°C). Os produtos resultantes caracterizam-se por apresentar alta porosidade devido a grande expansão, os quais após secagem apresentam-se com textura crocante (CARVALHO et al., 2003). Podem ser aromatizados. Geralmente o aroma e o sabor são fixados por meio de veículo lipídico (CAPRILES; ARÊAS, 2005).

“Snacks” de terceira geração ou pellets são preparados pela mistura de ingredientes secos, acondicionados a determinada temperatura e cozidos em forma de uma pasta, através do processo de extrusão, formatados, cortados em peças homogêneas e submetidas a secagem. O produto resultante, de vida de prateleira estável, pode ser expandido e estocado. A expansão

do produto pode ser feito, pelo processador comercial, através de fritura, ar quente ou em forno de microondas, seguido da aplicação de sal e temperos e aromas e subsequente embalagem para distribuição. Como alternativa deste produto intermediário, é que pode ser comercializado para seu consumo imediato. A faixa de umidade do processo é de 25 – 35% sob temperaturas de extrusão reduzidas em torno de 70°C. A temperatura de fritura é elevada em torno de 180 °C. O comprimento do canhão deve ser extenso (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

Cereais matinais prontos para consumo (RTE - *ready-to-eat*) são definidos como formulações de grãos processadas adequadamente para consumo humano sem cozimento posterior (CELIS, ROONEY; McDONOUGH, 1996). Podem ser feitos por extrusão ou pelo método tradicional. O método tradicional consiste num processamento em batelada onde os “grits”, misturados aos demais ingredientes, são cozidos com a finalidade de gelatinizar o amido e tornar os grits macios. A umidade neste ponto esta em torno de 34%. O passo posterior é a secagem em um secador continuo ate atingir uma umidade de cerca de 21%. Como a umidade entre os “grits” não se apresenta uniforme deve ocorrer a etapa de têmpera. As etapas seguintes são laminação e torragem. No caso dos produtos extrudados existe a possibilidade de serem processados na forma de pellets seguidos de laminação e torragem para obtenção de produtos tipo flocos (*flake*) ou podem ser expandidos. No caso dos flocos a metodologia da extrusão traz uma serie de vantagens tecnológicas em relação a tradicional. As mais relevantes são:

- (1) Redução de necessidade de mão-de-obra para controle do processamento;
- (2) Diminuição de necessidade de espaço de processamento e de equipamentos – o método tradicional requer mais maquinário incluindo múltiplos cozedores, secadores e múltiplos escaninhos de têmpera.
- (3) Redução do tempo operacional. O método tradicional de produção leva cerca de oito horas enquanto todo processo feito por extrusão leva menos de meia hora.
- (4) Vantagem de utilização de matéria-prima de mais baixo custo como fubá e particulados finos, enquanto que, o processo tradicional exige o uso de “grits” (HUANG, 1998).

Tem-se relatado que o cisalhamento e a umidade afetam a qualidade do cereais matinais extrudados. Elevadas umidades e baixo cisalhamentos produzem produtos macios enquanto que umidades reduzidas e elevados cisalhamentos no cozimento fraturam os grãos de amido resultando em produtos que absorvem umidade rapidamente, tornando-se encharcados e com uma sensação pegajosa na boca bem como um sabor residual (*flavor*) não próprio (ROKEY, 1995).

Levine (1993) postulou que o trabalho feito pelos rolos de laminação é mais influenciado pela viscosidade do produto do que pelo diâmetro do rolo, velocidade ou espaço entre rolos (*gap*). Portanto, a extrusão tem papel primordial na reologia do produto, uma vez ser responsável pela viscosidade. Acerca da influência da laminação, Levine (2004) reportou que severas condições de laminação podem expelir a maior parte do ar aprisionado na estrutura resultando em poucos sítios de nucleação. Isto resulta, no caso dos flocos, em um cereal com poucas e grandes bolhas.

Processos industriais contínuos envolvem a etapa de secagem para obtenção das propriedades físicas necessárias para as etapas subsequentes como laminação, expansão (*puffing*), torragem e embalagem. As etapas de secagem ocorrem entre as etapas de processamento. Por exemplo, a laminação dos “pellets” é feita a umidades em torno de 18-22% em base seca enquanto que a expansão em forno ocorre em umidades de 9-11% em base seca (ROETENBERG, 1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

As matérias-primas utilizadas foram fubá de milho comercializado pela Gem e Fruto-oligossacarídeos – marca Nutraflora® doados gentilmente pela “Corn Products”. As características das matérias primas encontram-se nos quadros 2 e 3 sucessivamente.

Quadro 2 - Especificações de fubá comercial

	Composição
Umidade	11,10
Cinzas	1,81
Extrato etéreo	5,47
Proteína	6,72
Fibra bruta	1,28
Carboidratos/fibra	73,62

Fonte: ASCHERI; CARVALHO, 2006

Quadro 3 - Especificações de fruto-oligossacarídeo comercial

	Composição
Sólidos %	95
Umidade %	5
Composição base seca%	
- Fibra Alimentar	95
1-kestose(GF ₂)	35
Nistose(GF ₃)	50
1-frutofuranosil nistose(GF ₄)	10
- Carboidratos (Glucose+Frutose+Sacarose)	5
Minerais, %	<0,10
Proteínas, vitaminas e gorduras	sem significância nutricional
Valor calórico, kcal/100g	150

Fonte: FRANÇOLIN, 2007

3.2 Métodos

3.2.1 Delineamento experimental

Dentre os vários métodos de otimização dos processos de extrusão optou-se neste trabalho a utilização da Metodologia de Superfície de Resposta (ou RSM, de Response Surface Methodology) (BARROS NETO et al., 1995). Propõem-se, portanto, um experimento estatisticamente delineado em “MSR” do tipo central fatorial completo de 3^a ordem. As variáveis independentes estudadas foram estabelecidas em níveis codificados – α , -1, 0, +1, + α . O valor de α neste caso é igual a 1,68. Utilizando o delineamento fatorial completo teremos um total de 20 ensaios sendo 6 destes repetições do ponto central.

A Tabela 3 mostra os níveis codificados das três variáveis analisadas no estudo (X_1 = Temperatura; X_2 = Umidade; X_3 = Teor de Frutoligossacárideo). A Tabela 4 mostra a planilha transformada do desenho experimental indicando os valores reais de temperatura, umidade e teor de FOS para cada um dos respectivos tratamentos.

Tabela 3. Níveis codificados das variáveis independentes do experimento

Variáveis	Níveis				
	- $\alpha = 1,6817$	-1	0	+1	+ $\alpha = 1,6817$
X ₁ (Temperatura)	59,99	68,10	80,00	91,90	100,01
X ₂ (umidade)	24,95	27,00	30,00	33,00	35,05
X ₃ (teor F.O.S)	0,05	2,00	5,00	8,00	10,05

Tabela 4: Transformada das variáveis independentes.

Tratamento	Temperatura	Umidade	% FOS
	X1	X2	X3
1	68,1	27	2
2	68,1	27	8
3	68,1	33	2
4	68,1	33	8
5	91,9	27	2
6	91,9	27	8
7	91,9	33	2
8	91,9	33	8
9	60,0	30	5
10	100,0	30	5
11	80,0	24	5
12	80,0	35	5
13	80,0	30	0,0
14	80,0	30	10,0
15	80,0	30	5
16	80,0	30	5
17	80,0	30	5
18	80,0	30	5
19	80,0	30	5
20	80,0	30	5

3.2.2 Preparo e condicionamento das amostras:

Devido o FOS ser um material muito higroscópico as amostras foram preparadas imediatamente antes da extrusão. A quantidade de frutoligossacarídeo utilizada em cada tratamento pode ser verificada na Tabela 4 do item 3.2.1. As formulações também contem 0,8% de cloreto de sódio e 4,0% de sacarose. Todos os itens da formulação, exceto o fubá, foram pesados em Becker e em seguida a quantidade de água própria para atingir a umidade desejada para cada amostra foi adicionado produzindo-se uma solução. O teor de umidade delineado para cada tratamento pode ser verificado na Tabela 4 do item 3.2.1. Essa solução foi adicionada ao fubá já pesado em sacaria imediatamente antes de ser iniciado o processo de extrusão de cada amostra e fez-se a homogeneização.

3.2.3 Parâmetros de extrusão do cereal matinal:

Os parâmetros utilizados no processo de extrusão foram: taxa de alimentação (20 rpm), parafuso com taxa de compressão (3:1), velocidade de rotação de parafuso (120 rpm), diâmetro da matriz laminar (1 mm), temperatura na zona 2 fixa em 90°C; enquanto as

temperaturas utilizadas na zona 3 foram aquelas definidas para cada tratamento, de acordo com o planejamento experimental disposto em Tabela 4 da seção 3.3.1.

3.2.4 Desenvolvimento de cereal matinal

As amostras como descritos no item 3.2.2 foram preparados por extrusão termoplástica em uma Extrusora Brabender 20 DN (Duisburg, Alemanha) de parafuso simples, de acordo com as condições de contorno do planejamento experimental apresentado na Tabela 4. Após a extrusão as fitas de extrudado foram levadas a laminação em um sistema de cilindro duplo. Foram cortadas manualmente em retângulos de 1,0 cm de largura. Foi assado sendo disposto em camada simples em uma bandeja vazada contendo 50 g de produto e assado por aproximadamente 2 minutos \pm 10 segundos em estufa com temperatura de 230°C. O processo pode ser visualizado na Figura 10. O equipamento de extrusão pode ser visto na Figura 11 e o utilizado na laminação na Figura 12. As imagens dos materiais obtidos em cada tratamento podem ser vistos no Anexo B.

3.2.5 Preparo de amostras para análises:

As análises de densidade absoluta e relativa utilizaram cereais matinais inteiros crus ou assados. As análises de textura foram realizadas com cereais matinais inteiros assados. As demais análises foram realizadas com cereais matinais assados moídos em moinho Perten modelo 3600 (Uddinge, Sweden). A granulometria da farinha do produto pronto assado foi determinada utilizando um separador granulométrico marca Rotap W. S. Tyler RX 29-10 (Mentor, EUA), com jogo de tamizes previamente definido para cada tipo de mescla. O tempo de agitação de 10 min. dos tamizes foi mantido igual para todas as mesclas. (RAMIREZ; WANDERLEY, 1997). A fração de granulometria retida na peneira de 106 μ m foi separada para análises de ISA e IAA e RVA. A mescla de menor e maior granulometria foi novamente homogeneizada sendo 10 g separadas para análise de cromatografia e o restante para análises físico-químicas e de estabilidade microbiológica.

3.2.6 Determinação de composição centesimal:

As análises de composição centesimal, à exceção da determinação de fibra bruta, foram todas realizadas seguindo os métodos oficiais da AOAC (2007), sendo realizadas em triplicata, quanto ao teor de: umidade pelo método de secagem em estufa a 105°C, proteínas pelo método de Kjeldahl; lipídeos pelo método de Soxhlet; cinzas pelo método de via seca e carboidratos totais por diferença. A análise de fibra bruta foi realizada pelo método descrito por Silva (1990). A análise de açúcares simples e de FOS foi feita de acordo com o tópico

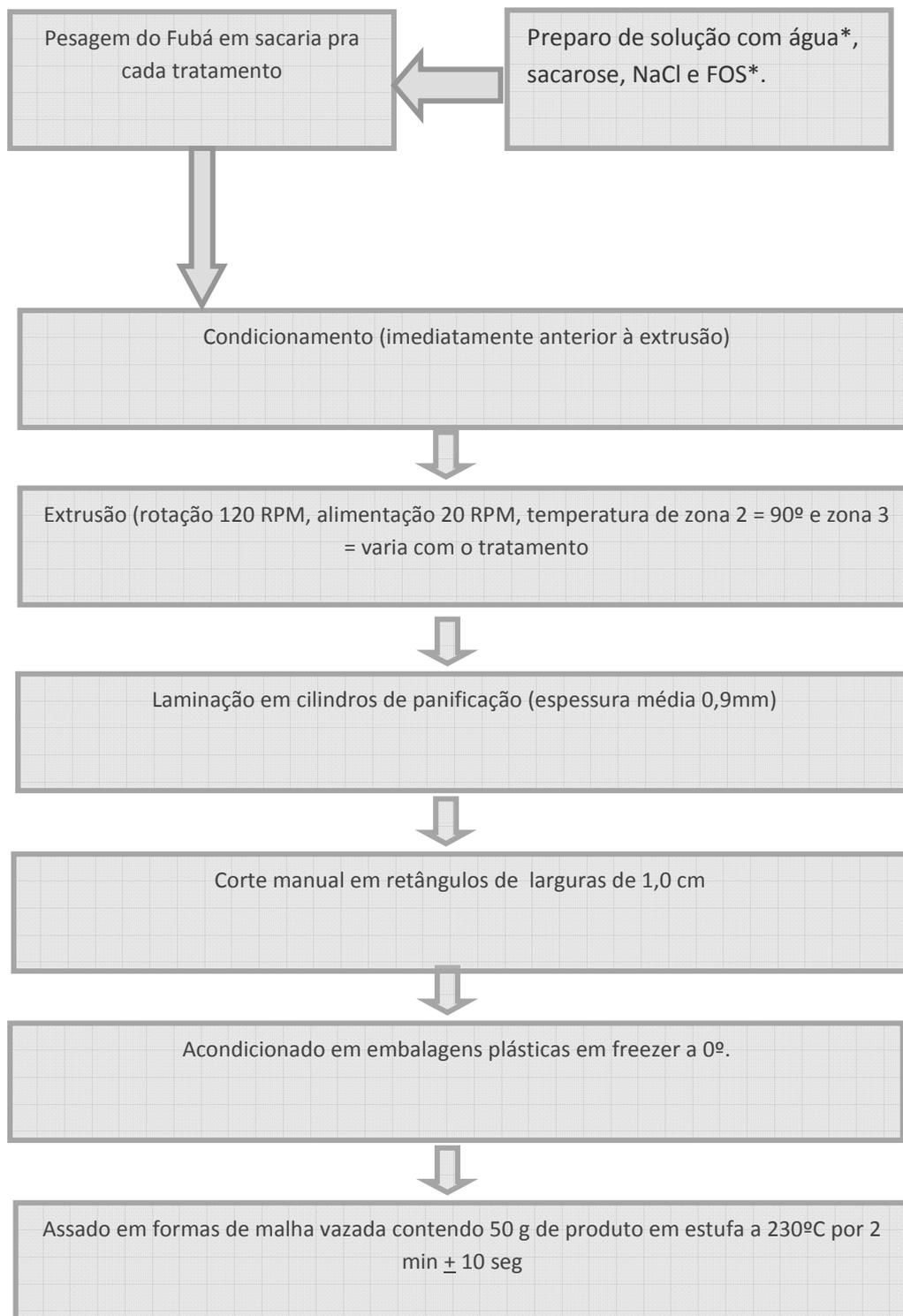


Figura 10: Fluxograma de processamento de extrudado de cereal matinal. * Teores de acordo com as condições de contorno do planejamento experimental apresentado na Tabela 4.



Figura 11: Processo de extrusão



Figura 12: Processo de laminação

3.2.7 Avaliação de teor de frutanos após processamento:

Os carboidratos 1-kestose e nistose foram determinados por CLAE para avaliação de teor de frutanos após processamento. O método seguido foi o descrito por Macrae (1998) com alterações. O sistema cromatográfico utilizado para avaliação de teor final de frutanos foi determinado por análise de açúcares e é visualizado na Figura 13. O fluxograma do preparo da amostra pode ser visto na Figura 14. A coluna utilizada foi uma coluna amino de fase reversa ZORBAX CARBOHYDRATE 4,6x 250 mm e diâmetro de 5 μ m. A fase móvel utilizada foi acetonitrila 65% e a temperatura da coluna 41°C. A vazão da fase móvel foi de 1,4 ml/min. A injeção foi feita em cromatográfico líquido modelo Waters Alliance – 2695 (Milford - EUA) equipado com fornos para colunas. A coluna foi condicionada com a fase móvel até estabilização da linha de base. O volume de injeção foi de 20 μ l e o tempo de corrida de 15 min. O detector utilizado foi o de índice de refração Waters 2410 (Milford - EUA) com sensibilidade 4 e fator de escala 8. A temperatura interna do detector foi de 45°C e do injetor de 10°C. Os registros e integração dos picos foram realizados no software EMPOWER. Os cromatogramas obtidos podem ser vistos no Anexo F sendo o Anexo F.1 destinado aos cromatogramas de kestose e nistose.

3.2.8 Avaliação de taxa de ingestão de açúcares (complexos/açúcares simples)/ adição de FOS

O objetivo de determinar o teor de açúcares simples foi para verificar a ocorrência de degradação das unidades de frutose dos FOS gerando sacarose e frutose e subsequente degradação de sacarose em glicose e frutose durante o processamento. Além disso foi determinar os açúcares simples para verificar a relação entre a taxa de açúcares complexos/açúcares simples em relação ao teor adicionado de fruto-oligossacarídeos procedendo a curva de taxa *versus* adição de FOS nos tratamentos de 0% de adição (T₁₃), 10% de adição (T₁₄) e 5% de adição (médias dos PCs). A análise cromatográfica foi realizada da mesma forma que a vista no tópico 3.2.7 Os cromatogramas obtidos podem ser vistos no Anexo F.2 para sacarose, glicose e frutose e Anexo F.1 destinado aos cromatogramas de kestose e nistose. Os cálculos estatísticos se houve diferença de significativa entre as amostras encontram-se no Anexo G.



Figura 13: Sistema cromatográfico utilizado para avaliação de perda de frutanos durante processo por análise de açúcares.

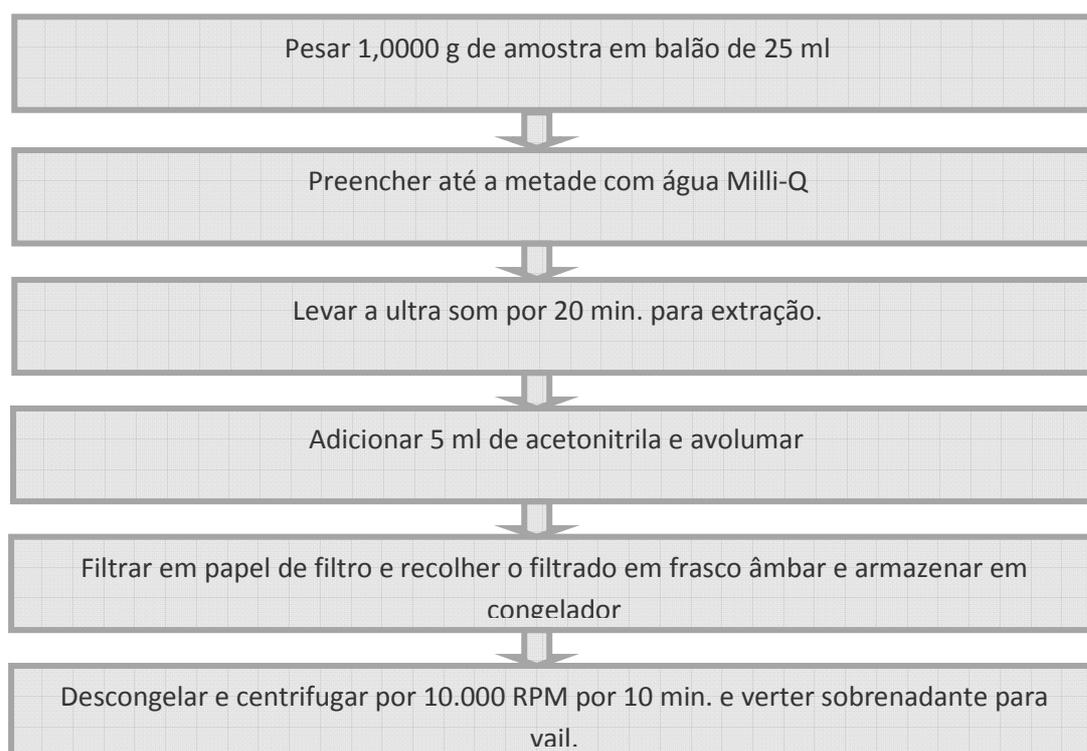


Figura 14: Fluxograma de preparo de amostra para análise de avaliação de teor de frutanos pós processamento por cromatografia líquida.

3.2.9 Avaliação microbiológica:

O produto foi avaliado quanto aos padrões da ANVISA (RDC nº 12 de 2001) que estabelece para cereais matinais, extrudados o limite de: Coliformes a 45°C/g – máximo 1. A análise utilizada foi de número mais provável NMP (MEHLMAN; ANDREWS, 1978). A análise de bolores e leveduras foi também realizada pois é uma parâmetro de qualidade tendo relação com a vida de prateleira do produto. O método para análise de bolores e leveduras

utilizado foi o plaqueamento em Agar batata dextrose acidificado com ácido tartárico incubados em estufa por 5 dias a 25°C de acordo com a *American Public Health Association* (1992). A amostra utilizada para a análise foi a replicata do ponto central T₁₈.

3.2.10 Determinação de viscosidade de pasta por RVA:

Para determinação da viscosidade de pasta (VP) utilizou-se o Analisador Rápido de Viscosidade da Newport Scientific (NSW - Australia), seguindo basicamente a metodologia de materiais extrudados do seu manual. O desenho esquemático do equipamento pode ser visto na Figura 15. Segundo Becker et al. (2001) diferenças no tamanho de partículas entre amostras podem ocasionar má interpretação dos resultados. Faz-se necessário que o material seja peneirado obtendo-se partículas entre 106 e 212 µm aproximadamente. Para preparo da amostra foram utilizados 3 g do material com umidade corrigida para 14%, em base úmida, adicionados de água destilada até atingir o peso final de 28 g. A quantidade de amostra colocada no porta amostra do RVA deve ser suficiente para gerar um sinal claro e bem definido. Na interpretação dos viscoamilogramas foram considerados os seguintes parâmetros:

- a) Viscosidade inicial da pasta a 25°C (V_{frio}) = valor máximo de viscosidade (em cP) no início do ciclo de aquecimento, que depende (principalmente) do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da magnitude da sua quebra molecular durante o processo de extrusão.
 - b) Viscosidade máxima (V_{max}) = valor da viscosidade (em cP) no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento.
 - d) “Breakdown” = Após o pico de viscosidade máxima a 95°C ocorre um intervalo de constante temperatura a 95°C e cisalhamento mecânico. Neste período onde ocorre a ruptura dos grânulos e dissolução de moléculas de amilose acarretando na diminuição da viscosidade. O breakdown é calculado como a diferença entre a V_{max} e a V_{min} .
 - e) Viscosidade mínima (V_{min}) = O menor valor obtido de viscosidade após a V_{Max} e antecede o início da retrogradação gerando aumento de viscosidade.
 - f) “Setback” = À medida que a suspensão é resfriada, as moléculas de amido, e mais especificamente de amilose, se re-associam em maior ou menor extensão. Ocorre formação de gel acarretando em aumento de viscosidade até a V_{final} . O setback é calculado como a diferença entre a V_{min} e a V_{final} . É relacionado ao fenômeno da retrogradação.
 - g) V_{final} a 25°C = é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25°C);
- Os gráficos para análise de cozimento obtidos por análise de RVA podem ser vistos no Anexo C.



Figura 15: Desenho esquemático do RVA (Analisador Rápido de Viscosidade).

3.2.11 Densidade aparente por compactação (“apparent density”):

A densidade aparente por compactação foi medida utilizando a semente painço português para determinação de volume em proveta graduada. A análise foi realizada medindo-se aproximadamente 20,00 gramas de cada amostra em proveta graduada de 500,0 ml. A semente medida também em proveta graduada de 250,0 ml foi vertida na proveta contendo a amostra. Os espaços vazios foram eliminados com 40 batimentos da proveta contra a bancada. A leitura de diferença de volume foi tomada como volume da amostra. A análise foi realizada para cada código de amostra em triplicata. O valor de DA foi obtido pela simples divisão da massa pesada de amostra pelo valor de volume lido em proveta. As diferenças entre os volumes relacionados às densidades aparentes e absolutas podem ser vistas na Figura 17. A imagem (B) é relacionada à densidade aparente. Demonstra que o volume aparente está relacionado ao volume do sólido incluindo os poros fechados, ou no caso, de menor calibre que a semente utilizada para deslocamento.

3.2.12 Densidade absoluta:

A densidade absoluta foi obtida por picnometria à gás Hélio em um picnômetro AccuPyc II1340 (Micromeritics, Norcross, EUA). As medidas foram feitas em duplicata das amostras cruas e assadas de cada código de amostra. O equipamento acoplado a um microcomputador para análise dos dados pode ser visto na Figura 16. As diferenças entre os volumes relacionados às densidades aparentes e absolutas podem ser vistos na Figura 17. A densidade absoluta referente a divisão da massa do material pelo volume absoluto que, conforme demonstrado na imagem (C), inclui o volume real do material excluindo os poros abertos e fechados.



Figura 16: Picnômetro Micromeritics modelo AccuPyc II1340 para análise de densidade absoluta

3.2.13 Dureza e crocância

Os parâmetros dureza e crocância dos cereais matinais foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Chaunier et al. (2005) com modificações. Foram feitas seis repetições para cada código de amostra sendo a curva média tomada como resultado. Foi utilizado um texturômetro Analyser modelo TAXT Plus (Godalming – Surrey, Inglaterra) com célula de carga de 25 kg com acessório de compressão cilíndrico de 50 mm de diâmetro. A distância percorrida pelo acessório foi de 15 mm marcados a 30 mm da base do cilindro, a velocidade

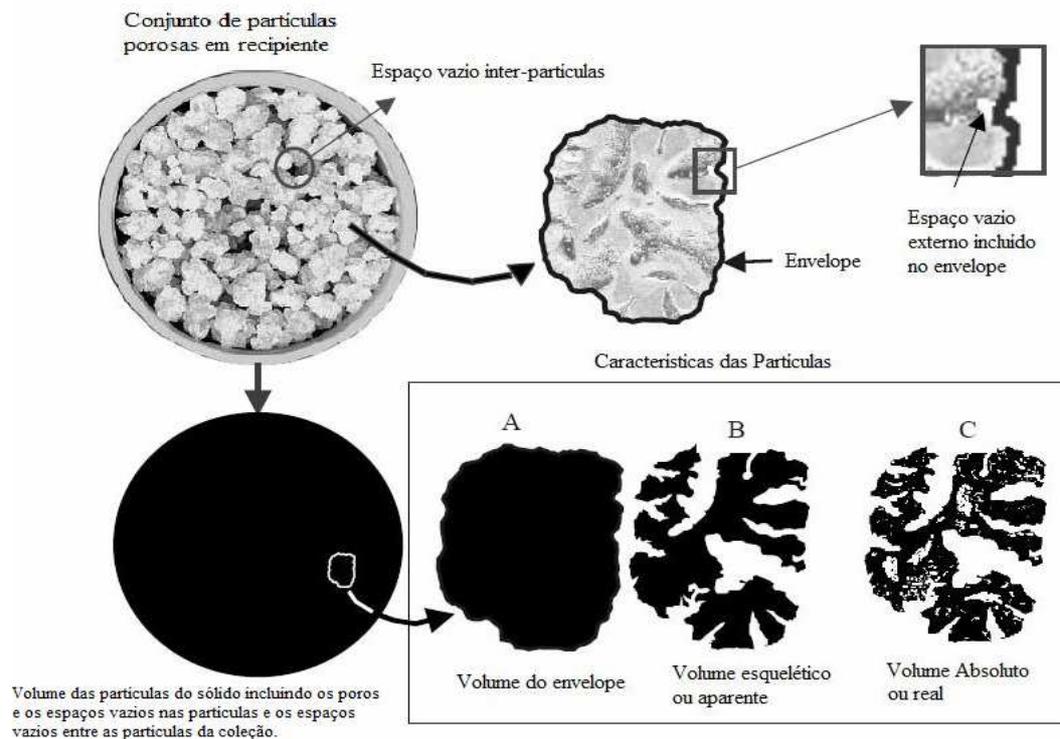


Figura 17: Esquema de diferenciação de volumes referentes às análises de densidade aparente e absoluta.

de teste de 2 mm/s e a pós-teste de 10 mm/s. Foram utilizados no teste apenas cereais matinais inteiros. Isto é relevante pois conforme Anton e Luciano (2007) o tamanho entre as replicatas da amostra deve ser bem definido e uniforme, pois caso contrário a reprodutibilidade será comprometida.

O número de picos da curva média entre as seis replicatas foi considerado indicativo de crocância enquanto que a força máxima foi contada como dureza. O equipamento pode ser visualizado na Figura 18. As curvas médias obtidas na análise de dureza e crocância podem ser vistos no Anexo D.

3.2.14 Tempo de tigela (perda de consistência)

Este é definido como o tempo que o cereal pode reter a crocância depois de ser embebido em leite (PUPPALA, 1998). Para esse estudo foi utilizado como líquido de imersão leite integral UHT na temperatura de 10 °C. O leite foi mantido a 10°C em banho de gelo com temperatura controlada. Três replicatas do ponto central (T_{15} , T_{17} e T_{18}) foram dispostas em leite por um minuto. Após decorrido o tempo de imersão o leite foi escoado e o material foi disposto no cilindro porta amostra do aparelho. Procedeu-se a análise como descrito no item 3.2.13. Também foi realizado a análise para uma marca comercial. A comparação entre o número de picos médio para cada tratamento obtido no item 3.2.13 e o número médio observado no produto após imersão em leite por 1 min. foi tomado como perda de crocância. A comparação entre as forças máximas antes e após imersão são tomadas como perda de consistência. As curvas médias obtidas na análise de perda de consistência podem ser vistas no Anexo D. As análise de significância entre os diferentes resultados obtidos são dispostas em Anexo E.



Figura 18: Texturômetro Analyser modelo XT.RA acoplado a microcomputador para análise de dados.

3.2.15 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) (RAMIREZ & WANDERLEY, 1997):

A determinação do IAA e do ISA foi realizada de acordo com a metodologia proposta por ANDERSON *et al* (1969), modificando-se o tempo de centrifugação para 30 min. e a rotação para 4500 RPM devido a dificuldade de centrifugação do material. O princípio básico do método é medir a capacidade de absorção de água e solubilidade do material após processamento medindo o peso adquirido do material após centrifugação no caso do índice de absorção de água (IAA) e do peso do sobrenadante do centrifugado que é vertido em placa e desidratado com peso final determinado (ISA). Os índices são obtidos pelas equações 1 e 2.

$$IAA = \frac{\text{Peso.do.precipitado.retido.no.fundo.do.tubo.da.centrifuga}}{\text{peso.sec.o.original.da.amostra} - \text{peso.do.desidratado}}$$

$$ISA = \left(\frac{\text{Peso.do.desidratado.presente.no.sobrenadante}}{\text{peso.original.da.amostra}} \right) * 100$$

3.2.16 Determinação de vazão de Processo:

A vazão obtida durante o processamento foi mensurada medindo-se o peso do material extrudado obtido durante 30 segundos de processo. Este procedimento foi realizado no início, meio e fim de cada processamento. O peso médio das três coletas de cada processamento dividido pelo tempo cronometrado da coleta foi convertido para unidade de Kg/h e dado como resultado de vazão do processo.

3.2.17 Análise estatística:

O processamento dos dados e a análise estatística, exceto para os itens 3.2.8 e 3.2.14 foi elaborado com auxílio do programa STATISTICA 6.0. O limite de corte para o R^2 foi de 70%. O item 3.2.8 foi analisado por análise de regressão e ANOVA em programa Bioestat 3.0 e o item 3.2.14 foi analisado por teste t também em programa Bioestat 3.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste ponto será feita uma breve introdução aos testes utilizados no experimento no intuito evidenciar a relevância das caracterizações realizadas. A Tabela 5 traz um resumo dos resultados almejados para parâmetros tecnológicos em relação a adição de FOS. Os diferentes resultados do presente trabalho são apresentados segundo as caracterizações:

Composição centesimal – Descreve comparativamente o teor de proteínas, carboidratos diferenciando açúcares, frutanos (fibras solúveis) e demais carboidratos (amiláceos e dextrinas), lipídeos, cinzas e umidade do extrudado. Torna possível a avaliação nutricional do produto em relação aos demais reportados em literatura;

O teor final de FOS – Neste item levantamos a importância de avaliações de perda no desenvolvimento de produtos enriquecidos.

Índice de ingesta de açúcares complexos (posto que são carboidratos não digeríveis) por ingestão de açúcares simples em relação ao teor de FOS adicionado – Este estudo teve por objetivo analisar se a adição de FOS é efetiva em aumentar a relação de ingesta de açúcares complexos/açúcares simples haja vista que os hábitos alimentares tem sido no sentido da diminuição deste índice fato este que está relacionado com uma série de patologias.

Avaliação microbiológica – Obviamente relevante por demonstrar se os parâmetros de processamento são capazes de produzir um alimento seguro do ponto de vista microbiológico.

Avaliação de Viscosidade de Pasta - Relevante para testes de qualidade de processo. Avalia grau de modificação de amido. Pode auxiliar na previsão de tendência a retrogradação “setback” e de capacidade do material de suportar esforço mecânico “breakdown”;

Avaliação de textura – Um dos mais importantes parâmetros de qualidade de produtos matinais. Aqui analisaremos através de testes mecânicos empíricos os atributos dureza e crocância;

Tempo de tigela – Avalia a perda de textura característica quando o produto é embebido no líquido de imersão. É extremamente relevante para cereais matinais devido ser a forma como o produto é geralmente consumido.

Densidade aparente e absoluta – A literatura apresenta relação inversa entre densidade e expansão do produto por isso a relevância do estudo. Produtos muito densos são de textura mais dura devido a não apresentarem uma microestrutura porosa característica. Tem de ser otimizada para fins industriais devido estarem relacionadas ao tamanho de embalagens.

IAA e ISA – Estes índices avaliam as modificações ocorridas no grânulo do material em estudo durante o processo de gelatinização e cisalhamento. São relevantes ao trabalho, pois valores elevados IAA provocam produtos que rapidamente se encharcaram e se tornaram amolecidos e pegajosos quando imersos em líquido. Característica desagradável do ponto de vista sensorial. Altos valores de ISA também estão relacionados ao decréscimo do tempo de tigela.

Determinação de vazão de processo – A relevância é trazer dados que otimizem uma produção industrial, a qual está relacionada ao tipo de matéria prima que flui na extrusora e às condições de processamento.

Tabela 5: Resumo dos resultados almejados para parâmetros tecnológicos em relação a adição de FOS

Viscosidade de pasta	Textura	Tempo de tigela	Densidade aparente e absoluta	IAA	ISA
Espera-se baixo cisalhamento (relação com resultados de ISA e Tempo de Tigela).	Aumento ou não influência na crocância; Diminuição ou não influência na dureza.	Aumento ou não influência.	Diminuição ou não influência.	Diminuição ou não influência.	Diminuição ou não influência.

4.1 Composição Centesimal de Extrudado Assado:

A composição centesimal para o produto no ponto central com 5% de FOS e nos extremos de 0% e 10% de FOS são descritos na Tabela 6. Os valores de umidade, proteína e gordura obtidos estão na faixa descrita por Chaunier (2004) para cereais de milho laminados.

O cereal matinal apresentou elevados valores de fibras solúveis. O T₁₉ pode ser rotulado como fonte de fibras e o T₁₄ como alto teor de fibras de acordo com a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998 da ANVISA. Entretanto, pode-se perceber que o cereal matinal apresentou baixos teores de fibra bruta. Isto sugere reduzidos teores de fibras da porção insolúvel principalmente a celulose (SILVA, 1990). Uma possibilidade de obtenção de um cereal matinal enriquecido também com fibras insolúveis poderia ser obtida substituindo uma fração da porção amilácea por farelo de milho. Deveriam ser levados em consideração os efeitos dos entraves tecnológicos no uso de fibras. (RONAI; AVUIAR; FATO, 1997). É sabido, por exemplo, que as fibras insolúveis podem aumentar a pegajosidade do material. Isso decorre da estrutura química das fibras possuem grandes quantidades de grupos hidroxilas e por isso absorverem muita água. (FONSECA FILHO, 1997). Este trabalho apenas se deteve a considerar os efeitos da adição de fibras solúveis em relação aos parâmetros de extrusão temperatura e umidade. Dessa forma o efeito do uso do FOS fica mais esclarecido. A partir do entendimento do efeito da adição de FOS na extrusão pode ser proposto um cereal enriquecido também com a porção insolúvel de fibras.

Tabela 6- Composição centesimal de amostras T₁₉ (Ponto central), T₁₃ (- α = menor teor de FOS) e T₁₄ (+ α = maior teor de FOS).

Teores	Código de amostra		
	T ₁₃ (g/100g)	T ₁₄ (g/100g)	T ₁₉ (g/100g)
Proteína	6,083	5,33	5,70
Carboidratos (exceto frutanos e aç. simples)	78,86	70,13	74,46
Açúcares simples	6,61	7,12	6,40
Gordura	0,87	0,74	0,83
Umidade	6,02	4,89	6,49
Fibra bruta	0,73	0,14	0,45
Cinzas	0,83	0,40	0,80
Fibras solúveis (frutanos)	0,00	10,64	4,86

4.2 Avaliação de Teor Final de FOS Após Processamento

Vários métodos têm sido propostos para análise de frutanos derivados da inulina. A maioria se baseia em hidrolises enzimáticas de frutanos com conversão a glicose e frutose e conseqüente determinação de açúcares (GOTO et al, 1995; HOEBREGS et al. 1995). Entretanto, devido estarmos trabalhando com uma complexa matriz amilácea onde houve não só adição de sacarose (que pode ser convertida a glicose e frutose durante o processo) bem como a eventual formação de açúcares devido a possibilidade de quebra do amido durante o processo optou-se por um método que medisse diretamente os oligômeros mediante o uso de padrões de kestose e nistose disponíveis comercialmente com grau de pureza para CLAE. Utilizou-se a metodologia utilizada para açúcares com algumas modificações conforme expresso no tópico 3.2.7.

Os resultados obtidos para os tratamentos encontram-se dispostos na Tabela 7. O método apresentou-se bastante eficiente resultando em cromatogramas de ótima resolução conforme dispostos em Anexo F. Não foi, portanto necessário o uso de agentes clarificantes conforme proposto por Moscatto et al. (2004) e Cabello (2005). De fato, as resoluções obtidas foram superiores a obtida no trabalho reportado por Cabello (2005) que incluía a etapa de clarificação. Exemplos de cromatogramas reportados por Cabello (2005) e do tratamento T₁₅ podem ser vistos na Figura 19 como ilustrativos da boa resolução obtida no presente trabalho. Os demais cromatogramas podem ser vistos no ANEXO F.

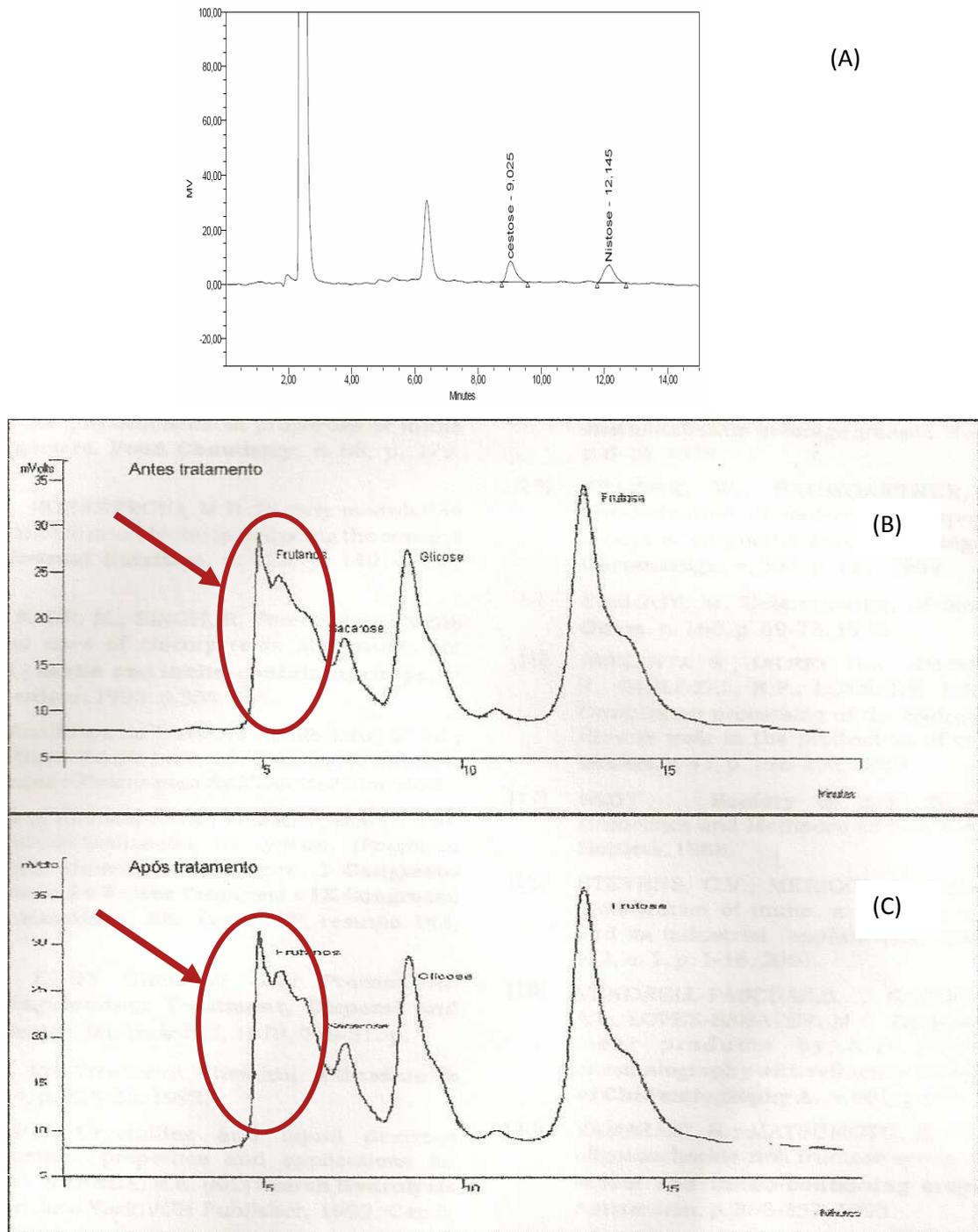


Figura 19: (A) Cromatograma do tratamento T₁₅; (B) Cromatograma reportado por Cabello (2005) antes do tratamento com clarificantes; (C) Cromatograma reportado por Cabello (2005) após tratamento com agentes clarificantes.

Tabela 7- Resultados da análise de teor de açúcares por cromatografia líquida para avaliação da perda de frutanos no processo.

Tratamento	Kestose (%)	Nistose (%)	Teor final de FOS (%)
T ₁	0,7375	0,9960	1,7335
T ₂	3,4590	4,6680	8,1270
T ₃	0,7445	0,9775	1,7220
T ₄	3,3880	4,8610	8,2490
T ₅	0,9060	1,3630	2,2690
T ₆	3,1435	4,5865	7,7300
T ₇	0,7275	1,1365	1,8640
T ₈	3,4490	4,6630	8,1120
T ₉	2,0015	3,3315	5,3330
T ₁₀	1,8025	2,6615	4,4640
T ₁₁	1,7405	2,9220	4,6625
T ₁₂	2,1330	3,0095	5,1425
T ₁₃	0,0000	0,0000	0,0000
T ₁₄	4,2010	6,4430	10,6440
T _{15(PC)}	2,0345	2,5920	4,6265
T _{16(PC)}	1,8590	2,8365	4,6955
T _{17(PC)}	1,8205	2,5240	4,3445
T _{18(PC)}	2,0500	2,8540	4,9040
T _{19(PC)}	2,0225	2,8375	4,8600
T _{20(PC)}	1,1565	2,0245	3,1810

A Tabela 8 traz os coeficientes de regressão do modelo para teor final de frutanos após processamento. O modelo apresentou elevado R² e por isso procedeu-se o cálculo da ANOVA conforme exposto no Anexo A.9 que validou o modelo como preditivo. Devido só haver interação significativa da variável dependente adição de FOS o gráfico foi feito por regressão dos dados no programa Estatística 6.0 opção “Scatterplots” para tipo de gráfico Regular e ajuste linear. A equação para os coeficientes codificados esta de acordo com a Tabela 8, enquanto que, a de valores reais foi obtida pela regressão linear da reta obtida na Figura 18. O R² da regressão linear foi de 0,9672. Ambas as equações estão expostas a seguir:

$$Y = 3,114068 x_3 + 4,438523 \text{ (valores codificados)}$$

$$Y = 1,0422 x_3 + 0,3825 \text{ (valores reais)}$$

A Figura 20 mostra que praticamente não houve perda de FOS durante o processo. Ou seja, praticamente toda fibra adicionada à formulação estará presente no produto final. Isto torna claro que as condições de extrudabilidade foram interessantes do ponto de vista nutricional por não afetar negativamente ao enriquecimento do produto. Este resultado já era

esperado pois os FOS apresentam a vantagem tecnológica de não serem degradados pelas temperaturas normalmente utilizadas no fabrico de alimentos. Apenas em condições muito ácidas e em condições de exposição prolongada de determinados binômios tempo/temperatura, podem ser hidrolisados em frutose (YUN, 1996). Conforme já abordado de acordo com Alonso et al. (2000), Camire e Krumahar (1990), Gutkoski (1997) e Yaulayan et al. (1992) a extrusão é também considerado um processo de alta temperatura e curto tempo (HTST – High temperature Short Time), sendo assim as condições de processo são favoráveis para que não ocorram significativas perdas desta fibra solúvel durante o processamento.

Tabela 8 - Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de teor final de FOS de extrusão de cereais matinais.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	4,438523	0,263424	16,84932	0,000013
(1) Temperatura (L)	-0,096510	0,174766	-0,55223	0,604569
Temperatura (Q)	0,142275	0,170107	0,83639	0,441066
(2) Umidade (L)	0,065518	0,174766	0,37489	0,723118
Umidade (Q)	0,143689	0,170107	0,84470	0,436821
(3) FOS (%) (L)	3,114068	0,174766	17,81852	0,000010
FOS (%) (Q)	0,291968	0,170107	1,71638	0,146746
1L x 2L	-0,016688	0,228354	-0,07308	0,944578
1L x 3L	-0,151438	0,228354	-0,66317	0,536568
2L x 3L	0,115062	0,228354	0,50388	0,635759
R²	0,9817			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos estatisticamente.

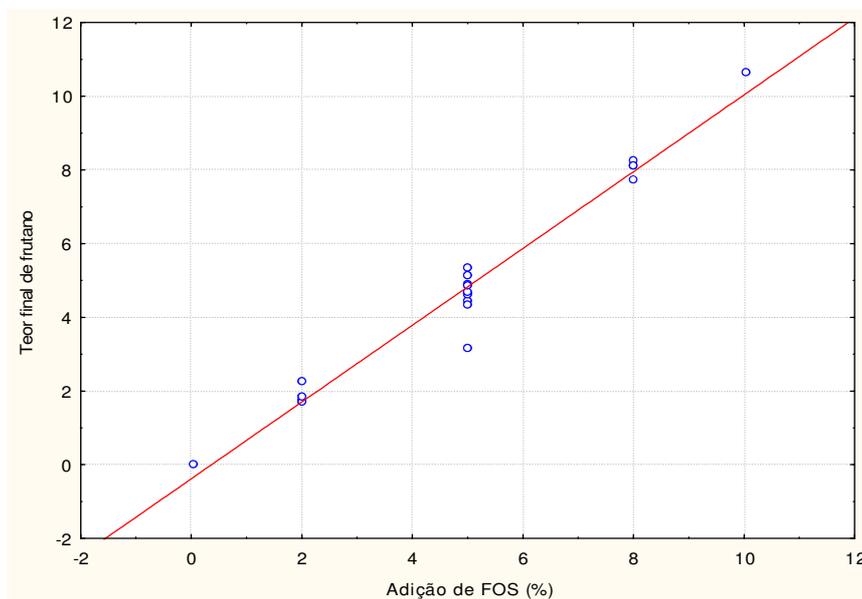


Figura 20: Curva de teor final de FOS (%) com base no modelo do cálculo estatístico.

4.3 Avaliação De Elevação Da Taxa De Ingesta De Açúcares Complexos/Açúcares Simples Em Relação A Adição De FOS:

A importância da maior ingestão de açúcares complexos (oligômeros), relacionados a uma série de regulações metabólicas em detrimento da diminuição da ingestão de açúcares simples, está relacionado a uma série de patologias como diabetes e obesidade. A Tabela 9 traz a comparação entre teor de açúcares simples e complexos das formulações do cereal matinal no ponto central, no T₁₃ e no T₁₄, (5%), (0%) e (10%) de adição respectivamente. Visando, portanto, avaliar se o produto é eficiente em elevar a taxa de consumo de açúcares complexos por açúcares simples em relação ao teor de FOS adicionado foi plotada a curva da taxa de ingestão/ (%) de FOS adicionado a formulação utilizando-se a média dos pontos com adição de 5% (PC), adição de 0% e adição de 10%. A curva obtida demonstrada na Figura 21 de elevado R² (0,9996) é ascendente indicando que a adição de FOS realmente aumenta a taxa de açúcar complexo /açúcar simples no produto final. A regressão da reta formada pelos três pontos e a ANOVA foi realizada conforme disposto no Anexo G. A curva de regressão é mostrada abaixo.

$$Y = 0,1378x - 0,0082$$

Tabela 9 - Comparação entre teor de açúcares simples e complexos da formulação do cereal matinal média do ponto central, T₂ e T₁₄, (5%), (8%) e (10%) de adição respectivamente.

Código de amostra	Sacarose (%)	Frutose (%)	Glicose (%)	Total aç. simples	Kestose (%)	Nistose (%)	Total aç. complexo
T _{15(PC)}	6,2500	0,1955	0,2475	7,7216	2,0345	2,5920	4,6265
T _{16(PC)}	5,7079	0,3628	0,3400	6,6930	1,8590	2,8365	4,6955
T _{17(PC)}	5,7919	0,2174	0,2700	6,4107	1,8205	2,5240	4,3445
T _{18(PC)}	5,9959	0,1839	0,3485	6,2793	2,0500	2,8540	4,9040
T _{19(PC)}	6,0127	0,2039	0,1855	6,5284	2,0225	2,8375	4,8600
T _{20(PC)}	7,3838	0,2801	0,3210	6,4022	1,1565	2,0245	3,1810
Médias(5%)				6,6725			4,4353
T ₁₃ (0%)				6,6145			0,0000
T ₁₄ (10%)				7,7216			10,644

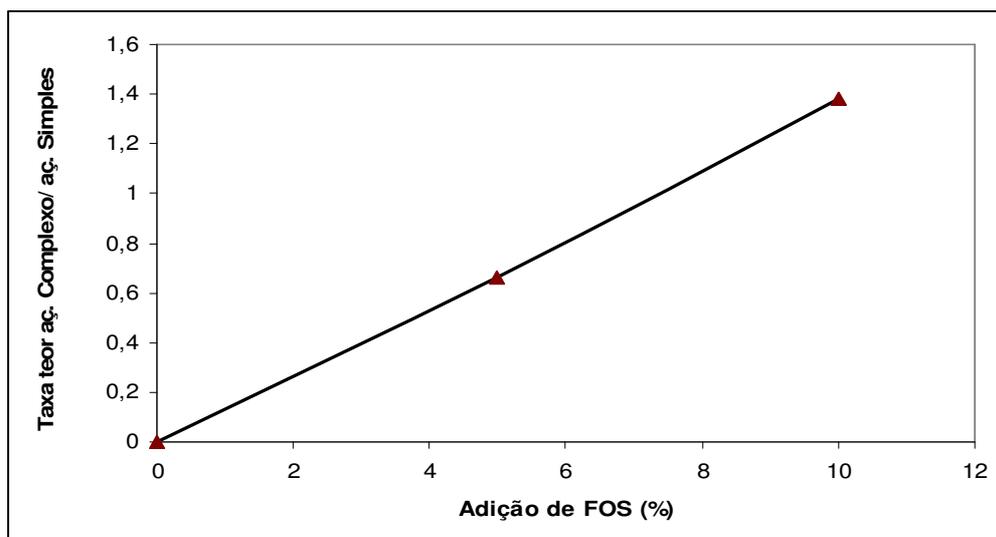


Figura 21: Curva da relação entre adição de FOS e taxa de teor de açúcar complexo/ açúcar simples

O resultado da ANOVA mostra que realmente a adição é significativa em aumentar a taxa da ingesta. O resultado da curva de regressão, considerando a variação inferior ou superior da variável, indica que a cada incremento de 1% de adição temos um incremento de 0.1 a 0.17 na taxa. Ou seja, a ingesta se elevará de 10 a 17% com incremento de adição de FOS de 1%.

4.4 Avaliação Microbiológica de Bolores e Leveduras e Coliformes à 45°C.

O tratamento térmico do ponto central foi efetivo na obtenção de um produto com que apresentou resultados negativos para todos os testes microbiológicos de contagens de Bolores e leveduras e de Coliformes. A Tabela 10 mostra os resultados conforme dados são expressos pela metodologia. Estão portanto dentro do padrão estabelecido pela ANVISA (RDC nº 12 de 2001) que estabelece para cereais matinais, extrudados o limite de: Coliformes a 45°C/g – máximo 1. A ANVISA apenas estabelece limite para coliformes a 45°C pois foca os microrganismos com conotações para a sanidade do produto. Entretanto, a contagem de bolores e leveduras é importante pois determina a vida de prateleira do produto.

Tabela 10 - Resultado da avaliação de estabilidade microbiológica de amostra de cereal matinal T₁₈ (Ponto central).

Análise	Resultado	Legislação (RDC 12)
Coliformes a 45°C	< 0,3	1
Coliformes totais	< 0,3	-
Bolores e leveduras	< 10	-

4.5 Determinação das Propriedades de Pasta Obtida em Analisador Rápido de Viscosidade (RVA):

Os gráficos obtidos na análise de RVA foram bastante similares entre os tratamentos. Para ilustrar deve-se observar os gráficos das Figuras 22 e 23 referentes aos tratamentos com 0 % de adição de FOS e um ponto central com 5% de adição. A similaridade entre os gráficos dos tratamentos indica que em ambos os casos há uma quantidade próxima de grânulos que foram inchados e logo liquefeitos durante a análise. Isto demonstra que o cisalhamento não foi drástico de acordo com os parâmetros estabelecidos para a extrusão. Os demais gráficos encontram-se dispostos no Anexo C.

A Tabela 11 mostra os valores de resposta obtidos na análise de viscosidade de pasta pelo RVA. Estão dispostos os valores de viscosidade a frio (V_{frio}), viscosidade máxima (V_{max}), viscosidade mínima (V_{min} , “breakdown” (queda de viscosidade resultante do rompimento dos grânulos), “setback” (viscosidade originada com a retrogradação) e viscosidade final (V_{final}).

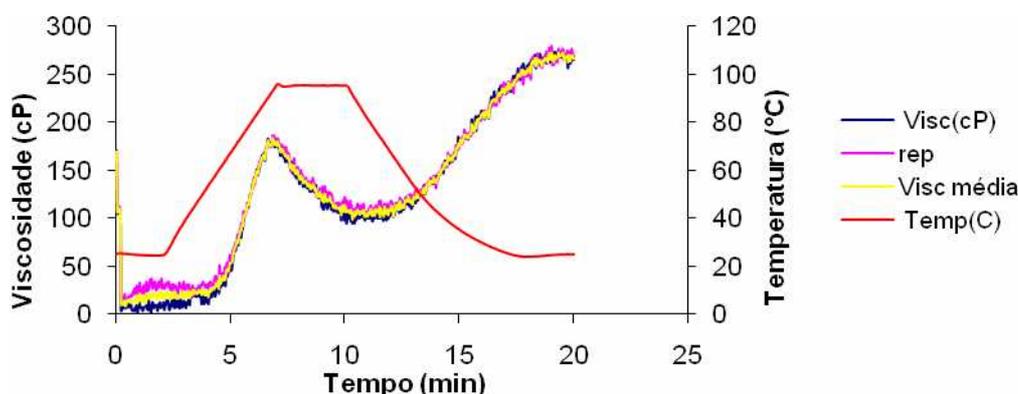


Figura 22: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₃. ($X_1= 80,00^\circ\text{C}$; $X_2= 30,00\%$; $X_3= 0,0\%$).

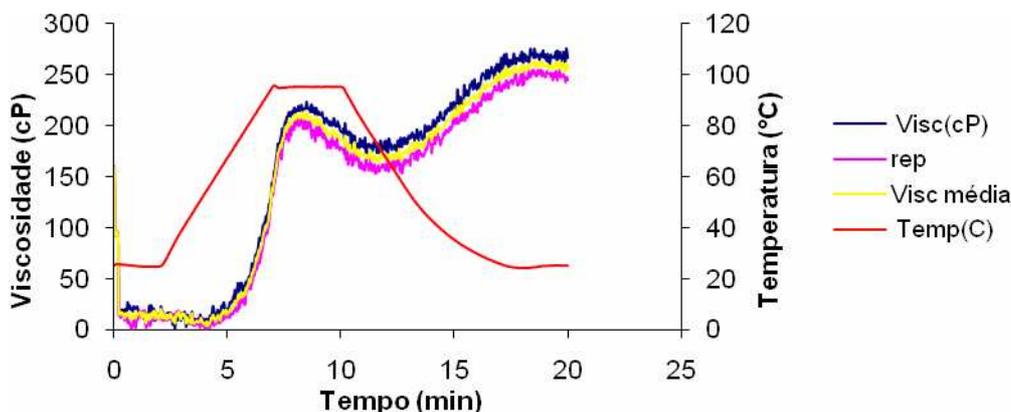


Figura 23: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₇. (X₁= 80,00°C; X₂= 30,00%; X₃= 5%).

Tabela 11- Resultado de análise de viscosidade de pasta por RVA.

Código de amostra	V _{frio}	V _{max}	V _{min}	Breakdown	Setback	V _{final}
T ₁	4	174,5	117	57,5	127,5	244,5
T ₂	8,5	157	126	31	88,5	214,5
T ₃	17	171	151,5	19,5	104,5	256
T ₄	11,5	121,5	106,5	55	77,5	184
T ₅	8	206	124	82	129	253
T ₆	10,5	132	91	41	93	184
T ₇	12,5	164	143	21	89	232
T ₈	13	143,5	127	38	67,5	194,5
T ₉	25	191,5	141	50,5	86,5	227,5
T ₁₀	5,5	142	86,5	55,5	116,5	203
T ₁₁	16,5	202	151,5	50,5	106,5	258
T ₁₂	16	132,5	113,5	19	91	204,5
T ₁₃	23,5	180	99	81	167,5	266,5
T ₁₄	10	114,5	73,5	41	82,5	156
T _{15 (PC)}	12	186,5	152,5	34	103	255,5
T _{17 (PC)}	20,5	213,5	164	49,5	91,5	255,5
T _{19 (PC)}	16	203	149	54	116	265

(PC) = Replicas do Ponto central utilizadas no cálculo estatístico.

A Tabela 12 mostra os resultados dos coeficientes de regressão da variável de resposta V_{frio}. Observa-se que não houve valores significativos. Neste caso não se justifica apresentar gráficos de modelos inválidos. Pode-se, entretanto notar que os valores de V_{frio} foram reduzidos o que é característico de extrusões com baixa temperatura e elevada umidade tal qual ocorreu neste experimento.

No caso do parâmetro V_{max} R² foi superior ao valor de corte porém, como pode ser visualizado na Tabela 13. Foi submetido ao cálculo de ANOVA e não teve o modelo validado como pode ser observado no Anexo A.1 o que acarreta em não ser possível descrever o modelo usando “MSR”.

A Tabela 14 mostra que o parâmetro V_{min} também não tem modelo válido devido não apresentar R² superior ao valor de corte apesar de apresentar coeficientes significativos para alguns efeitos. O breakdown apesar de apresentar R² superior ao limite de corte como demonstra a Tabela 15 não apresentou coeficientes significativos não se justificando a apresentação de um modelo não válido.

O parâmetro setback apresentou efeito significativo para teor de FOS (L) e R² superior ao limite de corte conforme exposto em Tabela 16. Foi submetido ao cálculo de ANOVA e não teve o modelo validado como pode ser observado no Anexo A.2 o que acarreta em não ser possível descrever o modelo usando “MSR”.

Observa-se que para o atributo V_{final} foram significativos os efeitos temperatura (Q), teor de FOS (L) (Q) e teor de umidade (L) (Q). O parâmetro apresentou elevado valor de R^2 como exposto na Tabela 17 e foi, portanto submetido ao cálculo da ANOVA como pode ser visto no Anexo A.3. O resultado foi significativo com ajuste indicando que o modelo é preditivo. Isto indica que pontos da superfície fora dos pontos experimentais podem ser preditos pelo modelo. As “MSR” são graficadas nas Figuras 24, 25 e 26. O polinômio do modelo é descrito a seguir:

$$Y = 258,4456 - 14,5824 x_{11}^2 - 8,7483 x_2 - 28,8735 x_3 - 15,9962 x_{33}^2$$

Tabela 12- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V_{frio} de cereais matinais extrudados.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	16,51674	2,450389	6,74046	0,021309
(1) Temperatura (L)	-2,18176	1,150646	-1,89612	0,198405
Temperatura (Q)	-1,53397	1,266317	-1,21136	0,349463
(2) Umidade (L)	1,62239	1,150646	1,40998	0,293954
Umidade (Q)	-1,18050	1,266317	-0,93223	0,449630
(3) FOS (%) (L)	-1,51608	1,150646	-1,31759	0,318330
FOS (%) (Q)	-1,00377	1,266317	-0,79267	0,511064
1L x 2L	-1,12500	1,503468	-0,74827	0,532323
1L x 3L	0,50000	1,503468	0,33256	0,771086
2L x 3L	-1,50000	1,503468	-0,99769	0,423539
R²	0,35695			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 13- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V_{max} de cereais matinais extrudados.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	200,9537	7,842868	25,62247	0,001520
(1) Temperatura (L)	-4,5217	3,682829	-1,22779	0,344418
Temperatura (Q)	-11,9460	4,053052	-2,94741	0,098412
(2) Umidade (L)	-13,6474	3,682829	-3,70567	0,065725
Umidade (Q)	-11,7693	4,053052	-2,90381	0,100954
(3) FOS (%) (L)	-19,8906	3,682829	-5,40091	0,032614
FOS (%) (Q)	-18,8386	4,053052	-4,64801	0,043303
1L x 2L	200,9537	7,842868	25,62247	0,001520
1L x 3L	-4,5217	3,682829	-1,22779	0,344418
2L x 3L	-11,9460	4,053052	-2,94741	0,098412
R²	0,81684			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 14- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V_{\min} de extrudado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	154,1977	4,521967	34,09969	0,000859
(1) Temperatura (L)	-7,8831	2,123411	-3,71246	0,065508
Temperatura (Q)	-11,2903	2,336870	-4,83139	0,040271
(2) Umidade (L)	0,4454	2,123411	0,20978	0,853270
Umidade (Q)	-4,6628	2,336870	-1,99533	0,184140
(3) FOS (%) (L)	-9,3636	2,123411	-4,40972	0,047771
FOS (%) (Q)	-21,0106	2,336870	-8,99093	0,012146
1L x 2L	5,0000	2,774512	1,80212	0,213313
1L x 3L	-1,6250	2,774512	-0,58569	0,617371
2L x 3L	-4,6250	2,774512	-1,66696	0,237451
R ²	0,69054			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 15- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de Breakdown de cereais matinais extrudados.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	46,26246	6,045839	7,65195	0,016653
(1) Temperatura (L)	2,00685	2,838986	0,70689	0,552897
Temperatura (Q)	1,04997	3,124380	0,33606	0,768809
(2) Umidade (L)	-9,59003	2,838986	-3,37798	0,077576
Umidade (Q)	-5,40079	3,124380	-1,72860	0,226023
(3) FOS (%) (L)	-6,02420	2,838986	-2,12195	0,167873
FOS (%) (Q)	3,87770	3,124380	1,24111	0,340390
1L x 2L	-6,25000	3,709504	-1,68486	0,234056
1L x 3L	-4,12500	3,709504	-1,11201	0,381890
2L x 3L	15,00000	3,709504	4,04367	0,056064
R ²	0,8722			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 16- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de setback de cereais matinais extrudados.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	104,2479	7,063225	14,75926	0,004559
(1) Temperatura (L)	2,2668	3,316727	0,68343	0,564885
Temperatura (Q)	-3,2920	3,650146	-0,90189	0,462302
(2) Umidade (L)	-9,1938	3,316727	-2,77195	0,109232
Umidade (Q)	-4,2641	3,650146	-1,16819	0,363142
(3) FOS (%) (L)	-19,5098	3,316727	-5,88225	0,027706
FOS (%) (Q)	5,0144	3,650146	1,37376	0,303227
1L x 2L	-3,9375	4,333734	-0,90857	0,459481
1L x 3L	1,0625	4,333734	0,24517	0,829187
2L x 3L	3,3125	4,333734	0,76435	0,524525
R ²	0,8164			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 17- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de V_{final} de cereais matinais extrudados.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	258,4456	3,160522	81,7731	0,000150
(1) Temperatura (L)	-5,6163	1,484108	-3,7843	0,063273
Temperatura (Q)	-14,5824	1,633300	-8,9282	0,012314
(2) Umidade (L)	-8,7483	1,484108	-5,8947	0,027594
Umidade (Q)	-8,9269	1,633300	-5,4656	0,031883
(3) FOS (%) (L)	-28,8735	1,484108	-19,4551	0,002632
FOS (%) (Q)	-15,9962	1,633300	-9,7938	0,010265
R ²	0,92164			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

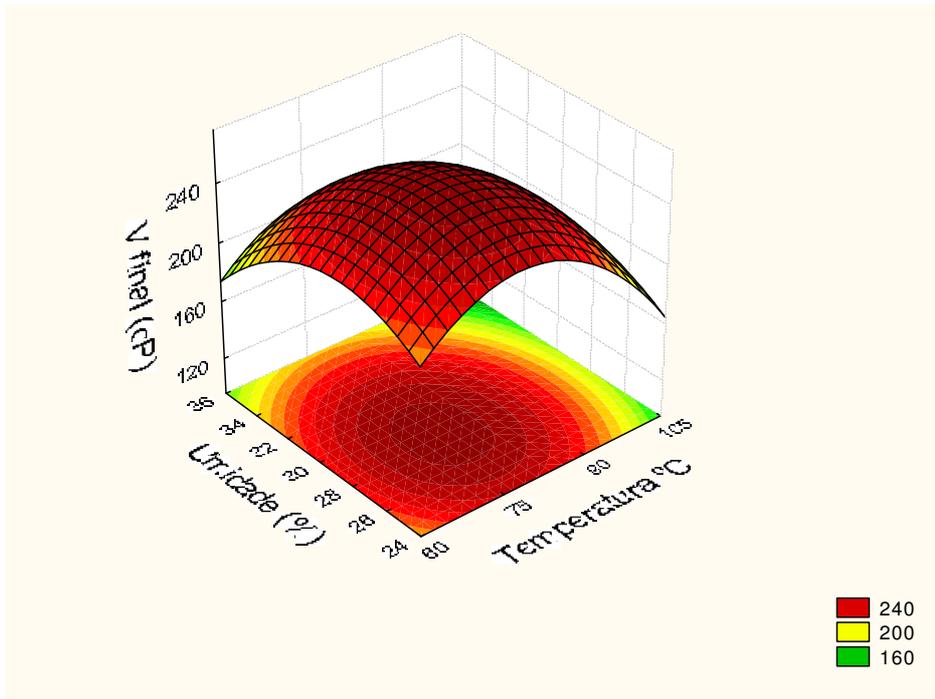


Figura 24: Gráfico de superfície de resposta de efeito de temperatura (Q) e teor de umidade (L) (Q) na viscosidade final.

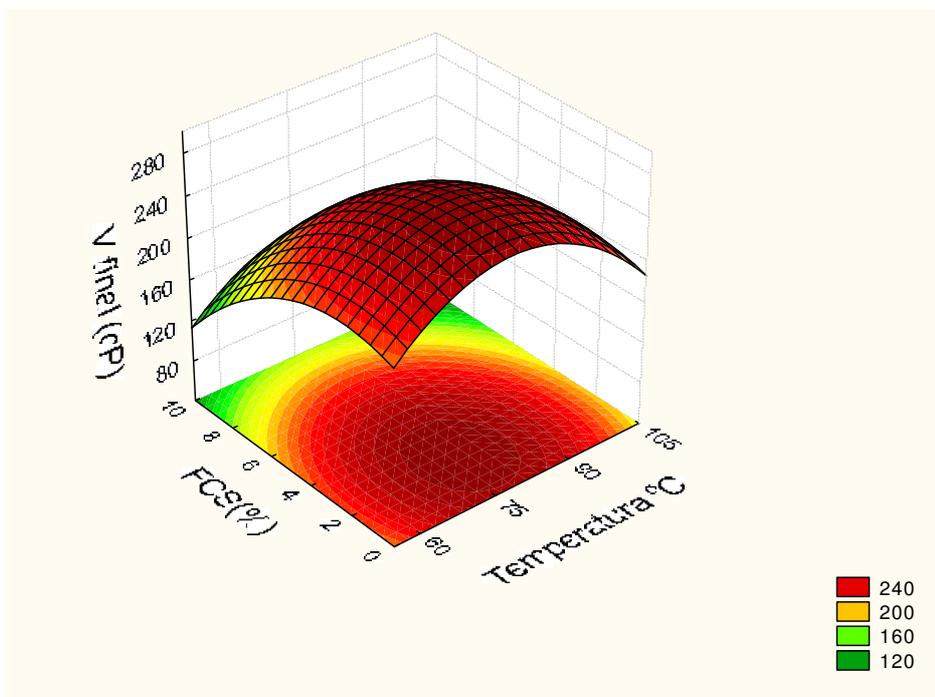


Figura 25: Gráfico de superfície de resposta de efeito de temperatura (Q) e teor de FOS (L) (Q) na viscosidade final.

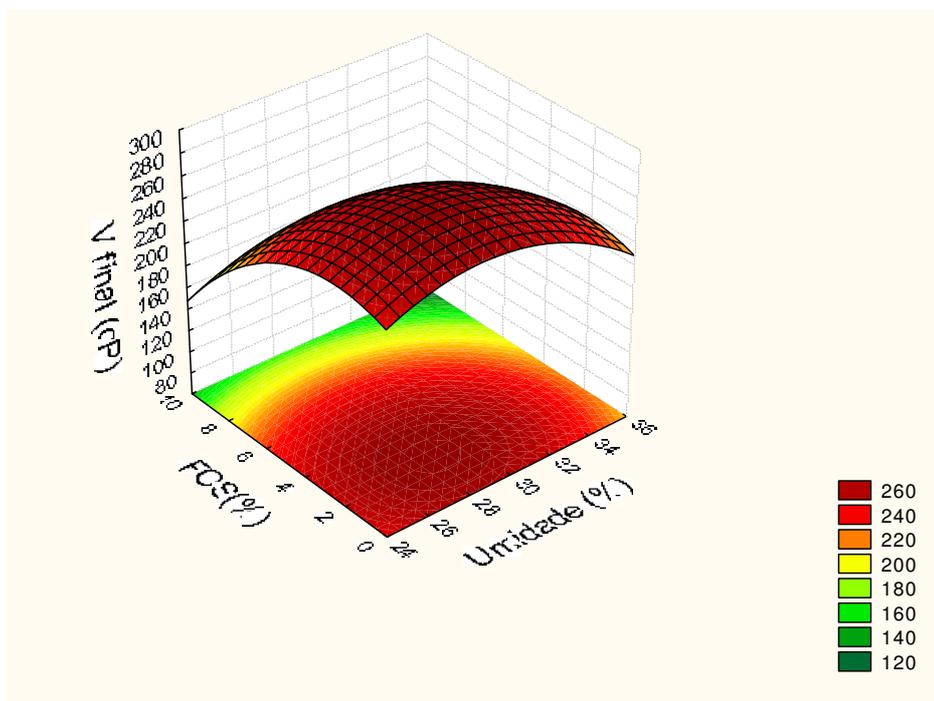


Figura 26 Gráfico de superfície de resposta de efeito de teor de umidade (L) (Q) e teor de FOS (L) (Q) na viscosidade final.

A medição da V_{final} é um parâmetro geralmente monitorado como padrão de qualidade do produto daí a importância do estudo deste atributo.

De acordo com a Figura 24 pode-se perceber que a V_{final} tende ao mínimo na região de maiores temperaturas e maiores umidades. Este é um comportamento esperado se tomarmos em conta os efeitos conhecidos de temperatura e umidade na formação de pasta. É sabido que incrementos de temperatura tendem a atuar causando elevação na extensão da gelatinização com maior conversão da matriz amilácea em material solúvel que não tem capacidade de formar gel (GUTKOSKI, 1997). A umidade atua como lubrificante diminuindo o trabalho mecânico e, conseqüentemente o cisalhamento (RAMIREZ; WANDERLEY, 1993). O menor cisalhamento acarreta em menor conversão da matriz amilácea em material solúvel que como dito anteriormente não possui capacidade de formação de gel. A diminuição de umidade e da temperatura levam a regiões de mais elevada V_{final} . Percebe-se um máximo para umidades próximas de 29% e temperaturas em torno de 75°C. A subsequente diminuição dos parâmetros leva a novo mínimo de V_{final} devido caminhar-se para regiões abaixo da faixa de gelatinização.

Analisando a Figura 25 pode-se notar que a partir de um máximo que ocorre para adições de FOS de 0 a 4% incrementos de adição de frutano levam a diminuição na V_{final} . Isto pode ser percebido na comparação entre os gráficos de RVA dos valores de $-\alpha$ (0%) + α (10)% dispostos no Anexo C. 13 e C.14 relativos aos tratamentos T_{13} e T_{14} para adição de FOS. De fato, todos os valores do gráfico de viscosidade para a curva de RVA de menor

adição estão deslocados para cima indicando que a adição de FOS leva a diminuição não só da V_{final} como de toda a curva. Entretanto, este resultado é apenas indicativo já que não se obteve um modelo validado para os outros parâmetros de viscosidade. Considerando o efeito da adição de açúcares Carvalho (2001) concordou com Jin e Huff (1994) de que incrementos de teor de açúcares acarretariam no aumento da viscosidade devido a diminuição da extensão de gelatinização de amidos de milho. Isto se deve ao fato do açúcar ocasionar uma diminuição da atividade de água acarretando em uma menor quantidade de água livre disponível para a gelatinização. A menor extensão de gelatinização acarreta numa menor degradação do amido produzindo pastas mais viscosas. Vale salientar que segundo Nuñez et al. (2009) o sal também possui este efeito.

A princípio como os FOS são açúcares, embora complexos, poderia se esperar que seguissem este modelo. Provavelmente este efeito tenha sido pronunciado na faixa entre 0 e 4% de adição. A partir daí este efeito não foi evidenciado nos resultados de V_{final} no presente estudo para adição de FOS. Entretanto, o efeito da inulina em diminuir a viscosidade final da pasta de formulações de cereal matinal de trigo também foi reportado por Brennan et al. (2008) para faixas de adição de 5, 10 e 15%. De fato, reportaram que o incremento de inulina acarretou não só em uma menor V_{final} como também em menor V_{max} e V_{frio} . Conforme dito anteriormente o grau de cisalhamento dos tratamentos foi de pequena extensão. Isto significa que neste processo não houve muita degradação da matriz amilácea com subsequente formação de dextrinas. Sendo assim, a substituição da matriz amilácea por outro produto provavelmente seja a causa primária da diminuição da V_{final} a partir de certo teor de adição de FOS.

Vale salientar que o resultado de RVA obtido para uma mistura comercial de farinha de arroz enriquecido com farinha de aveia obtido experimentalmente por Nuñez et al. (2009) pode ser visualizada no Anexo C.20 e é bastante similar aos obtidos nas formulações do presente estudo.

O efeito da temperatura (Q) também apresenta coeficientes negativos como pode ser visto na Tabela 17. Desta forma fica também indicado que incrementos de temperatura levam a diminuição do atributo V_{final} conforme já salientado anteriormente devido ao efeito do aumento na extensão da gelatinização. Nota-se o efeito entre os gráficos de RVA dos valores de $-\alpha$ (59,90°C) + α (100,01°C) dispostos no Anexo C. 11 e C.12 relativos aos códigos de amostra T_{11} e T_{12} para adição de incremento de temperatura. A Figura 23 é bastante indicativa destes efeitos mostrando que máximos de V_{final} são obtidos no intervalo de teores de FOS de 0 a 4% na faixa de temperatura em torno de 75°C. Abaixo desta temperatura temos diminuição de V_{final} fato que tem coerência se percebermos que estaremos caminhando para regiões abaixo da faixa de gelatinização.

Percebe-se conforme Figura 26 que em relação à umidade a superfície indica que à medida que caminhamos de regiões de elevado teor de FOS e elevadas umidades em direção a regiões de umidade intermediária, próximo ao ponto central temos uma ligeira elevação de viscosidade. A partir deste ponto se continuarmos no sentido de regiões de baixa umidade e altos teores de adição de fibra temos a redução deste atributo. Talvez isto se deva ao fato de que em regiões de baixa umidade na temperatura de 80°C não haja água disponível suficiente para rompimento dos grânulos. Segundo Ratnayake e Jacson (2007) a primeira etapa da gelatinização envolve a absorção de água pelo grânulo de amido. Portanto fica claro que não havendo água disponível suficiente a consequência direta será que o fenômeno da gelatinização fica dificultado o que acarreta em diminuição de extensão de formação de pasta e diminuição de formação de viscosidade.

4.6 Estudo de Densidade Aparente e Densidade Absoluta de Extrudado Cru (Pellet) e Assado.

Segundo a ASTM (1994) entende-se por DA a relação entre a densidade da amostra e densidade de uma substância estabelecida como padrão. O cálculo é dado pela divisão da massa da amostra pelo volume que ele ocupa o que inclui espaços vazios entre as partículas. Esta, portanto relacionada ao volume que envolve o material excluindo os poros abertos. A DAb é a densidade real do material obtida dividindo-se a massa pelo volume real excluindo o volume de poros abertos e fechados do material. O total de poros é o volume da soma de poros abertos e fechados .

Tabela 18- Resultados de Densidade Aparente (DA), Densidade Absoluta (DAb) e de amostras cruas e assadas de cereais matinais.

Código de amostra	Resultados de amostras cruas		Resultados de amostras assadas	
	DR (g/cm ³)	DAb (g/cm ³)	DR (g/cm ³)	DAb (g/cm ³)
T ₁	0,95	1,4562	0,39	1,3766
T ₂	1,06	1,4764	0,45	1,4458
T ₃	0,96	1,4252	0,46	1,4609
T ₄	1,01	1,4285	0,49	1,4699
T ₅	1,02	1,4544	0,44	1,3488
T ₆	0,87	1,4635	0,49	1,3517
T ₇	0,94	1,4393	0,43	1,4065
T ₈	0,94	1,4451	0,49	1,4220
T ₉	1,14	1,4204	0,45	1,4181
T ₁₀	0,96	1,4030	0,55	1,4560
T ₁₁	0,88	1,4654	0,40	1,2749
T ₁₂	0,96	1,5095	0,24	1,4445
T ₁₃	0,94	0,4949	0,38	1,4143
T ₁₄	0,78	0,4682	0,45	1,3785
T _{15 (PC)}	0,81	1,4540	0,43	1,3880
T _{17 (PC)}	1,02	1,4242	0,42	1,3792
T _{19 (PC)}	1,02	1,4548	0,42	1,3911

(PC) = Replicas do Ponto central utilizadas no cálculo estatístico.

A densidade tradicionalmente utilizada é a DA sendo constantemente descrita em literatura para os mais diversos materiais. Segundo Sumithra e Bhattacharya (2008) é uma medição importante para os cereais matinais por estar tanto envolvido na padronização do processo de embalagem quanto na habilidade do cereal em flutuar quando imerso em leite. Para os extrusados em geral é forma indireta de quantificar a eficiência do processo de extrusão (RAMÍREZ e WANDERLEI, 1997) sendo reportada como inversamente proporcional a expansão (WANG et al., 2007). Ou seja, se incrementos de adição de FOS acarretarem na elevação da densidade do cereal matinal isto seria prejudicial a qualidade do produto pois maior densidade estaria relacionado a menos espaços vazios ou poros na estrutura. O resultado seria um produto mais compacto e menos aerado Levine et al. (2004).

Os resultados obtidos na avaliação de densidade relativa e densidade absoluta do cereal matinal na forma de pellet e após ser assado estão apresentados na Tabela 18.

Os resultados obtidos para DA de cereal matinal assado foram superiores aos resultados relatados por Chaunier et al. (2005) que obtiveram valores na faixa de 0,2 g/cm³ para flocos de milho e ligeiramente superiores aos obtidos por Brennan et al. (2008) para cereais matinais expandidos de trigo os quais obtiveram valores na faixa de 0,5 a aproximadamente 0,9 g/cm³.

Considerando as densidades dos produtos crus e assados percebe-se uma diminuição dos valores obtidos. Isto está de acordo com Mariotti et al. (2006) que reportou que este decréscimo se deve a nova organização das camadas externas e a elevada porosidade que parece serem as responsáveis pela capacidade de hidratação dos cereais matinais sendo a absorção capilar predominante.

Em relação à DA do material cru nota-se na Tabela 19 de coeficientes de regressão do parâmetro que não houve parâmetros significativos, portanto, não se justifica a construção de gráficos de “MSR”.

O parâmetro DAb para o material cru obteve valor acima do limite de corte para R^2 e, portanto, foi realizado o cálculo da ANOVA. Conforme pode ser visto no Anexo A.4 o modelo obteve um R^2 acima do limite de corte e um baixo erro puro, porém apresentou falta de ajuste sendo apenas presuntivo. A Tabela 20 mostra os coeficientes de regressão do modelo mais apropriado que neste caso foi linear/quadrático sem os efeitos. Os efeitos significativos foram os quadráticos e os gráficos “MSR” foram plotados eliminando os efeitos não significativos conforme são dispostos nas Figuras 27, 28 e 29. Pode ser verificado na Figura 27 que a DAb é mínima nos valores que circundam o ponto central. Ou seja, se utilizarmos no processo valores próximos ao ponto central em relação à temperatura e umidade a “MSR” indica que obteremos pellets de menor DAb.

A Figura 28 mostra um gráfico em forma de cela onde os mínimos de DAb são obtidos nos valores extremos de adição de FOS na faixa de temperatura próxima ao ponto central. Efeito similar pode ser visto na Figura 29 em relação à umidade. Estes resultados indicam que valores de pellets com Dab mais baixos são obtidos em regiões próximas ao ponto central das variáveis dependentes temperatura e umidade e nos extremos da adição de FOS.

Tabela 19- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de (DA) de CM cru.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	0,948343	0,069864	13,57409	0,005383
(1) Temperatura (L)	-0,037542	0,032807	-1,14435	0,370965
Temperatura (Q)	0,041075	0,036105	1,13768	0,373189
(2) Umidade (L)	0,006191	0,032807	0,18872	0,867730
Umidade (Q)	-0,004875	0,036105	-0,13503	0,904950
(3) FOS (%) (L)	-0,018972	0,032807	-0,57829	0,621509
FOS (%) (Q)	-0,026083	0,036105	-0,72244	0,545080
1L x 2L	0,003750	0,042866	0,08748	0,938259
1L x 3L	-0,038750	0,042866	-0,90398	0,461419
2L x 3L	0,011250	0,042866	0,26245	0,817538
R^2	0,60071			

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Tabela 20- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de DAb de CM extrudado cru.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	1,422452	0,010050	141,5407	0,000050
(1) Temperatura (L)	-0,000979	0,004719	-0,2074	0,854911
Temperatura (Q)	0,064094	0,005194	12,3411	0,006502
(2) Umidade (L)	-0,002791	0,004719	-0,5915	0,614150
Umidade (Q)	0,090869	0,005194	17,4965	0,003251
(3) FOS (%) (L)	-0,000484	0,004719	-0,1025	0,927681
FOS (%) (Q)	-0,264683	0,005194	-50,9638	0,000385
R^2	0,774143			

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

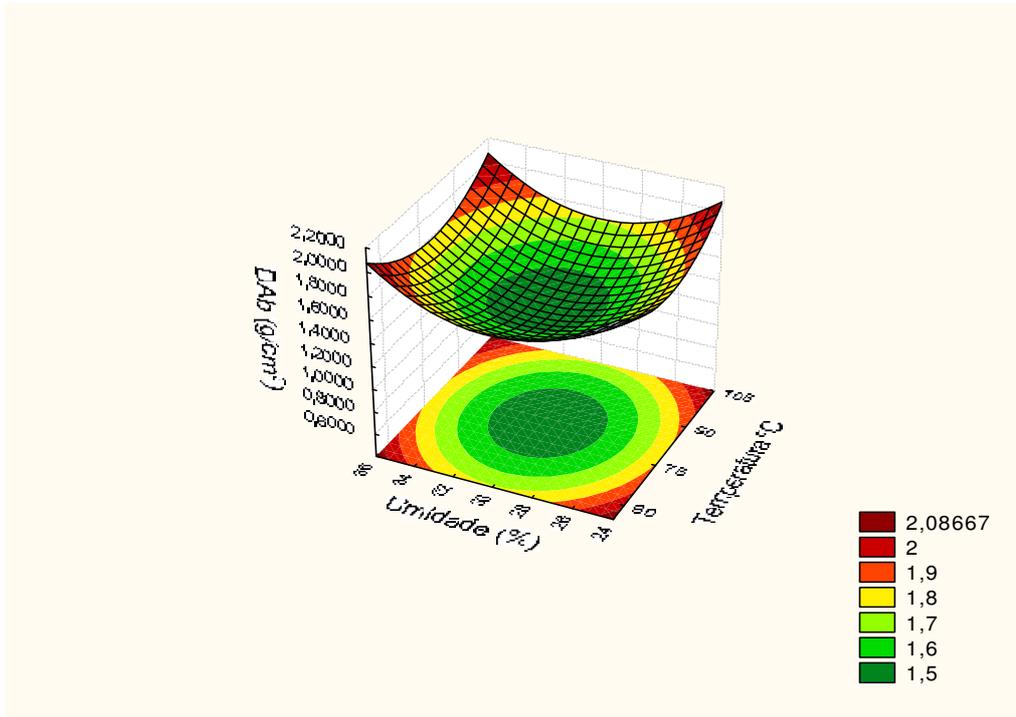


Figura 27: Efeito do teor de umidade (Q) e da temperatura (Q) na densidade absoluta (DAB) do cereal matinal cru.

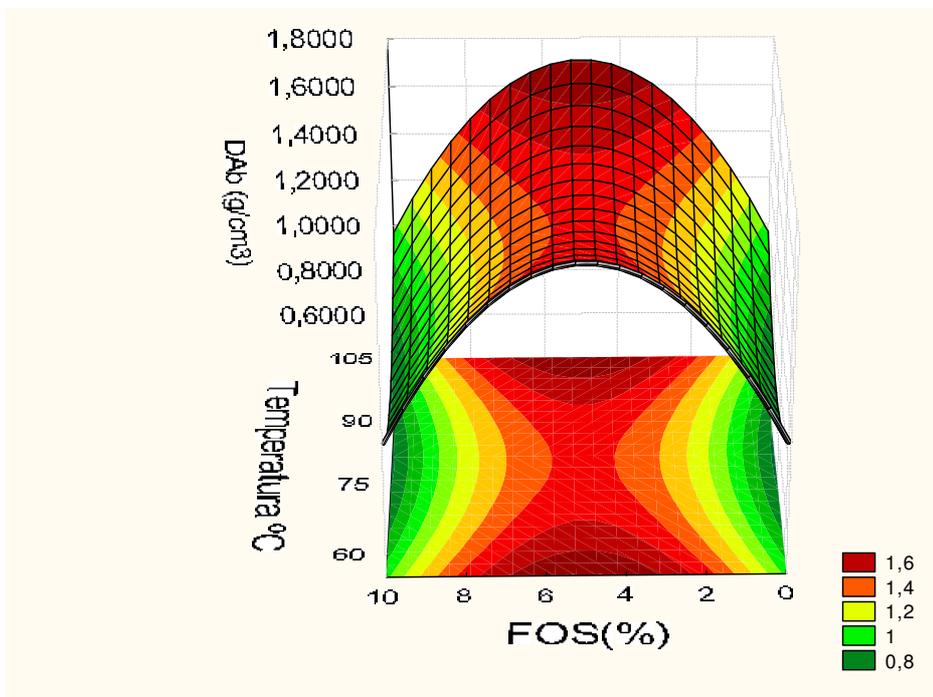


Figura 28 : Curva de superfície de resposta de efeito de FOS (%) (Q) e temperatura (Q) na densidade absoluta (Dab) do cereal matinal cru.

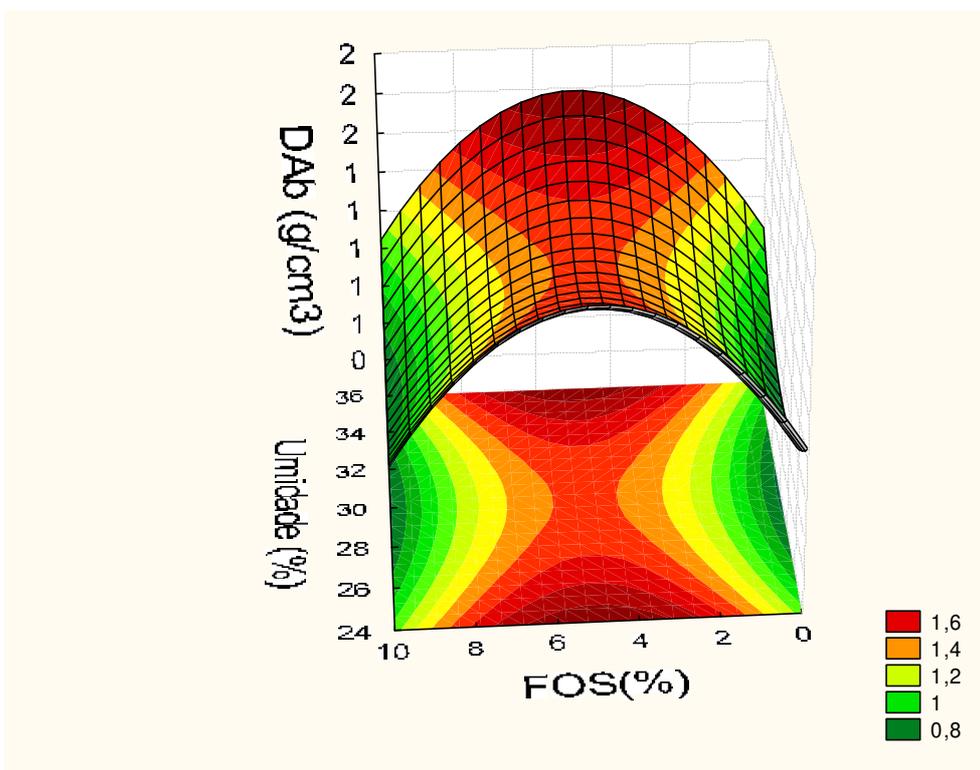


Figura 29 : Curva de superfície de resposta de efeito de umidade (Q) e FOS (%) (Q) na densidade absoluta (Dab) do cereal matinal cru.

Tabela 21- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade aparente (DA) de CM extrudado assado.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	0,420506	0,003327	126,3972	0,000063
(1) Temperatura (L)	0,016708	0,001562	10,6950	0,008630
Temperatura (Q)	0,036870	0,001719	21,4453	0,002167
(2) Umidade (L)	-0,012382	0,001562	-7,9261	0,015548
Umidade (Q)	-0,026754	0,001719	-15,5612	0,004104
(3) FOS (%) (L)	0,023264	0,001562	14,8914	0,004479
FOS (%) (Q)	0,006825	0,001719	3,9700	0,057985
1L x 2L	-0,015000	0,002041	-7,3485	0,018019
1L x 3L	0,002500	0,002041	1,2247	0,345346
2L x 3L	-0,002500	0,002041	-1,2247	0,345346
R ²	0,70617			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Considerando a Tabela 21 em relação aos coeficientes de regressão da variável independente DA para o cereal matinal assado nota-se que o valor de R² foi superior ao limite de corte e por isso foi realizado o cálculo da ANOVA como pode ser visto no Anexo A.5 A ANOVA apresentou um R² maior que o limite de corte porém com falta de ajuste. Os gráficos presuntivos do modelo excluindo os efeitos não significativos são descritos nas Figuras 30, 31 e 32.

O efeito de Umidade (L) (Q) e temperatura (L) (Q) na DR do cereal matinal assado é visto na Figura 30 onde a “MSR” gerou uma superfície em forma de cela. A superfície mostra que valores mais baixos de DA são obtidos na faixa de temperatura próxima ao ponto central,

mas nos extremos da faixa de umidade. A DA é máxima em regiões de umidade próximas ao ponto central quando a faixa de temperatura de trabalho é elevada.

Quanto aos efeitos (L) e (Q) da temperatura percebe-se na Figura 31 que regiões próximas ao ponto central acarretam no mínimo de DR. Em relação à adição de FOS apenas o efeito (L) é significativo. Se observarmos a Tabela 21 perceberemos que o coeficiente de regressão é positivo o que indica que incrementos de adição de FOS acarretam na elevação da DA do cereal matinal. Resultado similar foi verificado por Brennan et al. (2008) com relação à adição de inulina em “RTE” extrudados de expansão direta. Neste caso foi reportado aumento da densidade com o incremento da adição de inulina nas proporções de 5, 10 e 15%. Conforme dito anteriormente a densidade é uma forma indireta de quantificar a eficiência do processo de extrusão (RAMIREZ; WANDERLEI, 1997) sendo reportada como inversamente proporcional a expansão (WANG et al. 2007). Porém no estudo reportado por Brennan et al. (2008) para “RTE” extrudados diretos o aumento da DA causada pela adição de inulina não acarretou diminuição de expansão ocorrendo justamente o inverso. Foi verificada uma elevação da expansão do produto. A elevação foi máxima na formulação de 5% com subsequente diminuição nas formulações de 10 e 15%. Isto significa que não necessariamente a elevação da DA está relacionada a um comprometimento na qualidade de expansão do produto.

A Figura 32 para efeito de Umidade (L) (Q) e FOS (%) (L) indica que produtos com elevada DR serão obtidos nas faixas de trabalho de umidades próximas ao ponto central com elevados teores de adição de FOS.

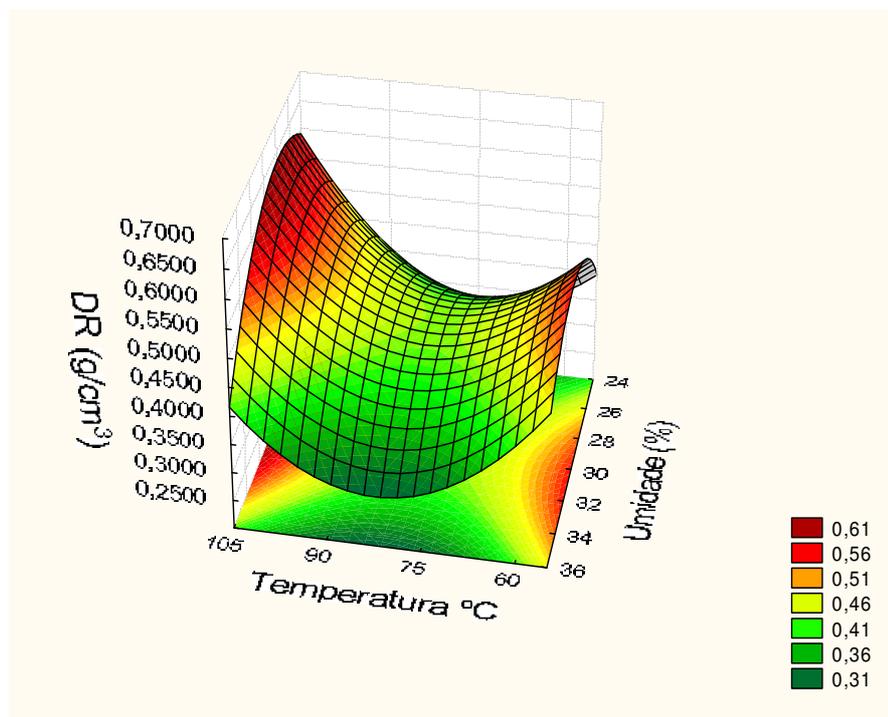


Figura 30 : Curva de superfície de resposta de efeito de umidade (L) (Q) e temperatura (L) (Q) na densidade aparente (DA) do cereal matinal assado.

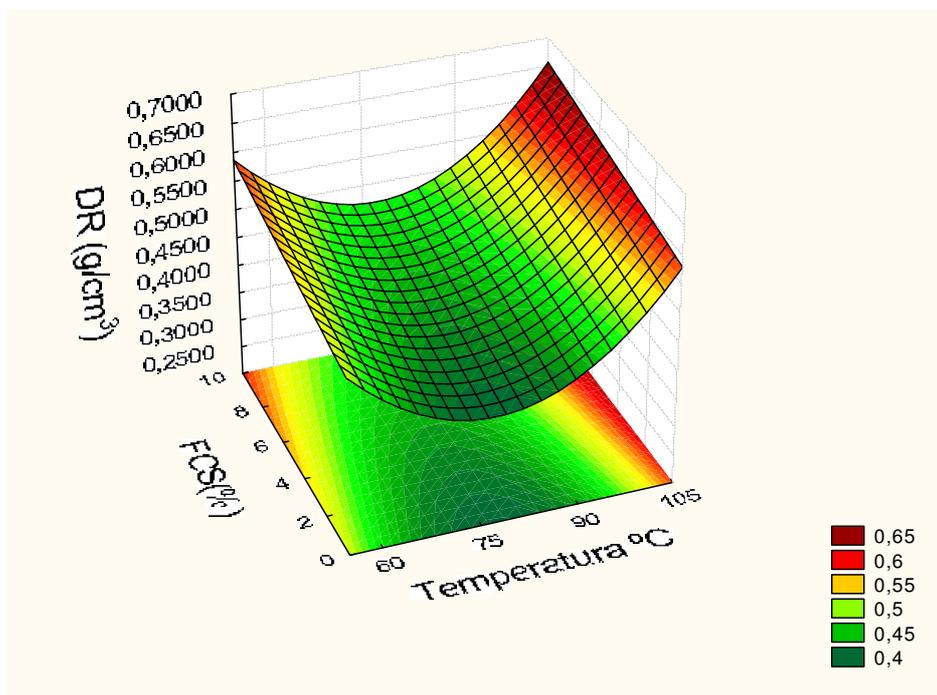


Figura 31 : Curva de superfície de resposta de efeito de FOS (%) (L) e temperatura (L) (Q) na densidade aparente (DA) do cereal matinal assado.

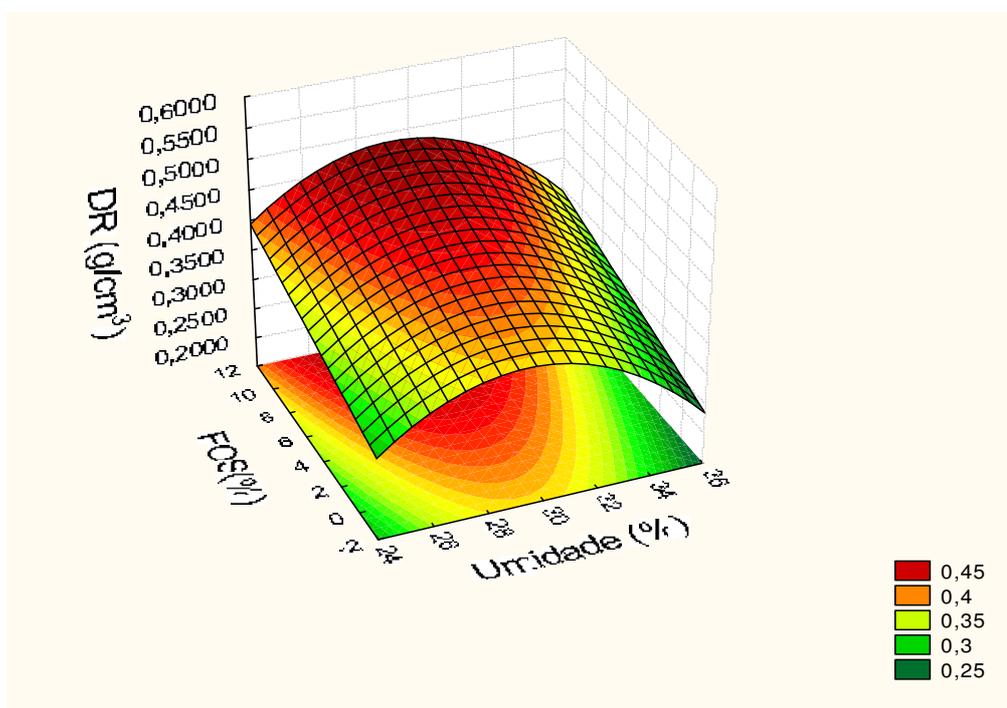


Figura 32 : Curva de superfície de resposta de efeito de Umidade (L) (Q) e FOS (%) (L) na densidade aparente (DA) do cereal matinal assado.

A Tabela 22 mostra que DAb para o produto assado apresentou R^2 maior que o limite de corte e por isto fez-se necessário realizar o cálculo da ANOVA como pode ser visto no Anexo A.6. A análise apresentou R^2 maior que o limite de corte e pequeno erro puro porém não apresentou ajuste sendo o modelo apenas presuntivo. Conforme pode ser visto na Tabela

21 apenas os efeitos do teor de umidade (L) e da temperatura (L) (Q) foram significativos na Dab. A “MSR” foi gerada eliminando os efeitos não significativos. Pode ser facilmente percebido também pela análise da Tabela 22 que devido o sinal positivo do coeficiente de regressão para a umidade seu incremento acarretará no aumento da DAb. Em relação ao efeito da temperatura (L) e (Q) pode-se observar na Figura 33 que mínimos de DAb são obtidos em regiões próximas ao ponto central. De fato, a superfície indica que mínimos de DAb serão obtidos em regiões de mais baixa umidade e temperaturas próximas ao ponto central. O fato de FOS não ter influenciado significativamente a DAb é um bom resultado uma vez ser indicativo de que a adição não influencia no volume total de células de ar no extrudado assado na faixa de adição utilizada no estudo. Isto não é verificado com outras fibras que em geral tem a adição associada à diminuição de índices de expansão, ou seja, ao decréscimo de volume do extrudado uma vez que contribuem para formação de uma parede celular mais fraca que não suporta a pressão do ar durante a expansão e se rompem (JIN; HUFF, 1995). Este resultado concorda com o discutido anteriormente para a DA do produto assado. Novamente sugere que o aumento observado do parâmetro DA não está obrigatoriamente associado a uma diminuição da expansão. Ou seja, não parece haver correlação direta entre aumento de DA e alteração de vias capilares de poros de cereais matinais enriquecidos com FOS.

Outro ponto que deve ser discutido é o fato do FOS ter influenciado significativamente DAb do produto cru e não ter sido significativo no produto assado. Uma explicação possível decorre que no sistema do extrudado contendo inulina a água esta suavemente ligada ao gel formado que contribui com a inibição da sinerese (SILVA, 1996). No pellet que possui mais água disponível provavelmente esta estrutura tenha acarretado no efeito significativo do FOS na variável independente DAb.

Tabela 22- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de densidade absoluta (Dab) de cereal matinal extrudado assado.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	1,385339	0,003557	389,4402	0,000007
(1) Temperatura (L)	-0,011748	0,001670	-7,0328	0,019625
Temperatura (Q)	0,020640	0,001838	11,2275	0,007840
(2) Umidade (L)	0,038194	0,001670	22,8653	0,001907
Umidade (Q)	-0,006701	0,001838	-3,6451	0,067710
(3) FOS (%) (L)	0,002664	0,001670	1,5948	0,251808
FOS (%) (Q)	0,006271	0,001838	3,4115	0,076229
1L x 2L	0,002450	0,002183	1,1225	0,378301
1L x 3L	-0,007475	0,002183	-3,4248	0,075702
2L x 3L	-0,005950	0,002183	-2,7261	0,112336
R²	0,75811			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

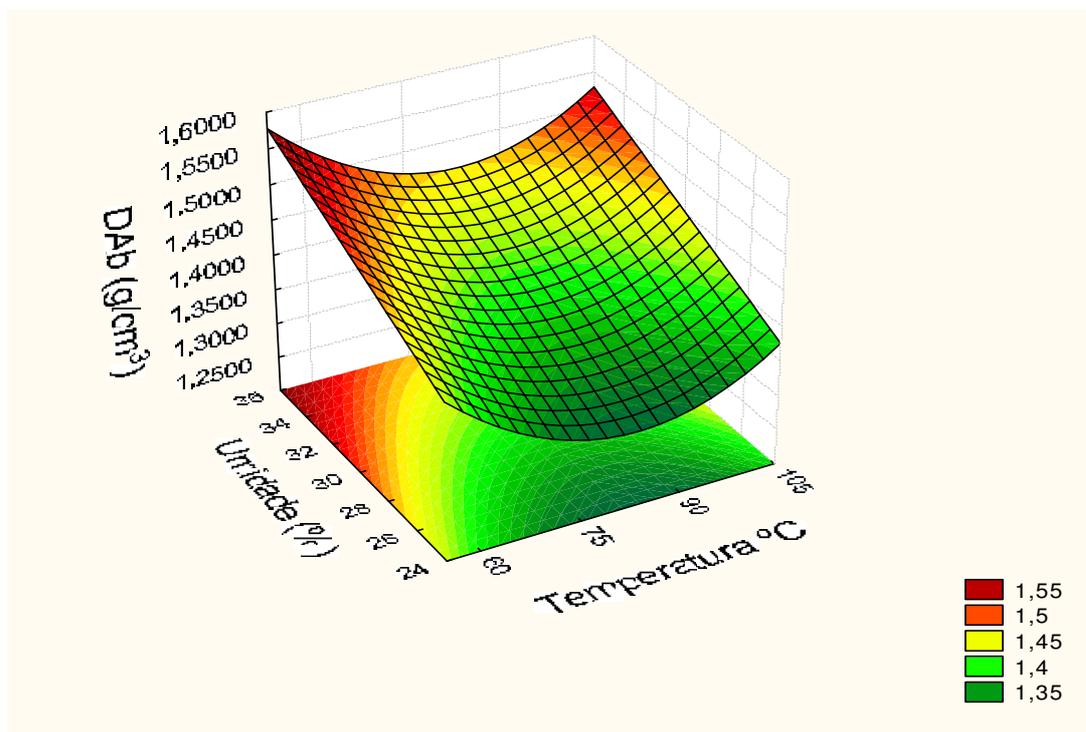


Figura 33: Efeito do teor de umidade (L) e da temperatura (L) (Q) na densidade absoluta (Dab) do cereal matinal.

Hauck e Huber (1989) reportou que uma das limitações do parafuso simples é a falta de habilidade deste em manter a estabilidade do processo acarretando em flutuações na densidade, cor e tamanho do produto final. A falta de ajuste obtida nos experimentos de DA e DAb relacionado à esta limitação do parafuso simples.

Outro ponto levantado por Levine et al. (2004) é que a laminação e não apenas a extrusão possui influência na expansão do produto e conseqüentemente em sua densidade. Severas condições de laminação podem expelir a maior parte do ar aprisionado na estrutura resultando em poucos sítios de nucleação. Isto resulta, no caso dos flocos, em um cereal com poucas e grandes bolhas.

4.7 Avaliação De Textura Por Testes Mecânicos

A textura é um dos mais importantes atributos de produtos extrudados sendo a crocância o atributo mais relacionado à determinação de qualidade do produto do ponto de vista sensorial (CHAUNIER et al, 2005). Devido sua grande importância a textura tem sido foco de numerosos estudos. Segundo Anton e Luciano (2007) a avaliação sensorial é essencial devido ainda não existir um método que reflita perfeitamente as sensações humanas. Portanto, o foco dos estudos instrumentais de textura atualmente são as relações entre medidas mecânicas e as avaliações sensoriais.

Neste estudo avaliou-se mecanicamente de forma empírica a textura através da medição do número de picos da curva média de compressão, bem como da força máxima obtida nesta curva. O nº de picos é relacionado à crocância, enquanto, que a força máxima é relacionada à dureza do extrudado. O método escolhido foi o que obteve o resultado mais próximo as avaliações sensoriais segundo Chaunier et al. (2005) dentre os que estavam disponíveis. O método de Kramer que, segundo o referido autor, mais se assemelha ao resultado sensorial não pôde ser utilizado devido o volume de amostra necessário por análise exceder o limite de força da célula de carga do equipamento.

Tabela 23- Resultados de número de picos medidos em texturômetro para avaliação de crocância:

Tratamento	Número de picos	Tratamento	Número de picos	Tratamento	Número de picos	Tratamento	Número de picos
T ₁	80	T ₆	68	T ₁₁	64	T _{17(PC)}	95
T ₂	79	T ₇	77	T ₁₂	66	T _{19(PC)}	87
T ₃	84	T ₈	67	T ₁₃	85		
T ₄	73	T ₉	51	T ₁₄	74		
T ₅	61	T ₁₀	69	T _{15(PC)}	86		

Tabela 24- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de crocância de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Coefficientes de	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	88,90087	2,842475	31,27587	0,001021
(1) Temperatura (L)	-0,93160	1,334760	-0,69795	0,557437
Temperatura (Q)	-8,87362	1,468939	-6,04083	0,026326
(2) Umidade (L)	1,19810	1,334760	0,89762	0,464118
Umidade (Q)	-7,10628	1,468939	-4,83770	0,040172
(3) FOS (%) (L)	-2,45288	1,334760	-1,83769	0,207502
FOS (%) (Q)	-1,98102	1,468939	-1,34861	0,309879
1L x 2L	2,12500	1,744037	1,21844	0,347279
1L x 3L	1,12500	1,744037	0,64505	0,585008
2L x 3L	-3,37500	1,744037	-1,93516	0,192620
R ²	0,70672			

* p < 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

A Tabela 23 traz os resultados obtidos para a crocância do cereal matinal assado com base na medição do nº médio de picos obtidos na análise de textura. A Tabela 24 traz os coeficientes de regressão obtidos. Tendo sido o R² superior ao limite de corte foi feita a análise de ANOVA como expresso no Anexo A.7 O modelo exibiu R² muito baixo e portanto não se justifica graficar a respectiva “MSR”. Não foi possível, portanto perceber a relação entre a adição de FOS e a crocância. Vale ressaltar que em estudo utilizando cereais matinais extrudados de trigo Brennan et al. (2008) obtiveram um resultado de aumento significativo de nº picos com adição de inulina o que se traduz em aumento de crocância.

Tabela 25- Resultados de força máxima medidos em texturômetro para avaliação de dureza:

Tratamento	Força máxima	Tratamento	Força máxima	Tratamento	Força máxima	Tratamento	Força máxima
T ₁	246	T ₆	124	T ₁₁	130	T _{17(PC)}	218
T ₂	175	T ₇	167	T ₁₂	137	T _{19(PC)}	207
T ₃	235	T ₈	152	T ₁₃	204		
T ₄	211	T ₉	172	T ₁₄	140		
T ₅	182	T ₁₀	138	T _{15(PC)}	210		

A Tabela 25 traz os resultados de força máxima medidos para avaliação de dureza do CM. A Tabela 26 traz os coeficientes de regressão do modelo que obteve um valor de R² superior ao limite de corte e por isso procedeu-se a análise de ANOVA conforme disposto no

Anexo A.8. Foi obtido um R^2 superior ao limite de corte porem apresentou falta de ajuste sendo o modelo apenas presuntivo. Foram feitos os gráficos de “MSR” eliminando os efeitos não significativos conforme estão dispostos nas Figuras 34, 35 e 36. Conforme pode ser visualizado na Tabela 26 todos os coeficientes relacionados à variável dependente temperatura são negativos o que torna claro que incrementos de temperatura causarão diminuição nos valores obtidos no atributo de dureza. A Figura 34 torna isto claro com a curva descendente à medida que ocorre incremento de temperatura. Este resultado esta de acordo com o exposto por Sumithra e Bhattachrya (2008) em estudo sobre a influência da etapa de tostagem em cereais matinais tipo flocos de milho. A umidade mostrou menor efeito na dureza. Sumithra e Bhattachrya (2008) concordam com este resultado e concluem que o conteúdo de umidade tem maior relação com o tempo de tostagem do que com a temperatura desta etapa do processo. Neste ponto vale ressaltar que as características obtidas para um cereal matinal são bastante complexas de serem interpretadas posto que sejam a soma dos efeitos de todas as etapas do processamento desde a extrusão passando pela laminação (LEVINE *et al* 2004) e culminando na etapa de tostagem (SUMITHRA; BHATTACHRYA, 2008). A Figura 32 também ilustra que para faixas de temperatura acima de 90°C obteremos as menores durezas na faixa de umidade trabalhada no estudo.

O efeito do teor de FOS (L) e temperatura (Q) e (L) na textura atributo dureza pode ser percebido na Figura 35. Fica claro que FOS tem influência inversa com o atributo, ou seja, incrementos de FOS acarretaram na diminuição da dureza do produto final assado produzindo uma curva descendente no sentido do incremento da adição da fibra. Regiões de menor dureza serão obtidas na faixa de trabalho acima de 90°C no sentido do incremento do teor de FOS.

A Figura 36 corrobora o efeito da adição de FOS em diminuir a dureza indicando que regiões de menor dureza serão obtidas nas regiões de adição acima de 4% com umidade nos extremos da faixa de umidade. Este resultado concorda com Brennan et al. (2008). Neste caso avaliando a adição de 5, 10 e 15% de inulina à cereais matinais extrudados de trigo perceberam uma diminuição significativa da dureza comparada ao padrão sem adição. A menor dureza foi obtida na adição de 10 % seguida de aumento com o incremento da adição para 15%. Vale salientar que em relação à textura a inulina já foi reportada como um melhorador natural de textura. No sistema do extrudado contendo inulina a água esta suavemente ligada ao gel formado que contribui com a inibição da sinerese (SILVA, 1996). Este resultado não é obtido para adição de outras fontes de fibra. Brennan et al. (2008) reportaram um aumento de dureza com adição de farelo de trigo enquanto que outras fontes de fibra solúvel não tiveram efeito significativo. Isto indica que o uso de FOS pode ser a mais viável fonte de fibras solúveis para obtenção de cereais matinais também enriquecidos com fibras insolúveis tendo em vista que estas atuam prejudicando a textura do produto. Holguín-Acuña et al. (2008) perceberam um aumento da força de ruptura com incrementos de adição de farelo de milho. Uma escolha viável para estudo de formulação seria o desenvolvimento de cereais matinais enriquecido com FOS e farelo de milho promovendo um produto final com elevado teor de fibras dietéticas e provavelmente de textura melhorada em comparação com formulações apenas enriquecidas da fração insolúvel.

Tabela 26- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de dureza de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	209,3227	3,276582	63,8845	0,000245
(1) Temperatura (L)	-21,9053	1,538607	-14,2371	0,004897
Temperatura (Q)	-11,9284	1,693278	-7,0445	0,019562
(2) Umidade (L)	3,6442	1,538607	2,3685	0,141404
Umidade (Q)	-19,5279	1,693278	-11,5326	0,007435
(3) FOS (%) (L)	-20,1818	1,538607	-13,1169	0,005762
FOS (%) (Q)	-5,9194	1,693278	-3,4958	0,072982
1L x 2L	-1,5000	2,010390	-0,7461	0,533372
1L x 3L	2,7500	2,010390	1,3679	0,304762
2L x 3L	11,2500	2,010390	5,5959	0,030482
R ²	0,76133			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

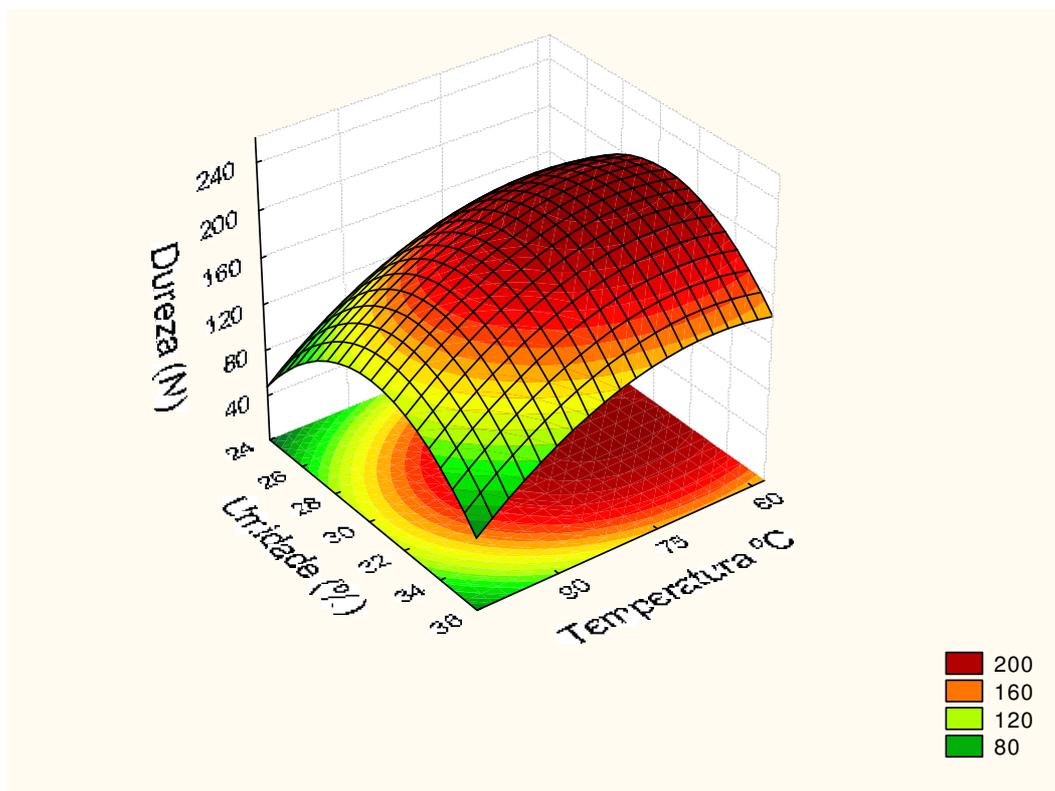


Figura 34: Efeito do teor de Umidade (Q) e Temperatura (Q) e (L) na Textura (atributo dureza) medido em texturômetro.

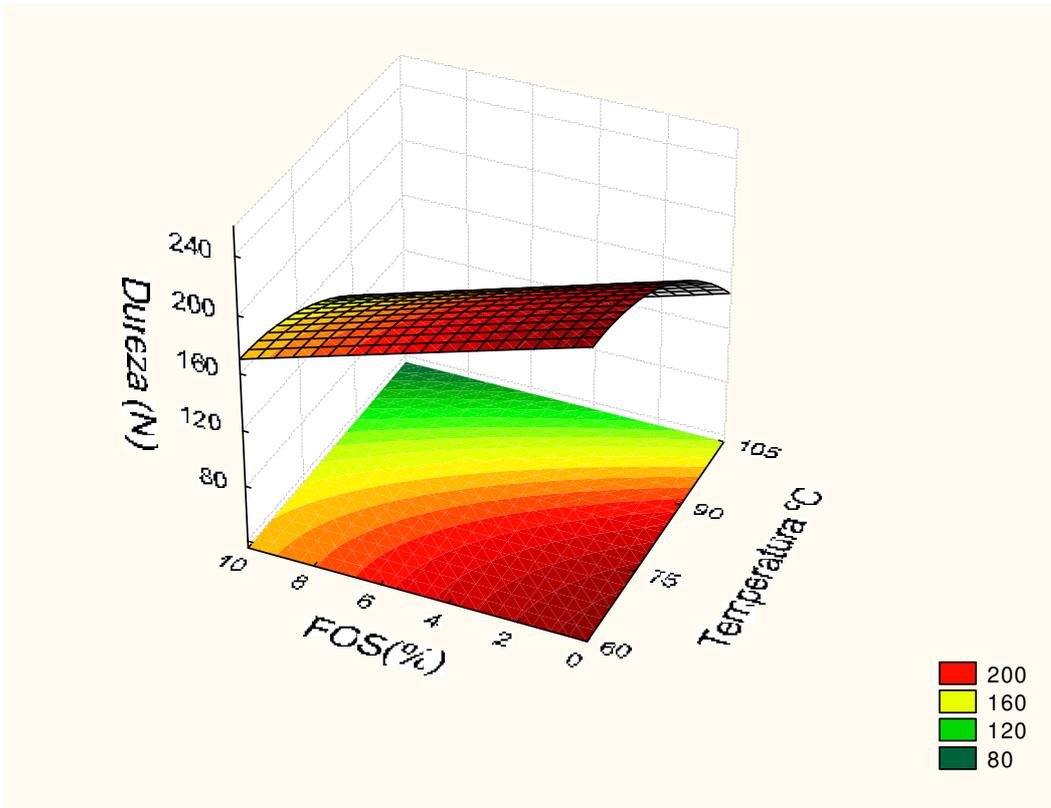


Figura 35: Efeito do teor de FOS (L) e Temperatura (Q) e (L) na Textura (atributo dureza) medido em texturômetro.

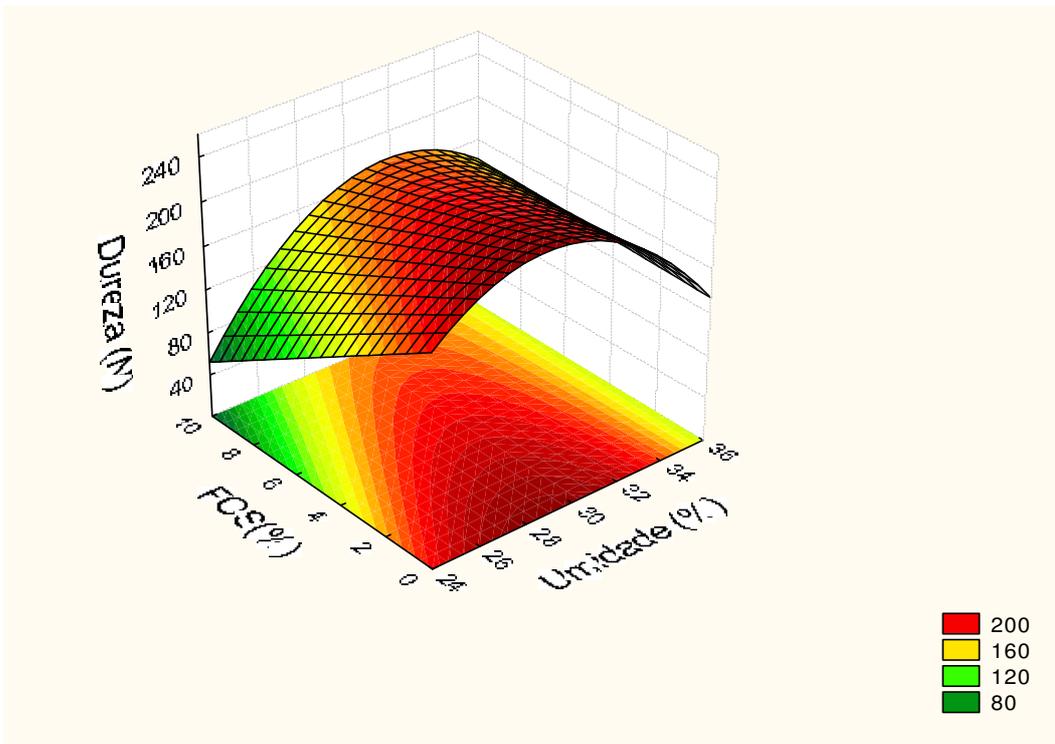


Figura 36: Efeito do teor de FOS (L) e Umidade (Q) na Textura (atributo dureza) medido em texturômetro.

4.8 Tempo de Tigela

A análise do tempo de tigela ou avaliação de perda de textura característica é importante para cereais matinais uma vez que são consumidos imersos em um líquido e se absorverem muito rapidamente a umidade se tornam encharcados, limosos e pegajosos. Estas características são desagradáveis sensorialmente (PUPPALA, 1998)

Tabela 27- Avaliação da perda de consistência com tempo de imersão em leite para replicatas do ponto central e para amostra comercial.

Tratamento	Força máxima		Número de picos	
	0 min.	1 min.	0 min.	1 min.
T _{15(PC)}	210	208	95	4
T _{17(PC)}	218	205	87	12
T _{19(PC)}	207	203	86	16
média	211	205	89	11
desvio	5,7	2,8	4,9	6,1
Comercial (media)	311	48	111	IM

IM= Impossível mensurar, ou seja, não houve registro de picos com excessão do pico gerado pela força máxima.

A Tabela 27 mostra a comparação entre os resultados de força máxima e número de picos entre amostras secas e umedecidas em leite a 10°C por 1 min para as triplicatas do ponto central e as médias obtidas para uma amostra comercial. Foi aplicado o teste t para avaliar se houve diferença significativa entre os resultados. Primeiro procedeu-se o teste t para uma amostra conforme pode ser visto no Anexo E.1 para avaliar se houve diferença significativa entre médias dos pontos centrais utilizados na análise e os dados obtidos na curva média de cereal matinal comercial. Os resultados são os seguintes:

- 1-Observou-se que a média da força máxima das amostras tratadas no tempo inicial foi significativamente inferior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.
- 2- Observou-se que a média da força máxima das amostras tratadas no tempo de 1 minuto foi significativamente superior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.
- 3- Observou-se que a média do número de picos das amostras tratadas no tempo inicial foi significativamente inferior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.

Conforme exposto na Figura 37 o cereal matinal comercial perdeu completamente a crocância após um minuto de imersão. Além disso, o estudo estatístico comprovou que embora o produto desenvolvido apresentasse menor dureza no momento inicial ele conseguiu manter a consistência após 1 minuto de imersão em relação ao produto comercial. A Figura 38 torna este resultado evidente.

Considerando que o tempo médio de consumo de um cereal matinal é de 300 s (TAKEUCHI et al., 2005), seria interessante continuar a análise considerando outros tempos de imersão. Entretanto, os resultados apresentados mostram claramente que no primeiro minuto de imersão o cereal matinal obtido obteve resultados para tempo de tigela superiores ao cereal matinal comercial. Seria interessante analisar a microestrutura para avaliar se a adição de FOS estaria alterando a conformação da estrutura de forma a modificar as vias capilares de absorção de água o que diminuiria a tendência ao encharcamento (LEVINE et al., 2004) .

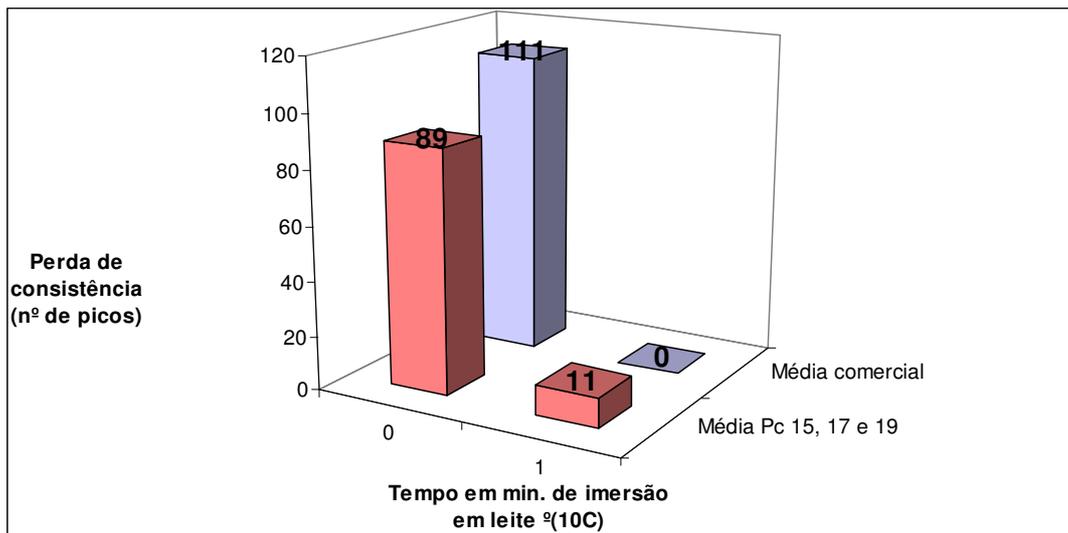


Figura 37: Perda de consistência com tempo de imersão visualizada por diferença no número de picos medidos em texturômetro.

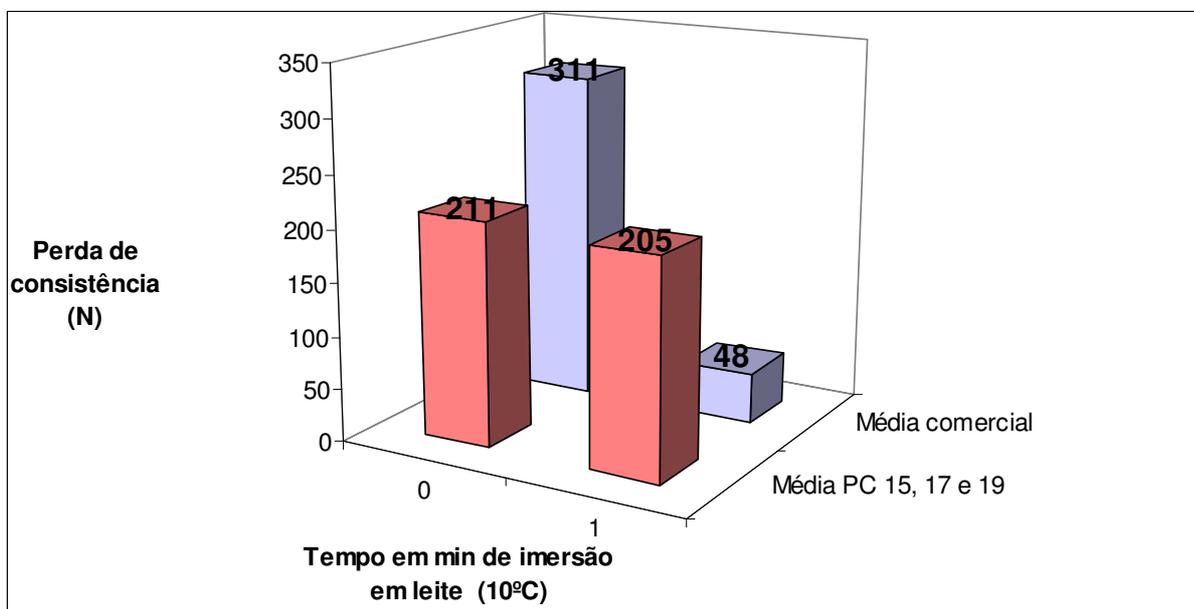


Figura 38: Perda de consistência com tempo de imersão visualizada por diferença na força máxima (dureza em N) medidos em texturômetro.

4.9 Avaliação de Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção de Água (IAA) de Extrudado.

A Tabela 28 traz os resultados de ISA e IAA do CM. A Tabela 29 traz os coeficientes de regressão do modelo de ISA que obteve um valor de R^2 superior ao limite de corte e por isso procedeu-se a análise de ANOVA conforme disposto no Anexo A.10. Foi obtido um R^2 superior ao limite de corte, porém apresentou falta de ajuste sendo o modelo apenas presuntivo. Foram feitos os gráficos de “MSR” eliminando os efeitos não significativos conforme estão dispostos nas Figuras 37, 38 e 39.

Tabela 28- Resultados de ISA e IAA de farinhas de cereais matinais prontos:

Tratamento	IAA	ISA	Tratamento	IAA	ISA
T ₁	6,94	6,99	T ₁₀	5,24	9,59
T ₂	6,82	9,28	T ₁₁	5,97	8,72
T ₃	6,22	6,83	T ₁₂	5,80	8,48
T ₄	5,63	9,66	T ₁₃	6,55	11,17
T ₅	6,72	7,41	T ₁₄	5,63	14,01
T ₆	5,51	9,97	T ₁₅	5,87	8,81
T ₇	5,77	7,75	T ₁₇	5,86	8,50
T ₈	5,77	9,83	T ₁₉	5,72	8,79
T ₉	6,24	7,86			

A Figura 39 evidencia o efeito da temperatura (L) e (Q) e de teor de umidade (Q) na variável independente ISA do CM no teor de FOS de 5%. Um máximo é obtido em regiões de temperatura acima de 75 °C e para valores de umidade em torno do PC. Este resultado é facilmente compreendido uma vez que o ISA depende da quantidade de moléculas solúveis e está relacionado com a degradação do amido. O ISA avalia a severidade do tratamento térmico por meio da solubilização do material extrudado em água indicando a extensão da degradação e dextrinização do amido pelo processo térmico. A umidade também influencia uma vez que uma maior umidade faz com que os grânulos sejam mais preservados durante a extrusão (efeito lubrificante no cisalhamento) acarretando numa menor dextrinização e conseqüentemente num menor valor de ISA (GUTKOSKI, 1997). O efeito lubrificante não foi observado em regiões de baixa umidade talvez porque nestas regiões houvesse apenas água disponível suficiente para rompimento dos grânulos. Segundo Ratnayake e Jacson (2007) a primeira etapa da gelatinização envolve a absorção de água pelo grânulo de amido. Portanto fica evidente que não havendo água disponível suficiente a conseqüência direta será que o fenômeno da gelatinização fica dificultado o que acarreta em diminuição de extensão de formação de resíduo solúvel. A leve inclinação da curva mostra que o efeito de umidade e temperatura foram bastante discretos em alterar os valores de ISA na faixa de trabalho utilizada no estudo.

A Figura 40 traz o efeito de temperatura (L) e (Q) e de teor de FOS (L) e (Q) no ISA do cereal matinal para umidade do ponto central. Fica claro que nesta umidade incrementos de FOS tem efeito positivo na elevação dos valores de ISA para adições de fibra superiores a cerca de 4%. Este resultado é coerente se considerarmos os possíveis efeitos antagônicos do FOS como açúcar complexo. O açúcar ocasiona uma diminuição da atividade de água acarretando numa menor quantidade de água livre disponível para a gelatinização. Segundo Jin e Huff (1994) a menor extensão de gelatinização acarreta numa menor degradação do amido produzindo menores valores de ISA. Por outro lado a partir de um determinado valor de adição é provável que a elevada solubilidade do ingrediente adicionado seria suficiente

para elevar o ISA considerando que no caso em estudo a extensão do trabalho termomecânico é reduzida conforme discutido no tópico 4.5 e conseqüentemente uma dextrinização acentuada não ocorreria.

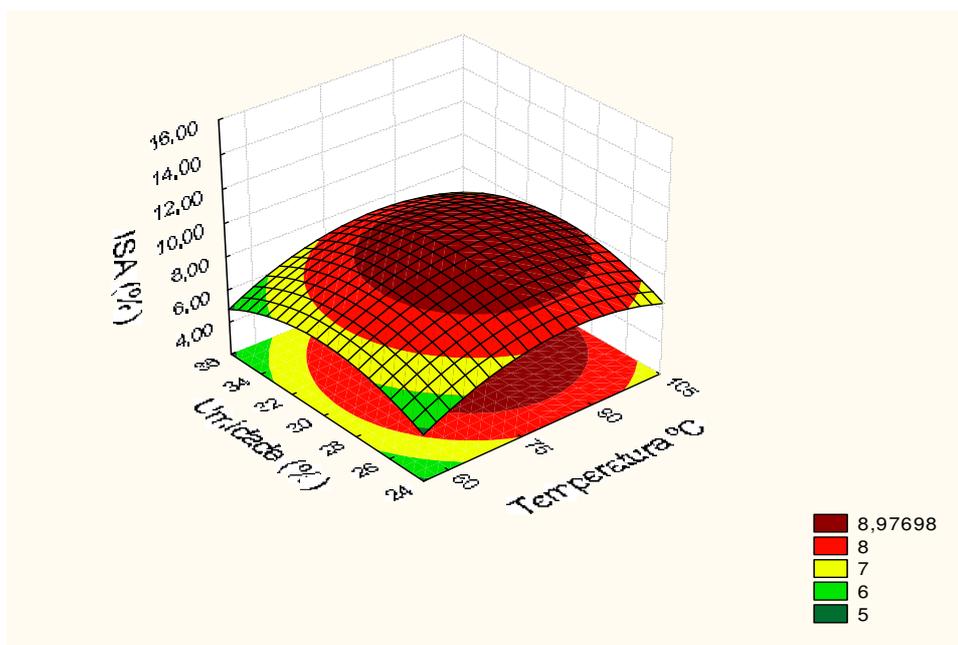
Efeito similar pode ser observado na Figura 41 sobre o efeito de teor de umidade (Q) e de teor de FOS (L) e (Q) no ISA do cereal matinal.

O estudo do efeito dos parâmetros de extrusão no ISA é relevante devido este estar relacionado com a degradação do amido tendo ligação direta com outros parâmetros de qualidade como crocância e tempo de tigela. Uma elevada degradação da matriz amilácea está relacionada a extrudados de parede celular frágil e porosidade não uniforme o que acarreta em diminuição da sensação de crocância. Também é reportado como acarretando diminuição de tempo de tigela (LEVINE et al., 2004). Entretanto, no caso estudado, considerando os resultados do tópico 4.5 que evidenciaram pequeno cisalhamento nos tratamentos e do tópico 4.8 que evidenciaram um elevado tempo de tigela a elevação do ISA parece estar mais relacionada com a elevada solubilidade da fonte de fibra do que com a extensão da degradação da matriz amilácea.

Tabela 29- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de ISA do CM.

Variáveis independentes	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	8,801651	0,099972	88,04102	0,000129
(1) Temperatura (L)	0,374123	0,046945	7,96945	0,015383
Temperatura (Q)	-0,342498	0,051664	-6,62936	0,022006
(2) Umidade (L)	0,001195	0,046945	0,02545	0,982005
Umidade (Q)	-0,386681	0,051664	-7,48457	0,017387
(3) FOS (%) (L)	1,064330	0,046945	22,67203	0,001940
FOS (%) (Q)	1,023649	0,051664	19,81367	0,002538
R ²	0,81053			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos



Figura

39- Superfície de resposta de efeito de temperatura (L) e (Q) e de teor de umidade (Q) no ISA do CM.

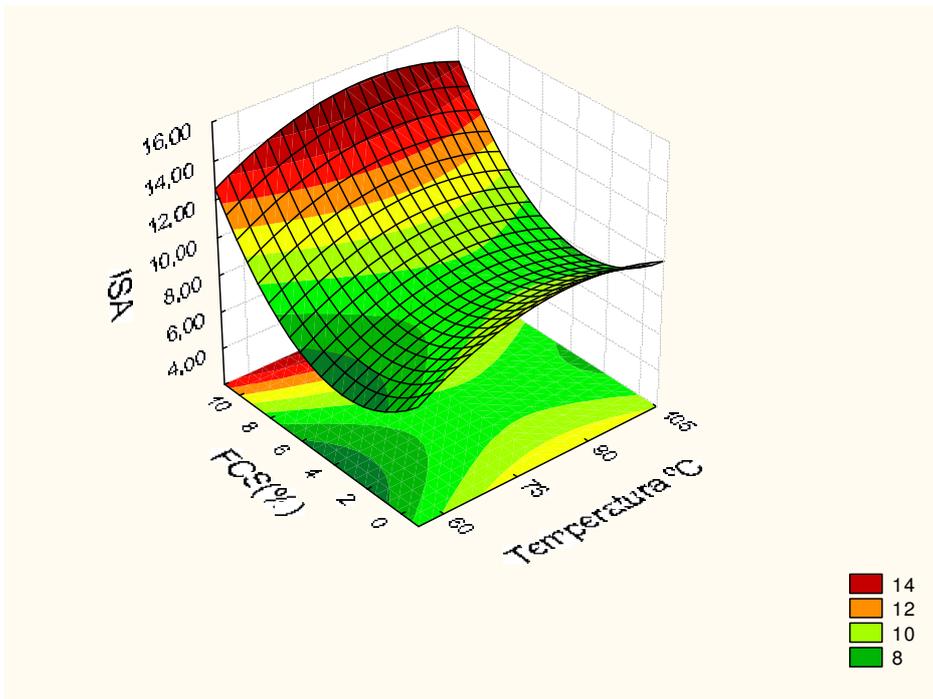


Figura 40- Superfície de resposta de efeito de temperatura (L) e (Q) e de teor de FOS (L) e (Q) no ISA do CM.

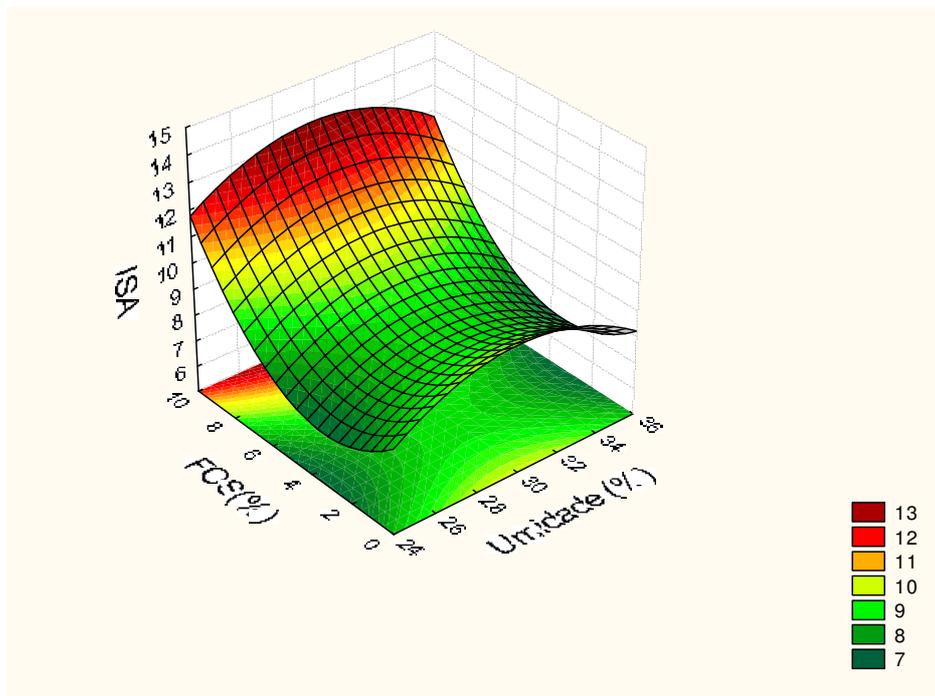


Figura 41- Superfície de resposta de efeito de teor de umidade (Q) e de teor de FOS (L) e (Q) no ISA do CM.

A Tabela 30 traz os coeficientes de regressão do modelo de IAA que obteve um valor de R^2 superior ao limite de corte e por isso procedeu-se a análise de ANOVA conforme disposto no Anexo A.11. Foi obtido um R^2 superior ao limite de corte com ajuste e baixo erro

puro sendo o modelo preditivo. Foram feitos os gráficos de “MSR” eliminando os efeitos não significativos conforme estão dispostos nas Figuras 42, 43 e 44. O polinômio obtido no modelo está descrito a seguir:

$$Y = 5,799837 - 0,257866 x_1 - 0,211297 x_2 - 0,253872 x_3 + 0,154782 x_{33}^2 + 0,152500 x_{12}$$

Segundo Pupalla, (1998) o IAA é importante para o cereal matinal uma vez que permite prever a possível perda de crocância quando vertido num líquido. Cereais com valores elevados de IAA tendem a ficar encharcados em curto período de tempo. Reportou ainda que processamentos com alta umidade e baixo cisalhamento não produzem um elevado rompimento dos grânulos, ao contrario se o processamento for feito em baixa umidade e elevado cisalhamento o resultado será um material que absorve água muito rapidamente se tornando pegajoso, encharcado e apresentando uma palatabilidade não característica.

No estudo reportado por Pupalla, (1998) para 6 marcas comerciais o valor de IAA obtido variou 5,43 a 6,23 sendo próximo ao valor obtido por T₁₃ referente ao tratamento com 0% de teor de FOS que foi de 6,55.

Considerando a Figura 42 que evidencia o efeito de temperatura e teor de umidade e interação no IAA do cereal matinal percebe-se que incrementos de temperatura diminuiriam o IAA o que é esperado devido a formação de dextrinas e que a elevação de umidade acarretará em leve diminuição do IAA devido efeito lubrificante da água. Estes efeitos suaves são decorrentes do pequeno trabalho termomecânico sofrido pelo material como já discutido anteriormente no tópico 4.5.

Considerando as Figuras 43 e 44 percebe-se que incrementos de FOS para valores fixados de temperatura (Figura 43) e umidade Figura (44) acarretam na diminuição do IAA. Este efeito é relevante uma vez que como já dito anteriormente um elevado IAA esta negativamente relacionado com a qualidade do produto final. Este resultado corrobora com o bom resultado obtido para análise do tempo de tigela.

Tabela 30 - Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de IAA de CM.

Variáveis independentes	Coeficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	5,799837	0,048326	120,0161	0,000069
(1) Temperatura (L)	-0,257866	0,022693	-11,3635	0,007655
Temperatura (Q)	0,031069	0,024974	1,2441	0,339505
(2) Umidade (L)	-0,211297	0,022693	-9,3113	0,011338
Umidade (Q)	0,082322	0,024974	3,2963	0,081007
(3) FOS (%) (L)	-0,253872	0,022693	-11,1874	0,007895
FOS (%) (Q)	0,154782	0,024974	6,1978	0,025059
1L x 2L	0,152500	0,029651	5,1432	0,035787
1L x 3L	-0,062500	0,029651	-2,1079	0,169583
2L x 3L	0,092500	0,029651	3,1197	0,089215
R ²	0,77704			

* p ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

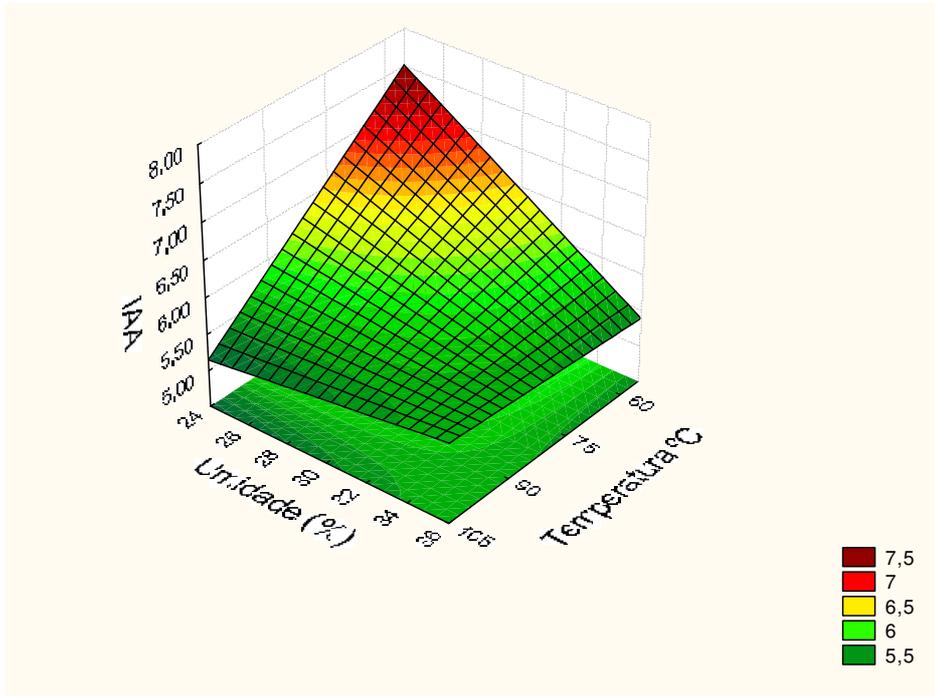


Figura 42- Superfície de resposta de Efeito de Temperatura (L) e teor de Umidade (L) e interação no IAA do CM.

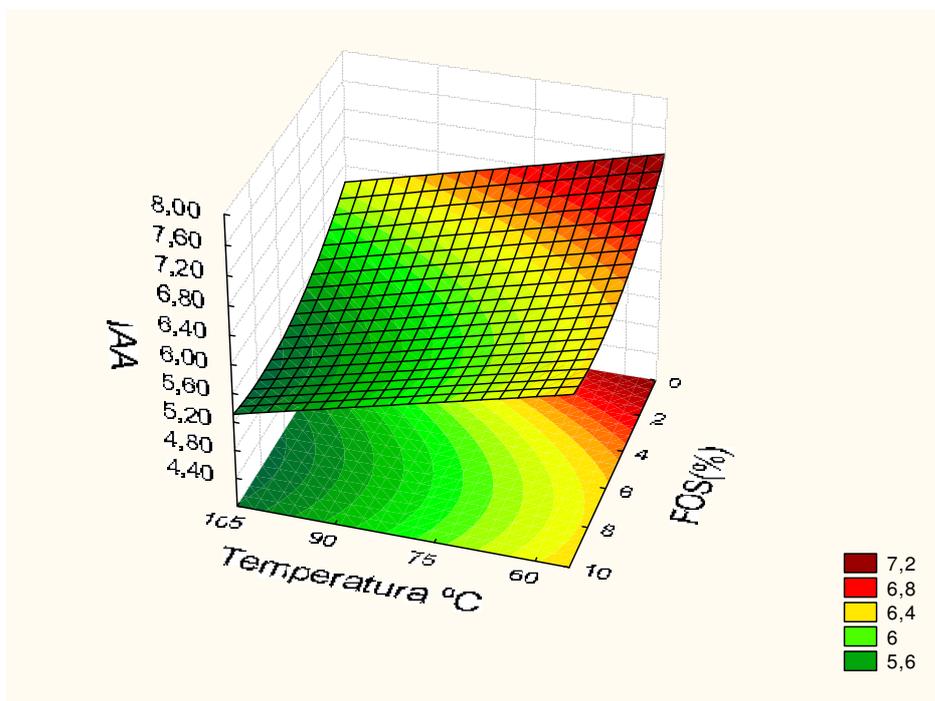


Figura 43- Superfície de resposta de Efeito de Temperatura (L) e teor de FOS (L) e (Q)

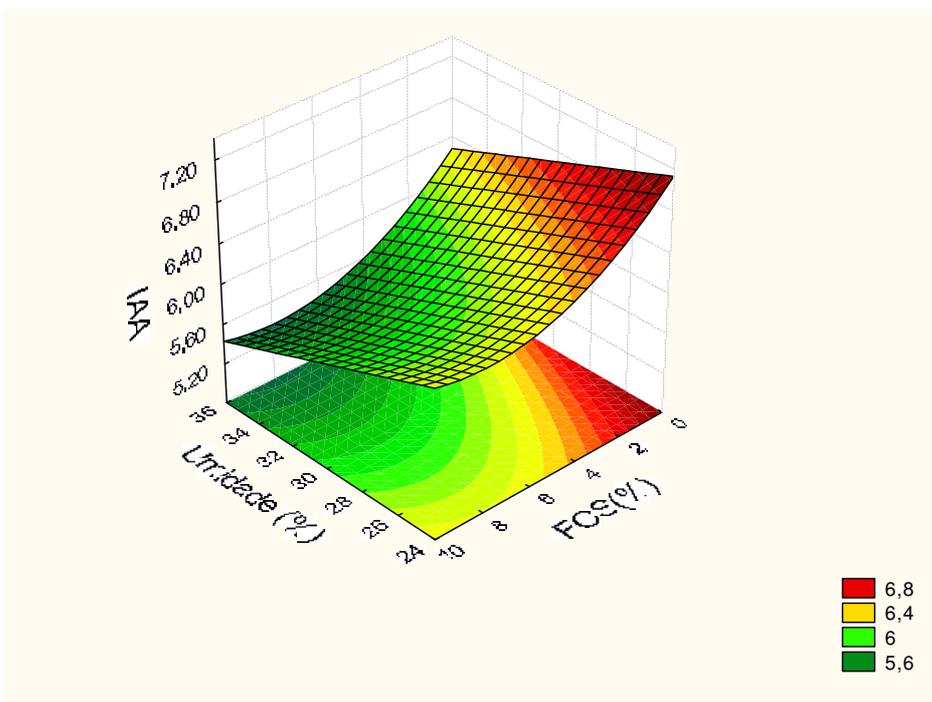


Figura 44- Superfície de resposta de Efeito de teor de Umidade (L) e teor de FOS (L) e (Q) no IAA do CM.

4.10 Determinação de Vazão de Extrusão:

A vazão é um dado relevante para um processo industrial se considerarmos que de acordo com Miller e Mulvaney, (2000) a produtividade do processo de extrusão é dependente entre outros fatores da vazão volumétrica da matriz. A Tabela 31 mostra os resultados obtidos para as médias de vazão do processo de extrusão do cereal matinal.

Tabela 31- Média de vazão de extrusão:

Tratamento	Vazão (kg/h)	Tratamento	Vazão (kg/h)	Tratamento	Vazão (kg/h)	Tratamento	Vazão (kg/h)
T ₁	2,25	T ₆	1,75	T ₁₁	2,53	T _{16(PC)}	1,49
T ₂	1,98	T ₇	1,95	T ₁₂	1,46	T _{17(PC)}	1,38
T ₃	1,72	T ₈	1,55	T ₁₃	2,69	T _{18(PC)}	1,54
T ₄	0,79	T ₉	1,30	T ₁₄	1,61	T _{19(PC)}	1,52
T ₅	1,46	T ₁₀	2,22	T _{15(PC)}	1,58	T _{20(PC)}	1,63

(PC) = Replicas do Ponto central utilizadas no calculo estatístico.

A Tabela 32 mostra os resultados dos coeficientes de regressão da variável de resposta vazão. Observa-se que todos os valores foram significativos com exceção do efeito quadrático da temperatura. Devido o valor de R^2 ser superior a 0,7 foi realizado o cálculo da ANOVA como pode ser visto no Anexo A.12 O resultado foi significativo porem com falta de ajuste indicando que o modelo não é preditivo. Os gráficos de “MSR” foram plotados eliminando o efeito não significativo da temperatura (Q).

A Figura 45 mostra o efeito de umidade (L) e (Q) e temperatura (L) na vazão bem como os efeitos das interações. Percebe-se que os máximos de vazão estão nos extremos da superfície onde a umidade e a temperatura possuem valores reduzidos ou onde a umidade e temperatura são elevadas. Percebe-se ainda que a região de baixa temperatura e elevada

umidade apresenta os piores resultados para esta variável. Este resultado facilitaria a otimização de escolhas de faixa de temperatura e umidade para uma produção industrial.

Tabela 32- Coeficientes de regressão e parâmetros de modelo de vazão de extrusão de cereais matinais.

Variáveis independentes	Fonte de Variação	Coefficientes de Regressão	Erro padrão Erro puro	Teste t	p*
Média	β_0	1,520184	0,043430	35,0031	0,000051
(1) Temperatura (L)	β_1	0,111101	0,023537	4,7202	0,018010
Temperatura (Q)	β_{11}	0,021949	0,024454	0,8976	0,435560
(2) Umidade (L)	β_2	-0,236468	0,023537	-10,0466	0,002100
Umidade (Q)	β_{22}	0,105014	0,024454	4,2944	0,023221
(3) FOS (%) (L)	β_3	-0,228914	0,023537	-9,7256	0,002309
FOS (%) (Q)	β_{33}	0,159801	0,024454	6,5348	0,007283
1L x 2L	β_{12}	0,251250	0,030754	8,1696	0,003836
1L x 3L	β_{13}	0,136250	0,030754	4,4303	0,021368
2L x 3L	β_{23}	-0,168750	0,030754	-5,4870	0,011908
R^2	0,7980				
MS Erro puro	0,0075667				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos estatisticamente.

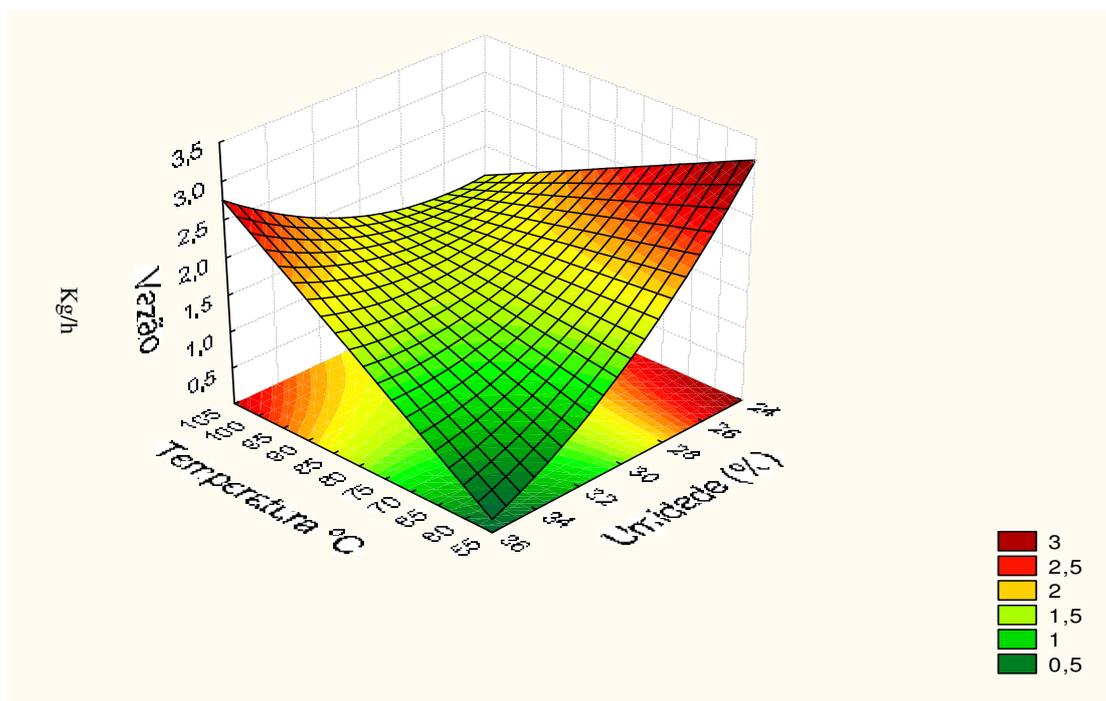


Figura 45: Superfície de resposta de efeito de teor de umidade (L) (Q) e temperatura (L) na vazão da extrusão.

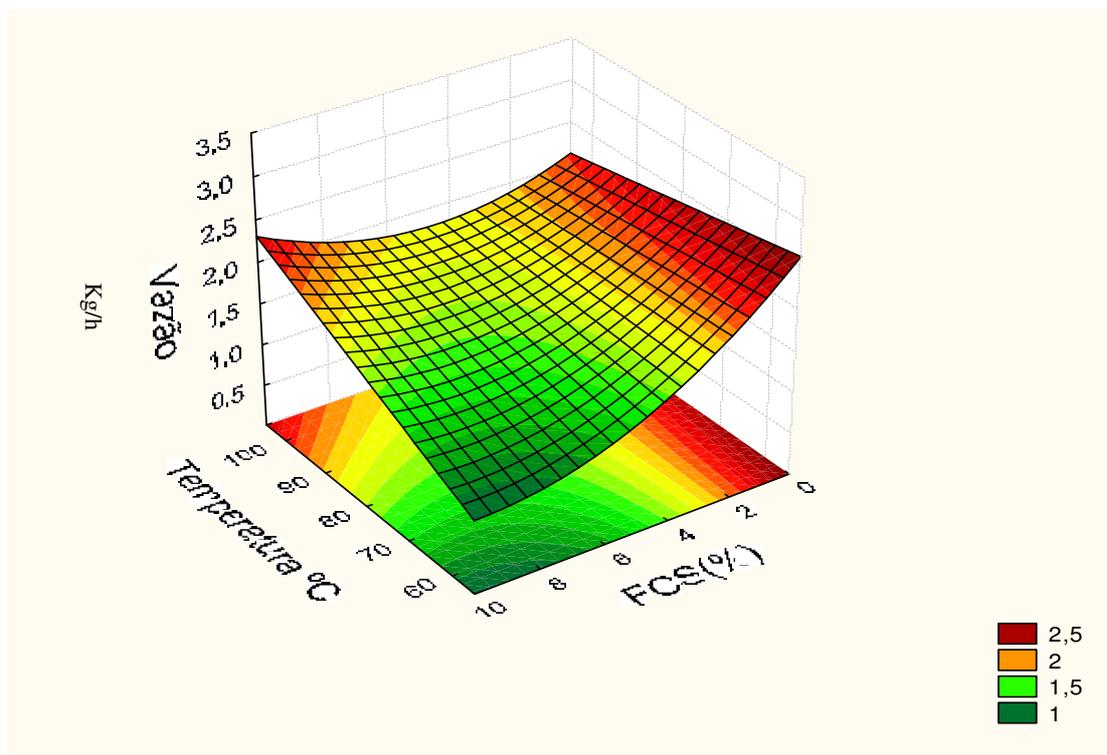


Figura 46: Gráfico de superfície de resposta de efeito de teor de FOS (L) (Q) e temperatura (L) na vazão da extrusão.

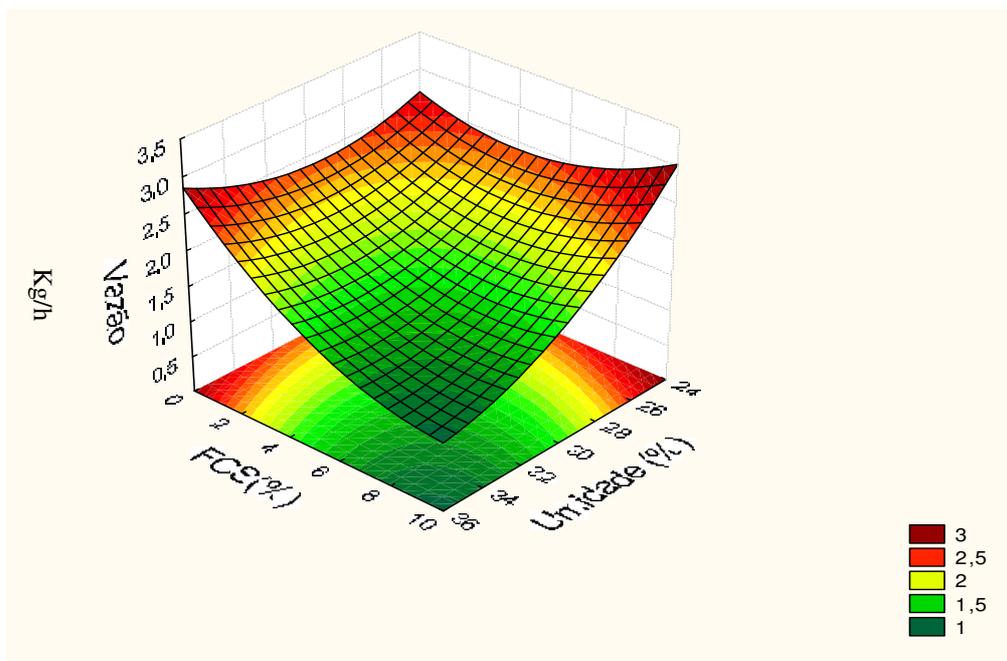


Figura 47: Gráfico de superfície de resposta de efeito de teor de FOS (L) (Q) e teor de Umidade (L) (Q) na vazão da extrusão.

Considerando a Figura 46 que ilustra o efeito da adição de FOS (L) e (Q) e a temperatura (L) e os efeitos das interações percebe-se novamente que existe a tendência a máximos de vazão em valores extremos da superfície. Os máximos se posicionam na região de elevada temperatura de extrusão e elevados teores de adição de FOS ou na região de baixas temperaturas de operação e baixos níveis de adição de fruto-oligossacarídeos. Neste caso porém o efeito da adição de FOS é negativamente mais pronunciado resultando que em baixos valores de adição de FOS temos máximos de vazão para uma faixa bastante ampla de temperatura de operação.

Considerando o efeito do teor de adição de FOS (L) e (Q) e o teor de umidade (L) e (Q) e os efeitos das interações descritos na Figura 47 nota-se que a região de mínimo se encontra nos valores de elevada umidade e elevado teor de adição de fruto-oligossacarídeo. Os demais extremos apresentam regiões onde as taxas de vazão são máximas.

5 CONCLUSÃO

1- O estudo demonstrou que é perfeitamente viável a elaboração de um cereal matinal enriquecido com fruto-oligossacarídeos até a adição de 10%.

2- O produto final enriquecido de FOS não apresentou perdas no processo.

3- O produto foi efetivo em elevar a taxa de ingestão de açúcares complexos/açúcares simples em relação à adição de FOS.

4- As condições de extrudabilidade do ponto central (5% FOS, 30% de umidade e 80°C de Temperatura da terceira zona) foram eficientes em produzir um alimento com < 10 UFC/g para Bolores, Leveduras e < 0,3 NMP/g para Coliformes a 45°C ao nível do ponto central

5- Foi confirmado que houve pouca modificação do material amiláceo devido às análises de viscosidade de pasta serem muito similares entre os tratamentos. De fato são próximas a uma curva de amido não gelatinizado

6- As densidades relativas e absolutas dos produtos crus foram maiores do que dos produtos assados o que indica que houve um grau de expansão. FOS não teve efeito na densidade absoluta o que é positivo posto que indica que o FOS não tem influência em alterar o volume absoluto do material.

7- O FOS tem efeito em aumentar a maciez do produto.

8- O produto com adição de 5% de FOS mostrou ter uma maior vida de tigela que um produto comercial.

9- O fruto-oligossacarídeo foi efetivo em diminuir o IAA o que é positivo tendo em vista que um aumento deste parâmetro produz produtos que rapidamente se encharcam tornando-se desagradáveis sensorialmente. Este resultado corrobora com o efeito do FOS no aumento do tempo de tigela.

10- Dentre as condições de extrudabilidade, nos parâmetros estudados, as melhores condições de vazão para otimização de um processo com a adição de 5% de FOS foram obtidas para umidades inferiores a 28% e temperaturas superiores a 80°C.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACNielsen Global Services. Os Produtos Mais Quentes do Mundo - Informações Sobre o Crescimento de Categorias de Alimentos & Bebidas em 2004. Relatório Executivo de Notícias, Dezembro de 2004. Disponível em <http://br.nielsen.com/press/documents/MercadosenCrecimiento2004.pdf>. Acessado em 30 de julho 2008.

ACNielsen Serviços Globais. A Força da Marca Própria - Uma Análise das Tendências de Crescimento ao Redor do Mundo. Relatório Executivo de Notícias - Julho 2003. Disponível em http://br.nielsen.com/reports/documents/AForcadaMarcaPropria_final.pdf. Acessado em 30 de julho de 2008.

ALONSO, R. et al. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, v. 68, n.2, p. 159-165, 2000.

ALVIM, I.D. Efeito da extrusão termoplástica sobre propriedades funcionais e nutricionais de farinha à base de milho, caseína e derivados de levedura. Campinas, 2001. 104p Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

ANDERSON, R. A. et al. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1. 1969. p. 4-12.

ANTON, A. A.; LUCIANO, F. B. Instrumental texture evaluation of extruded “snack” foods: a review. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**. v. 5, p 245-251, 2007.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Apostila de extrusão de Alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de Alimentos para o consumo Humano**, EMBRAPA CTAA, 2008.

ASCHERI, J. L. R. et al. Elaboração de “snacks” e farinha instantânea de amaranto /arroz. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA. 2 p, out. 2003. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 62).

ASCHERI, J. L. R. e CARVALHO, C. W. P. Características de fubá extrusado. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA. 3 p dez, 2006. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 98).

ASHWELL, M. **Concepts of functional foods**. International Life Science Institute (ILSI) Europe Concise Monograph Series, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO Abia. **Mercado Brasileiro dos alimentos industrializados**, 2005 disponível em: http://www.anuarioabia.com.br/editorial_05.htm, acessado em 20 de julho de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MACARRÃO ABIMA. **Consumo de fibras aumenta no país**, 2010 disponível em: http://www.abima.com.br/na_noticias_dp.asp?cod=339, acessado em 12/02/2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MACARRÃO ABIMA. **Alimentos de fibra**, 2010 disponível em: http://www.abima.com.br/na_noticias_dp.asp?cod=332, acessado em 12/02/2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MILHO ABIMILHO. **Processos Industriais e Aplicações**, 2008. Disponível em <http://www.abimilho.com.br/processo3.htm>, acessado em 30 de novembro de 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC international**. 14 ed, Virginia, 1984, v. 2.

BARROS NETO, et al. **Planejamento e otimização de experimentos**. Ed. Unicamp. Campinas, 299p, 1996.

BECKER, A. et al. Relevance of Amylose-Lipid Complexes to the Behaviour of Thermally Processed Starches. **Starch**, v. 53, p. 121-130, 2001.

BINGHAM, S.A et al. Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. **Lancet** 361, 1496–1501, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 27/1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=97>. Acessado em 24 de fevereiro de 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 12/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos Para Alimentos. Diário Oficial da União. Brasília (DF); 10 de janeiro de 2001.

BRENNAN, M. A. et al. Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration, **International journal of food science and technology**, v 43 pag 2278 – 2288, 2008.

CABELLO, C. Extração e pré-tratamento químico de frutanos de yacon, *Polynia sonchifolia*. **Ciênc. e Tecnol. de Aliment.**, Campinas, nº25 v(2): 202-207, abr.- jun., 2005.

CALABRESE, V. T.; KHAN; A. Amylose-iodine complex formation without KI: Evidence for absence of iodine ions within the complex. **Journal of Polymer Science Part A- Polymer Chemistry**, 37, 2711-2717, 1999.

CAMIRE, M. E.; A.; KRUMAHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. Critical Review in **Food Science and Nutrition**. Boca Raton, v. 29, n. 1 p 35-37, 1990.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos trans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p.363-369, jun. 2005.

CARVALHO, R. V. Formulações de “snacks” de terceira geração por extrusão: caracterização textuométrica e microestrutural. Lavras (MG), 89 p., 2000. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, C. W. P. Effect of sugar on the extrusion of maize and wheat. Loughborough, 2001, 175 p, Tese (Doctor of Philosophy), University of Nottingham.

CARVALHO, W. P. et al. Elaboração de “snacks” de arroz formulados com açúcar por extrusão. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, out 2003. 2p (EMBRAPA-CTAA. Comunicado Técnico, 60).

CASÉ, F. et al. Produção de leite de soja enriquecido com cálcio. **Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n.1, p. 86-91, jan. -mar. 2005.

CASTELLS, M., et al. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review. **Food Add. Contam.** 22, p. 150–157, 2005.

CELIS, L. P. C; et al. A Ready-to-eat breakfast cereal from food-grade sorghum, **American Association of Food Chemists**. v.73, n1, p 108-113

CEPEA. **Barreiras técnicas ao comércio internacional**. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br>, acessado em 23 de outubro 2006.

CEREDA, M. P. et al. O. L. G. DA S. Modificação da Fécula por Fermentação In LIMA U. D.A. **Biotecnologia Industrial** . v. 3. Cap 20. São Paulo. Edgard Blüncher LTDA, 2001, p 413-417.

CHAUNIER, L. et al. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. **Journal of Texture Studies**. v. 36 p. 93-118, 2005.

CHAUNIER, L. et al. Relationships between texture, mechanical properties and structure of cornflakes. **Food Research International**. v. 40, p. 493-503, 2007.

CHEN, J. et al. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, vol. 56, n. 1, p.84 – 89, 1991.1996.

Compilation of ASTM Standard Definitions, 8th edition. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994.

COSTA, P. R.; MATINEZ, T. L. R. Nutritional Treatment in Hypercholesterolemia. **Rev. Soc. Cardiol. Estado de São Paulo**. 4: 475-84; 1997.

CUMMINGS, et al. Dietary carbohydrates and health: do we still need the fibre concept? **Clinical Nutrition supplements**. v 1, p. 5–1, 2004.

DAHLEEN, L.S.; et al. Transgenic approaches to combat *Fusarium* head blight in wheat and barley. **Crop Sci**. 41, 628–637, 2001.

- DANIEL, B. Maturing fiber in gastrointestinal foods. **Heath Foods European Summit**. 2005.
- DAVIES, A. J. Considerations in the fortification of breakfast foods. **Cereal Foods World**. V 40, n 6, pp 434-436, 1995.
- DUARTE, J. O. Cultivo de milho – Economia da Produção. Comunicado tecnico EMBRAPA milho e sorgo. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 4^a edição Set./2008. Acessado em 29 de novembro de 2009. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economia.htm>
- ESKINAZI, M. Snacks a qualquer hora em qualquer lugar. **Alimentos & Tecnologia Business**. SP v. 15, n 91, PA 28-29, 2000.
- EYRE, H. *et al.* Preventing câncer, cardiovascular disease, and diabets: A common agenda for the American Cancer Society, the American Diebetes Association, and the heart Association. **CA Cancer J Clin**. v 54, p 190 – 207, 2004.
- FAIRCHILD, R. M. *et al.* A New Break Fast Cereal Containing Guar Gum Reduces Postprandial Plasma Glucose And Insulin Concentrations In Normal-weight Humam Subjects. **British Journal of Nutricion**, Cardiff, v. 76, pag, 63 – 73, 1996.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF. M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996.
- FRANCO, C. M. L *et al.* Série **Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo. Fundação Cargill, 2002.
- FRANÇOLIN, E. Benefícios de fibra solúvel prebiótica no consumo de sorvetes. 2007 Disponível em <http://www.abis.com.br/palestras/BeneficiosdeFibraSoluvclPrebiotica.pdf>. Acessado em 29/02/2010.
- FERNANDEZ, M.L Distinct Mechanisms of Plasma LDL Lowering by Dietary Fiber in Guinea Pig: Specific Effects of Pectin, Guar Gum and Psyllium. **J. Lip. Research**. 36: 2394-04, 1995.
- FONSECA FILHO, A. A. *et. al.* Assessing the Tecnological Quality of Bread Enriched with Wheat Bran. **Alim. Nutr.** (São Paulo), v. 8, p. 17-25, 1997.
- FRIEDMAN, G. Diet and the Irritable Bowel Syndrome. **Gastroenterology Clinics of North AAmerica**-Vol. 20 No. 2, June, 1991.
- FURLAN, A. C. *et al.* Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com rações contendo milho extrudado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1157-1165, out. 2003.
- GIBSON, G. R. Fibre and effects on probiotics (the prebiotic concept). **Clinical Nutrition Supplements**. v 1, pp 25–31, 2004.

GOTO, K., et al. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Poymnia sonchifolia*). **Biosci. Biotech. Biochem.** . v. 59, p. 2346-2347, 1995.

GUTKOSKI, L.C. Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade. Campinas, 1997. 241 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

HARPER, J.M. A. Comparative analyses of single- and twin-screw extruders. In: KOKINI, J.L., HO, C.T., KARWE, M.V. (ed), **Food extrusion science and technology**, Marcel Dekker Ed.: Nova Iorque, 1992. P. 139-148.

HARTEMINK, R; et al. Growth of enterobacteria on fructo-oligosaccharides. **Journal of Applied Microbiology**, Wageningen, v.383, p.367-374, 1997.

HAUCK; B.W.; HUBER; G. R. Single screw vs Twin screw extrusion. **The American Association of Cereal Chemists**: KS, v. 34, n. 11, 1989.

HIDAKA, H. et al. **Effects of fructooligosaccharids on intestinal flora and human health. Bifidobacterium Microflora**. Toio, v.S, p.37-50, 1986.

HOEBREGS, H., et al. Fructans in foods and food products, ion-exchange chromatographic method: collaborative study. **Journal of AOAC International**. v. 80, nº 5, p 1029-1037, 1997.

HOLGUÍN-ACUÑA; A. L. et al. Maize bran/oat flour extruded breakfast cereal: A novel source of complex polysaccharides and an antioxidant. **Food Chemistry**. v. 111, p 654-657, 2008.

HUANG, W. N. Comparing cornflake manufacture processes. **Cereal Foods World**. V. 43 n. 8, p 641-643, 1998.

JACOBS, R.L. Fiber and Colon Cancer. **Gast. Clin. North Am.** 17: 747-60, 1988

JIN, Z. H. F.; AND HUFF, H. E. Extrusion-cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. **Cereal Chemistry**, v 71, pag 227-234, 1994.

JIN, Z., H. F.; HUFF, H. E. Effect of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. **Journal of Cereal Science**. V 22, p 185-194. 1995

KAMRAN, M. Ready-to-eat (RTE) Wheat Breakfast Cereal as a High-fiber Diet., **Journal of Food Processing and Preservation**, v 32, pag 853-867, 2008.

KEARSLEY, M. W.; SICARD, P. J. **The chemistry of starches and sugars present in food**. In J. Dobbing (Ed.), *Dietary starches and sugars in man: A comparison* (pp. 1–34). London: Springer, 1989.

- KELLEY, T.R.; WALKER, P.M. Bacterial concentration reduction in swine waste amended livestock feed using a single-screw dry-extrusion process. **Bioresource Technology**, v. 75, p. 189-95, 2000.
- KUAKPETTON, D.; WANG, Y. J. Characterization of different oxidized by hypochlorite. **Starch/Stärke**, 2006.
- LEVINE, L. Musing on the mechanic of flaking rolls. **Cereal Foods World**. 38:873, 1993.
- LEVINE; L. et al. Observations on physicochemical changes with flaking. **American Association of Cereal Chemists**, v. 49, n 2, pag 65-70, 2004.
- LOPEZ, H. W. et al. Fructooligosaccharides enhance mineral apparent absorption and counteract the deleterious effects of phytic acid on mineral homeostasis in rats. **J nutr Biochem**, Clermont-Fd/theix, França, v.11, p.500-508, 2000.
- MACRAE, R. **Food Science and technology – A series of monographies: HPLC in food analyses**. Ed. Academic Press, 2^o ed. p 77, 1998.
- MARIOTT, M et al. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. **Journal of Cereal Science** v. 43, p 47-56, 2006.
- MARTINI, S. A.; PHILLIPS, M.; Nutricional and food commodities in the 20th century. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v 57, p 8130 – 8135, 2009.
- MC. NEIL, et al. Short Chain Fatty Acid Absorption by the Human Large Intestine. **Gut**. 19: 819-22; 1978.
- MEHLMAN, I. J.; ANDREWS, W. H. Coliform bacteria In: Bacteriological Analytical Manual. 5 ed. Washington : Published and Distributed by Association of Official Analytical Chemist (AOAC), 1978, cap. 4., p. v1-v6.
- MERCIER, C. et al. Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. **Cereal Chemistry**, vol . 57, n. 1, p. 4 – 9, 1980.
- MILLER, R. C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on products characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, p 249-253, 1985.
- MILLER, R. C.; MULVANEY, S. **Unit operations and equipment: IV. Extrusion and extruders**, In: FAST, R.; CALDWELL, E. (ed), Breakfast and how they are made, 2ed., American Association of Cereal Chemists: Minnesota, 2000. P. 215-278.
- MISHRA, S.; RAI, T.; Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**. v 20, p 557-566, 2006.
- MOSCATTO, J. A. et al. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciênc. e Tecnol. de Aliment.** , Campinas, nº24 v(4): 634-640, out. – dez., 2004.
- MUNHOZ, M. P. et al. Influence of hydrocolloids in texture of corn starch gel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p.403-406, jul/ set. 2004

MURPHY, P. A. et al. Food Mycotoxins: An Update. **Journal of food science** nº 71, volume 5, pg 51 – 65, 2006.

NÚÑEZ, M., et al. Thermal Characterization and phase behavior of a ready-to-eat breakfast cereal formulation and its starchy components. **Food Biophysics**. v 4, p 291 – 303, 2009.

NUTTAL, F.Q. Dietary Fiber in The Management of Diabetes. **Diabetes**; 42: 403-08; 1993

OHTA, A et al.; Effects of fructooligosaccharides on the absorption of iron, calcium and magnesium in iron-deficient anemic rats. **J of Nutr. Sei and Vitam, Sakado Shi Saitama**, v.41, p.281-291, 1995b.

OTUTUMI, L. K. et al. Digestibilidade e Atividade Enzimática Intestinal de Coelho em Crescimento Alimentados com Diferentes Fontes de Amido Processadas ou não por Extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p.557-567, 2005.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Fructooligosacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, Apr. 2003 Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000200034&lng=en&nrm=iso>. access on 25 Dec. 2009. doi: 10.1590/S0103-84782003000200034.

PASQUIER, B. et al. Emulsification and Lipolysis of Triacylglycerols are Altered by Viscous Soluble Dietary Fiber in Acidic Gastric medium “in vitro”. **Biochem. J.** 314: 269-75, 1996.

PEREIRA, M. V. L. et al. Avaliação biológica da farinha de milho QPM (Quality protein maize) obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**, v. 2, n. 2. abr. 1998. p. 42-48.

POMERAZ, Y. **Modern Cereal Science and Technology**. VCH Publishers, New York. 1987.

PROCISUR: Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico del Cono Sur. Subprograma Agroindustria. Mapeo tecnológico de cadenas agroalimentarias en el Cono Sur / PROCISUR; IICA. -- Montevideo; 278 p, 1997.

PUPPALA, V. Texture comparison of tradicional and extruded cornflakes. **Cereal Foods World**. v 43, n 8 pp 650- 652, 1998.

RAMIREZ, J. L.; WANDERLEY C. ; Efecto de los Parametros de Extrusion, Características de Pasta Y Textura de Pellets (“snack”s de Tercera Generacion) Producidos a partir de Trigo y Maiz. **Alimentaria**, Enero-Febrero. 97/93.

RATNAYAKE, W.; JACKSON, D. A new insight into the gelatinização process of native starches. **Carbohydrate Polymers**. v 67, p 511 – 529, 2007.

RIAZ, M.N. Selección del extrusor correcto. In: GUY, R. (ED), **Extrusión de los alimentos**, Acribia: Zanagoza, p. 29-50. 2001.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo. Edgard Blücher, 2004.

ROCHA, F. L. et al. Avaliação da influência dos milhos QPM nas características sensoriais de bolo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 23, n. 2. ago. 2003. p. 129-134.

RODRÍGUES, M. B. S. et al. Alimentos funcionales y nutrición óptima, cerco o lejos?. **Rev. Esp. Salud. Pública**, v. 77, n. 3, p. 317-331, mayo, 2003.

ROETENBERG, K. Fundamental of drying breakfast cereals. **Cereal Foods World**. v 40, no 6. pp 427- 432. 1995.

ROKEY, G.J. RTE breakfast cereal flake extrusion. **American Association of Cereal Chemists**. v 40, n 6. p 422-426. 1995.

RONAI, E. et al. Cereais e massas alimentícias. Dissertação (Doutorado em Nutrição). Departamento de Nutrição Básica e Experimental da UFRJ. Rio de Janeiro. *Orientador*: Augusto Oliveira. 1997.

SHARMA, N. et al. Extrusion cooking of foods. In: **Food process Engineering: Theory and Laboratory Experiments**, pp. 268-282 (Eds. SHARMA, N., MULVANEY, S.J. & RIZVI, S.S.H.) John Wiley and SONS, Inc., New York. 2000.

SILVA, C. C. et al. Characteristics of Hospital Diets. **Ver. Soc. Cadiol. Estado de São Paulo**. 4: 458-64, 1997.

SILVA, D. J. **Análise de Alimentos (Métodos Químicos e Biológicos)**. Ed. UFV, Minas Gerais, 1990.

SILVA, G. O. et al. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1. jan.-mar. p. 188-197, 2006.

SILVA, R. F. Use of Inulina as a Natural Texture Modifier. **American Association of Cereal Chemists**. v. 41, nº10. October. P 792 – 794, 1996.

SINGH, N. *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starch from different botanical source. Review. **Food Chemistry** v. 81. p 219-231, 2003.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímero: Ciência e Tecnologia**, v.10, n.1, p.24-30, 2000.

SUMITHRA, B.; BHATTACHARYA, S. Toasting of corn flakes: Product characteristics as a function of processing conditions. **Journal of Food Engineering**. v 88, p 419 – 428; 2008.

TABERNERO; M. et al. Dietary fiber intake in two europeans diets with high (Copenhagen, Denmark) and low (Murcia, Spain) Colorectal câncer incidence. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v 55, p 9443 – 9449, 2007.

TAKEUCHI, K. P. et al. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. v. 25, p 78-85, 2005.

THAMER, K. G.; PENNA, A. L. B. Efeito do teor de soro, açúcar e de frutooligosacarídeos sobre a população de bactérias lácticas probióticas em bebidas fermentadas. **Rev. Bras. Cienc. Farm.**, São Paulo, v. 41, n. 3, Sept. 2005 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322005000300013&lng=en&nrm=iso>. access on 25 Dec. 2009. doi: 10.1590/S1516-93322005000300013.

THAMER, K. G.; PENNA, A. L. B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescidas de prebióticos. **Rev. Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 26 n. 3, pag 589-595, jul- set 2006 .

Vanderzant C, Splittstoesser DF, editors. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 3rd ed. Washington (DC): American Public Health Association; 1992.

VIANA, P. A.; POTENZA, M. R. **Avaliação de antibiose e não-preferência em cultivares de milho selecionados com resistência à lagarta-do-cartucho.** *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 1. 2000. p. 27-33.

VILELA; E. R. Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu. Campinas. 1989. 149 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World.** St Paul, v. 35, n.9, p. 919-926, 1990.

YAMASHITA, K. et al. Effects of frutooligosaccharides on blood-glucose and serum lipids in diabetic subjects. **Nutrition Research**, Fukuoka, v.4, p.961-1966, 1984.

YAULAYAN, V. A. et al. Production of Maillard reaction flavour precursors by extrusion processing. **Food Research International.** Ottawa, v. 25, n.3, p. 175-180, 1992.

YUAN, R.C. et al. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from 3 wx-containing genotypes in 2 inbred lines. **Cereal Chemistry.** V 70, pp 81-89. 1993.

YUN, J.W. Fructooligosaccharides – Occurrence, preparation and applications. **Enzymes and Microbial Technology**, yungbug, v.19, p.107-117,1996.

ZOBEL, P. B. L. Inulin-type fructans and reduction in colon cancer risk: review of experimental and human data. **British Journal of Nutrition.** v. 93, Suppl. 1, S73–S90. 2005.

ZUILICHEM, D. J. et al. A comparative study os the operational characteristics of single and twin extruders. In: **Thermal processing and quality of foods**, pp. 33-43 (Eds. ZEUTHEN, P., CHEFTEL, J.C. ERIKSON, C., JUL, M., LENINGER, H. LINKO, G. VARELA & VOS G.). Elsevier Applied Science Publishers, London. 1982.

ANEXOS

ANEXO A:

RESULTADOS DE ANOVAS

Anexo A.1- Resultados da ANOVA para modelo de viscosidade de V_{max} de extrudado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(3) FOS (L)	5403,70	1	5403,704	29,16979	0,032614
FOS (Q)	2350,52	1	2350,521	12,68837	0,070571
Falta de Ajuste	7828,33	12	652,361	3,52152	0,242289
Erro Puro	370,50	2	185,250		
Total	15953,06	16			
R^2	0,49				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.2- Resultados da ANOVA para modelo de viscosidade de setback de extrudado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(3) FOS (L)	5198,783	1	5198,783	34,60088	0,027706
Falta de Ajuste	3677,747	13	282,904	1,88289	0,399814
Erro Puro	300,500	2	150,250		
Total	9177,029	16			
R^2	0,57				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.3- Resultados da ANOVA para modelo de viscosidade final de extrudado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
Temperatura (Q)	2398,00	1	2398,00	79,7120	0,012314
(2) Umidade (L)	1045,31	1	1045,31	34,7472	0,027594
(3) FOS (L)	898,66	1	898,66	29,8723	0,031883
FOS (Q)	11386,57	1	11386,57	378,5009	0,002632
Falta de Ajuste	2885,55	1	2885,55	95,9186	0,010265
Erro Puro	1843,26	9	204,81	6,8080	0,134580
Total	60,17	2	30,08		
R^2	0,90				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.4- Resultados da ANOVA para modelo de densidade absoluta (Dab) de extrudado cru de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(1) Temperatura (Q)	0,046322	1	0,046322	152,289	0,006502
Temperatura (Q)	0,093110	1	0,093110	306,110	0,003251
(2) Umidade (Q)	0,790050	1	0,790050	2597,367	0,000385
Falta de Ajuste	0,374052	11	0,034005	111,794	0,008898
Erro Puro	0,000608	2	0,000304		
Total	1,658274	16			
R^2	0,77				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.5- Resultados da ANOVA para modelo de densidade relativa (Da) de extrudado assado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma	Graus de	Média	F	p
	Quadrática	liberdade	Quadrática		
(1) Temperatura (L)	0,003813	1	0,003813	114,3820	0,008630
Temperatura (Q)	0,015009	1	0,015009	450,2818	0,002213
(2) Umidade (L)	0,002094	1	0,002094	62,8226	0,015548
Umidade (Q)	0,010228	1	0,010228	306,8436	0,003243
(3) FOS (L)	0,007392	1	0,007392	221,7533	0,004479
1L x 2L	0,001800	1	0,001800	54,0000	0,018019
Falta de Ajuste	0,020660	8	0,002583	77,4766	0,012804
Erro Puro	0,000067	2	0,000033		
Total	0,068412	16			
R ²	0,70				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.6 - Resultados da ANOVA para modelo de densidade absoluta (Dab) de extrudado assado de cereais matinais.

Variáveis independentes	Soma	Graus de	Média	F	p
	Quadrática	liberdade	Quadrática		
(1) Temperatura (L)	0,001885	1	0,001885	49,4604	0,019625
Temperatura (Q)	0,005606	1	0,005606	147,0887	0,006730
(2) Umidade (L)	0,019925	1	0,019925	522,8211	0,001907
Falta de Ajuste	0,011603	11	0,001055	27,6792	0,035369
Erro Puro	0,000076	2	0,000038		
Total	0,039095	16			
R ²	0,70				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.7- Resultados da ANOVA para modelo de crocância de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Soma	Graus de	Média	F	p
	Quadrática	liberdade	Quadrática		
Temperatura (Q)	848,791	1	848,7914	34,88184	0,027492
Umidade (Q)	525,400	1	525,4001	21,59178	0,043326
Falta de Ajuste	837,340	12	69,7783	2,86760	0,287493
Erro Puro	48,667	2	24,3333		
Total	2014,235	16			
R ²	0,58				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.8- Resultados da ANOVA para modelo de dureza de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(1) Temperatura (L)	6553,80	1	6553,802	202,6949	0,004897
Temperatura (Q)	1280,24	1	1280,242	39,5951	0,024337
Umidade (Q)	3905,48	1	3905,483	120,7881	0,008178
(3) FOS (L)	5563,07	1	5563,072	172,0538	0,005762
2L x 3L	1012,50	1	1012,500	31,3144	0,030482
Falta de Ajuste	6289,27	9	698,807	21,6126	0,044990
Erro Puro	64,67	2	32,333		
Total	23877,53	16			
R ²	0,73				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.9- Resultados da ANOVA para modelo de teor de FOS após processamento de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(3) FOS (L)	132,4497	1	132,4497	317,4997	0,000010
2L x 3L	2,4744	13	0,1903	0,4563	0,881904
Falta de Ajuste	2,0858	5	0,4172		
Erro Puro	137,0099	19			
Total	132,4497	1	132,4497	317,4997	0,000010
R ²	0,97				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.10- Resultados da ANOVA para modelo de ISA de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(1) Temperatura (L)	1,91171	1	1,91171	63,5121	0,015383
(2) Temperatura (Q)	1,32285	1	1,32285	43,9485	0,022006
Umidade (Q)	1,68617	1	1,68617	56,0188	0,017387
(3) FOS (L)	15,47203	1	15,47203	514,0211	0,001940
FOS (Q)	11,81670	1	11,81670	392,5814	0,002538
Falta de Ajuste	8,86280	9	0,98476	32,7161	0,030003
Erro Puro	0,06020	2	0,03010		
Total	47,09425	16			
R ²	0,81				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

Anexo A.11- Resultados da ANOVA para modelo de IAA de cereais matinais assados.

Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(1) Temperatura (L)	0,908205	1	0,908205	129,1286	0,007655
(2) Umidade (L)	0,609789	1	0,609789	86,6999	0,011338
(3) FOS (L)	0,880284	1	0,880284	125,1589	0,007895
FOS (Q)	0,216624	1	0,216624	30,7996	0,030968
1L x 2L	0,186050	1	0,186050	26,4526	0,035787
Falta de Ajuste	1,017005	9	0,113001	16,0664	0,059943
Erro Puro	0,014067	2	0,007033		
Total	3,832024	16			
R ²	0,73				

* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

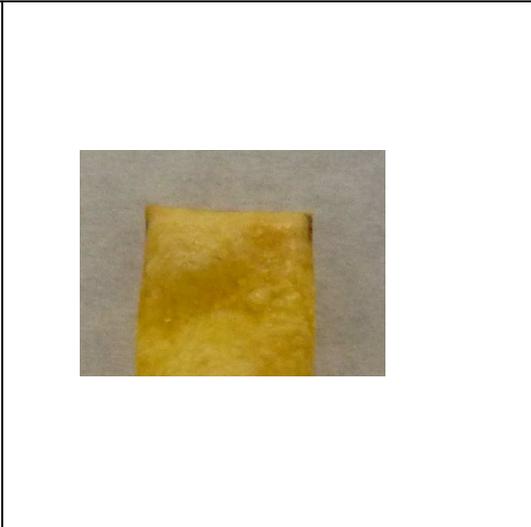
Anexo A.12- Resultados da ANOVA para modelo de vazão de extrusão de cereais matinais.

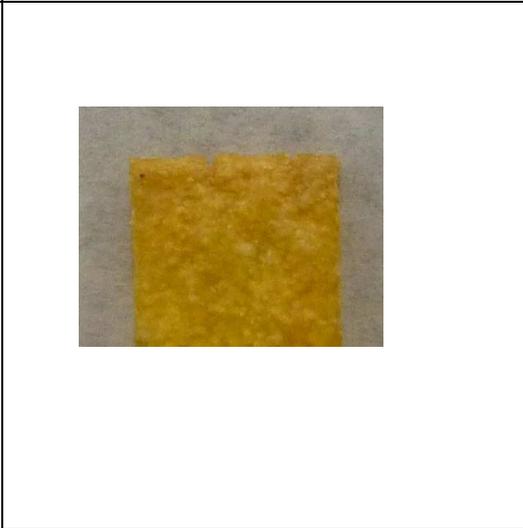
Variáveis independentes	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
(1) Temperatura (L)	0,168589	1	0,168589	22,2804	0,018010
(2) Umidade (L)	0,763730	1	0,763730	100,9335	0,002100
Umidade (Q)	0,133445	1	0,133445	17,6359	0,024640
(3) FOS (L)	0,715712	1	0,715712	94,5875	0,002309
FOS (Q)	0,318789	1	0,318789	42,1307	0,007424
1L x 2L	0,505013	1	0,505013	66,7417	0,003836
1L x 3L	0,148512	1	0,148512	19,6272	0,021368
2L x 3L	0,227813	1	0,227813	30,1074	0,011908
Falta de Ajuste	0,724091	6	0,120682	15,9491	0,022349
Erro Puro	0,022700	3	0,007567		
Total	3,668711	17			
R ²	0,79644				

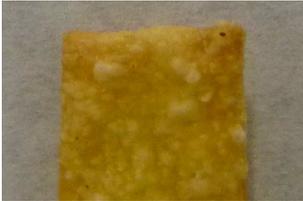
* $p \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático
 Números de cor preta são não significativos, de cor vermelha significativos

ANEXO B:

IMAGEM DOS TRATAMENTOS

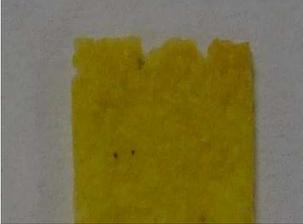
	
<p>Anexo B.1: Tratamento T₁. ($X_1= 68,1^{\circ}\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.2: Tratamento T₂. ($X_1= 68,1^{\circ}\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.3: Tratamento T₃. ($X_1= 68,1^{\circ}\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 2\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>

	
<p>Anexo B.4: Tratamento T₄. ($X_1= 68,1^{\circ}\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 8\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.5: Tratamento T₅. ($X_1= 91,9^{\circ}\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.6: Tratamento T₆. ($X_1= 91,9^{\circ}\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>

	
<p>Anexo B.7: Tratamento T₇. ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 2\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.8: Tratamento T₈. ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 8\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.9: Tratamento T₉. ($X_1= 60,0^\circ\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>

	
<p>Anexo B.10: Tratamento T₁₀. (X₁= 100,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.11: Tratamento T₁₁. (X₁= 80,0°C; X₂= 25%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.12: Tratamento T₁₂. (X₁= 80,0°C; X₂= 35%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>

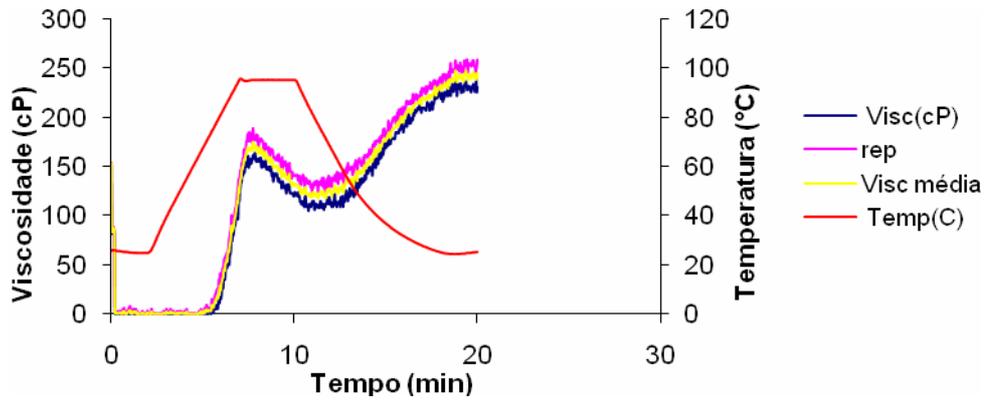
	
<p>Anexo B.13: Tratamento T₁₃. ($X_1= 80,0^\circ\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 0,0\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.14: Tratamento T₁₄. ($X_1= 80,0^\circ\text{C}$; $X_2= 30,0\%$; $X_3= 10,0\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.15: Tratamento T₁₅. ($X_1= 80,0^\circ\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).</p>	<p>Corte aumentado</p>

	
<p>Anexo B.16: Tratamento T₁₆. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.17: Tratamento T₁₇. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.18: Tratamento T₁₈. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>

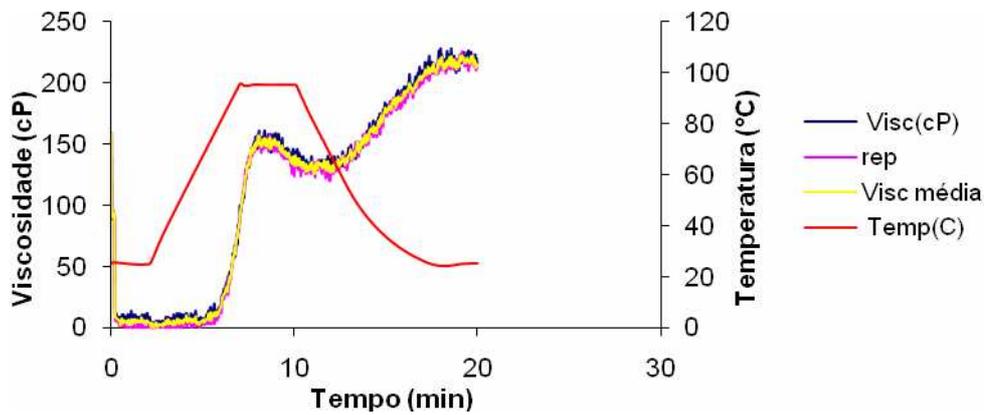
	
<p>Anexo B.19: Tratamento T₁₉. (X₁= 80,0°C; X₂= 30,0%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>
	
<p>Anexo B.20: Tratamento T₂₀. (X₁= 80,0°C; X₂= 30,0%; X₃= 5%).</p>	<p>Corte aumentado</p>

ANEXO C:

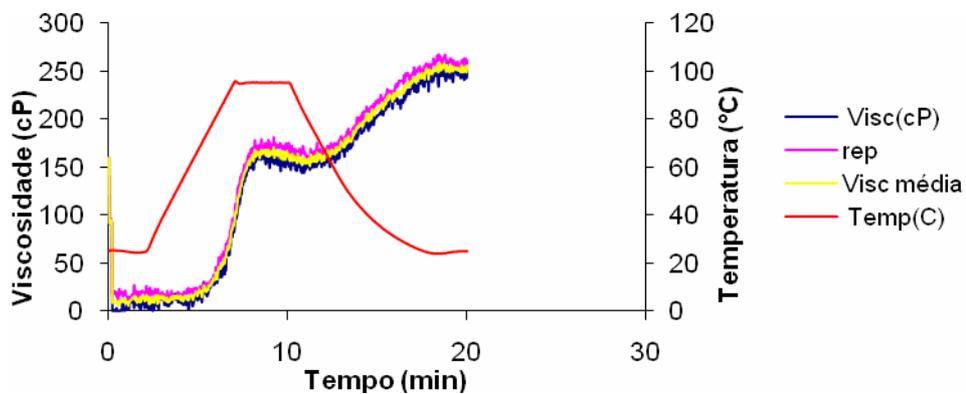
GRÁFICOS DE VISCOSIDADE DE PASTA POR (RVA)



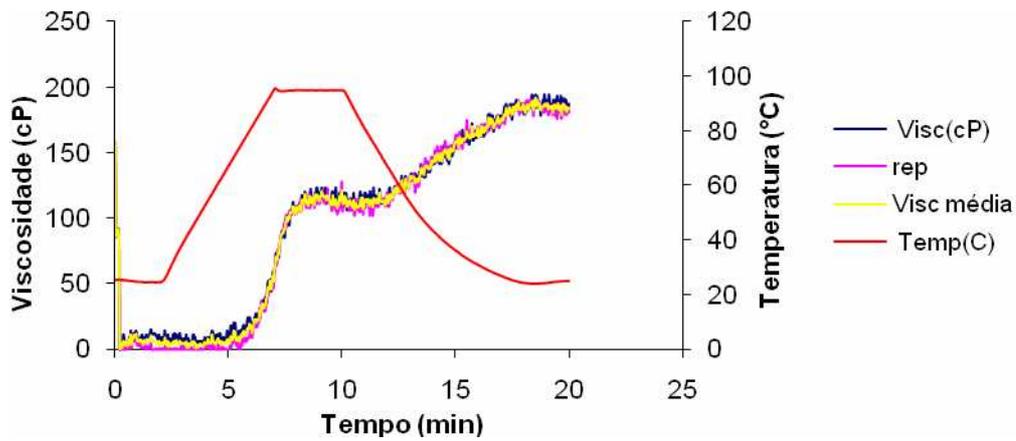
Anexo C.1: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁. ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).



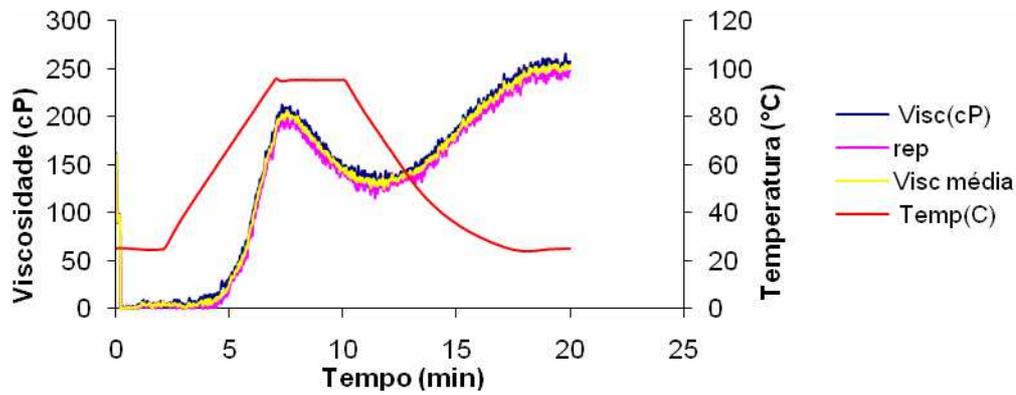
Anexo C.2: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₂. ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).



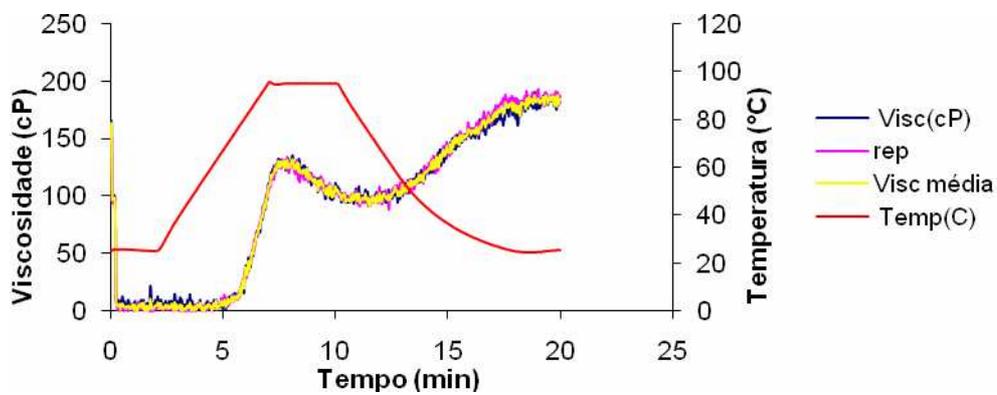
Anexo C.3: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₃. ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 2\%$).



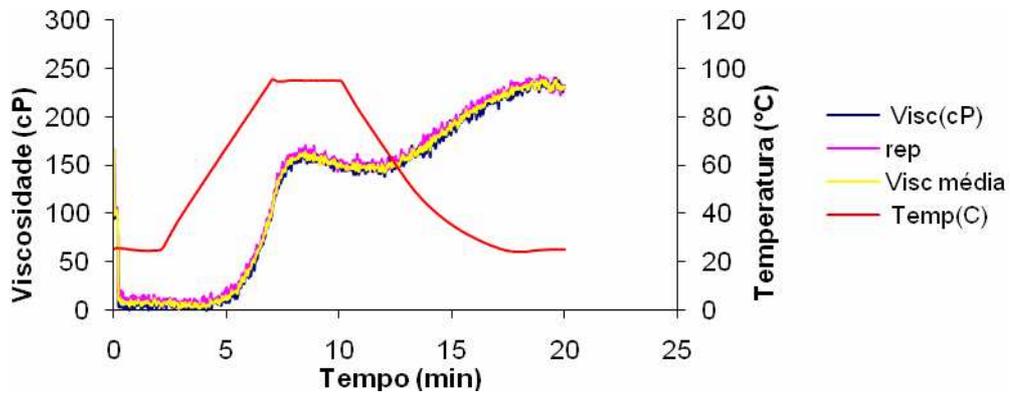
Anexo C.4: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₄. ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 33\%$; $X_3= 8\%$).



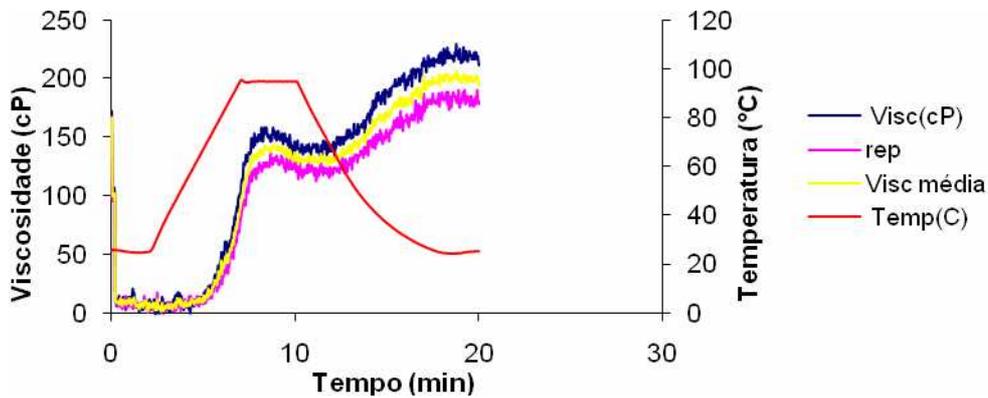
Anexo C.5 Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₅. ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).



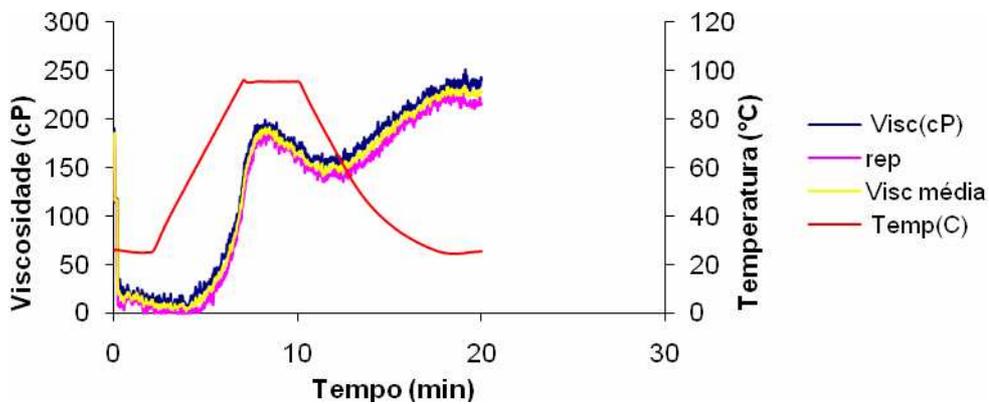
Anexo C.6 Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₆. ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).



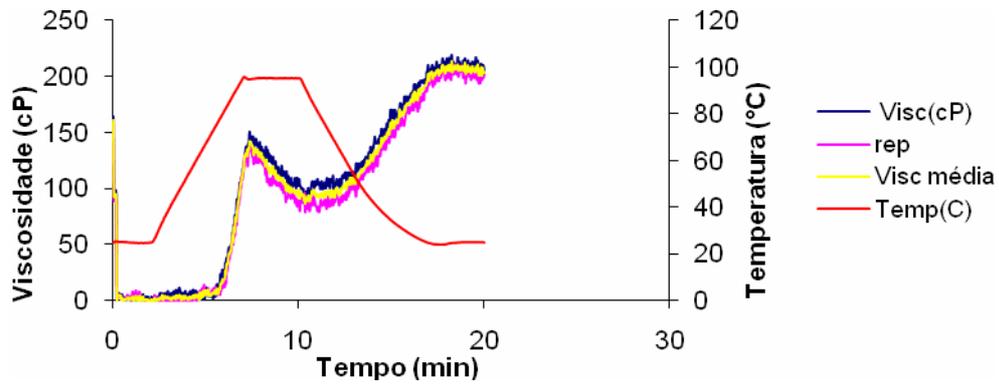
Anexo C.7: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₇. ($X_1=91,9^\circ\text{C}$; $X_2=33\%$; $X_3=2\%$).



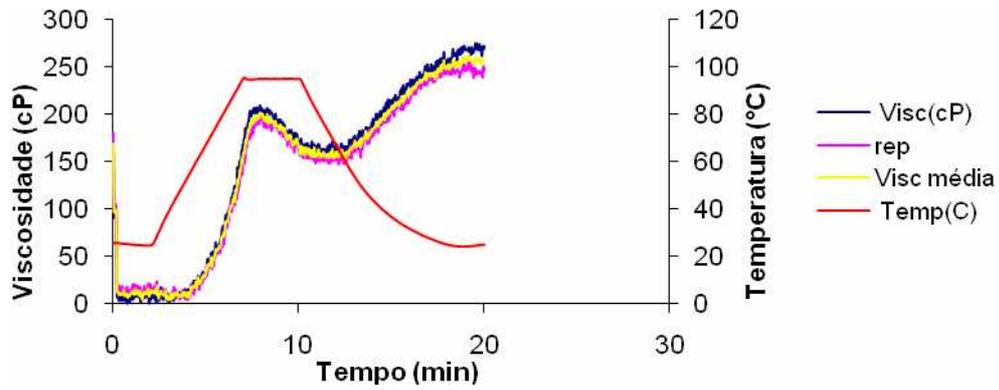
Anexo C.8:: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₈. ($X_1=91,9^\circ\text{C}$; $X_2=33\%$; $X_3=8\%$).



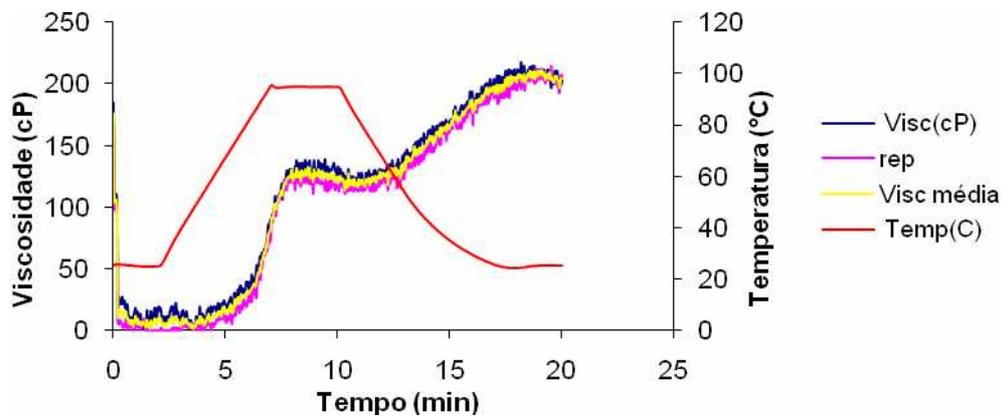
Anexo C.9: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₉. ($X_1=60,0^\circ\text{C}$; $X_2=30\%$; $X_3=5\%$).



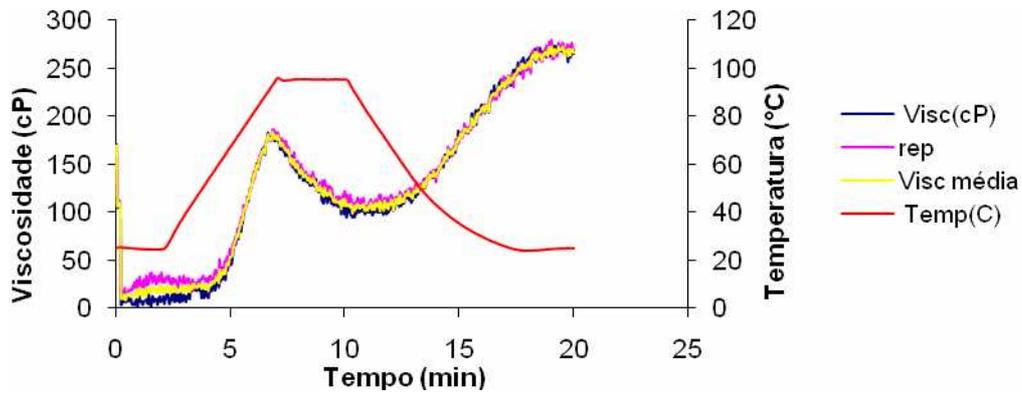
Anexo C.10: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₀. (X₁= 100,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).



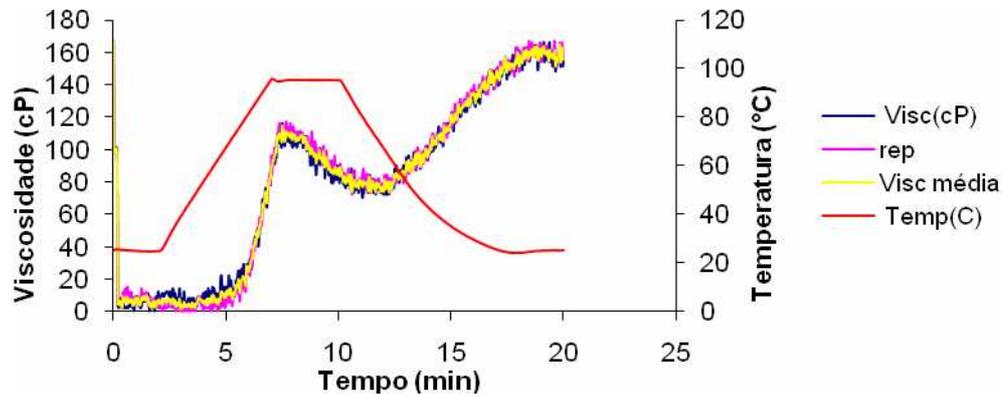
Anexo C.11: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₁. (X₁= 80,0°C; X₂= 25%; X₃= 5%).



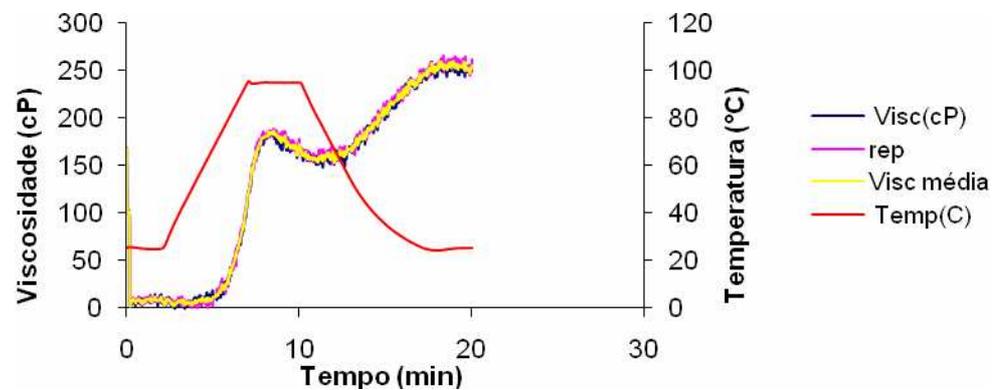
Anexo C.12: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₂. (X₁= 80,0°C; X₂= 35%; X₃= 5%).



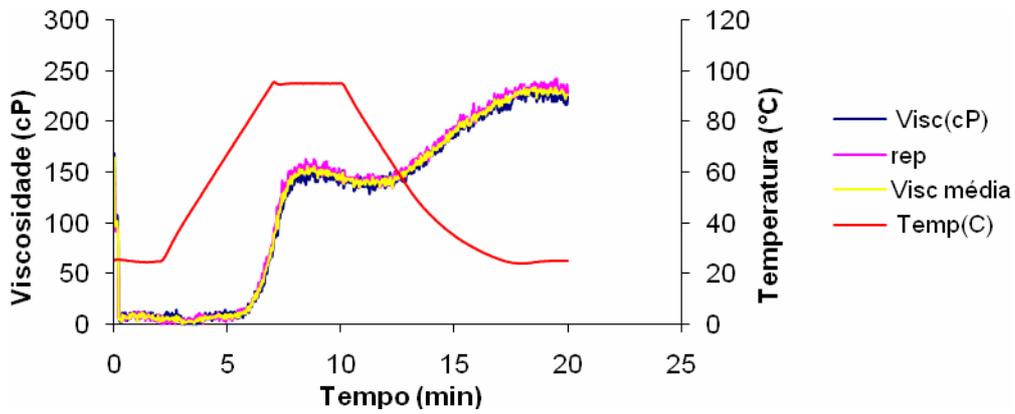
Anexo C.13: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₃. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 0,0%).



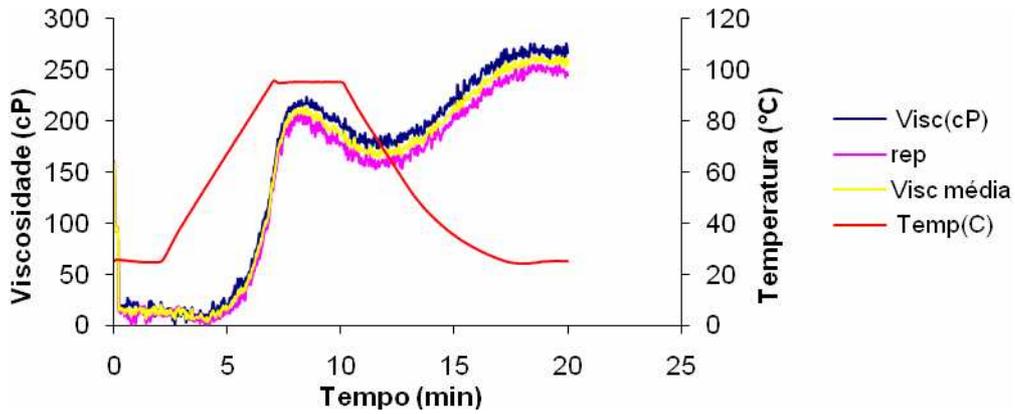
Anexo C.14: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₄. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 10,0%).



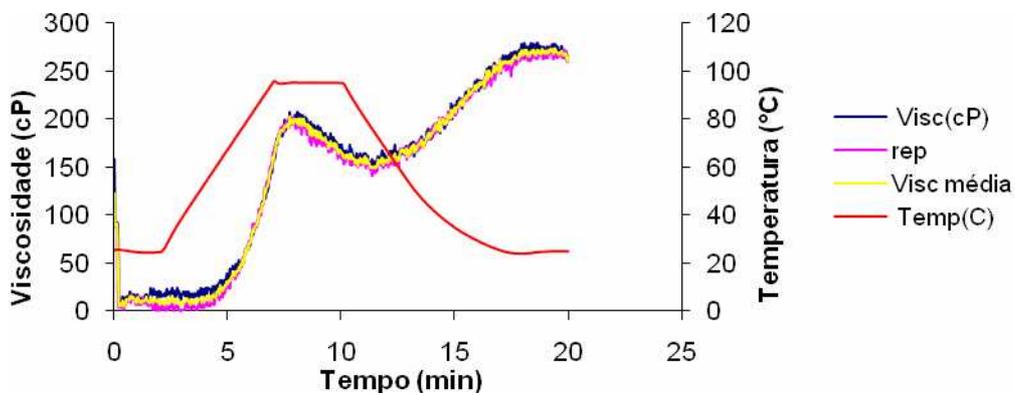
Anexo C.15: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₅. (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).



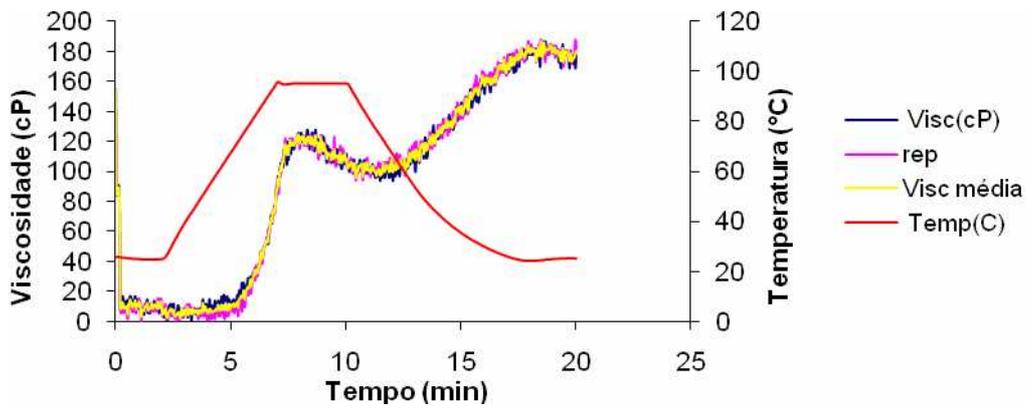
Anexo C.16: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₆. (X₁= 80,00°C; X₂= 30,00%; X₃= 5%).



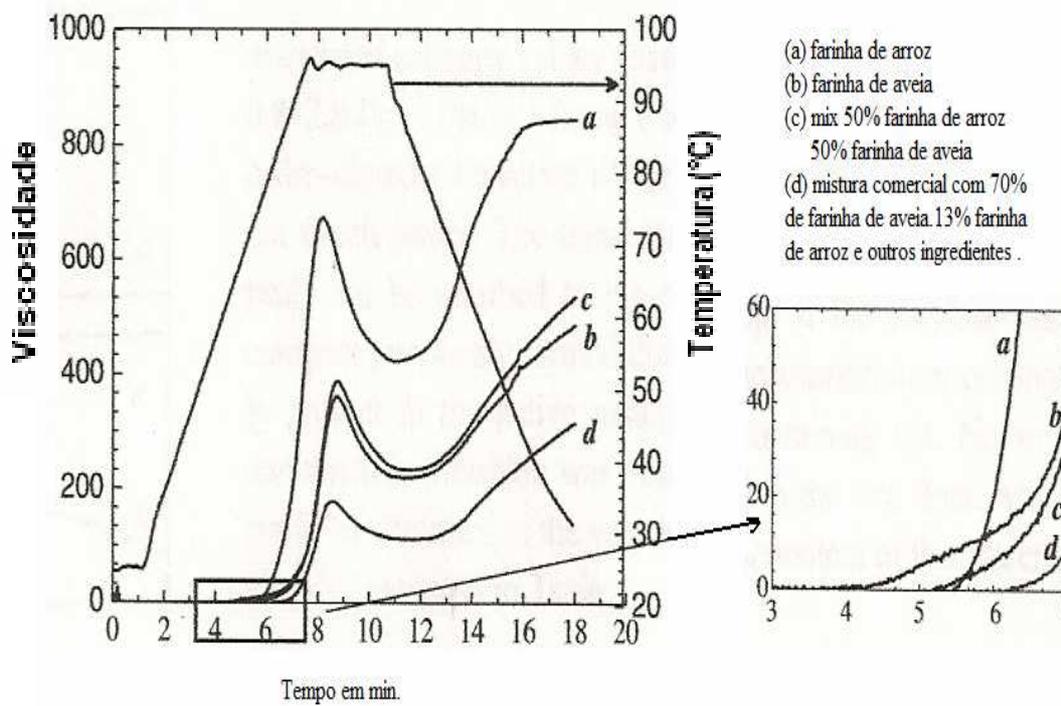
Anexo C.17: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₇. (X₁= 80,00°C; X₂= 30,00%; X₃= 5%).



Anexo C.18: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T₁₉. (X₁= 80,00°C; X₂= 30,00%; X₃= 5%).

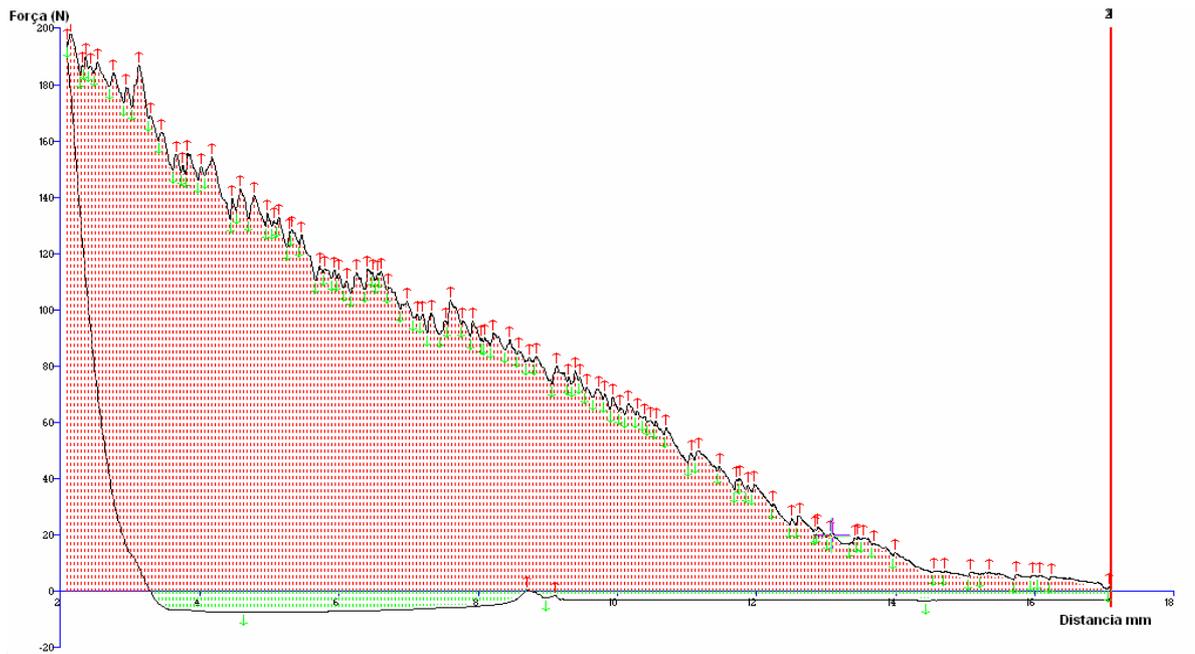


Anexo C.19: Gráfico de viscosidade de pasta tratamento T_{20} . ($X_1= 80,00^\circ\text{C}$; $X_2= 30,00\%$; $X_3= 5\%$).

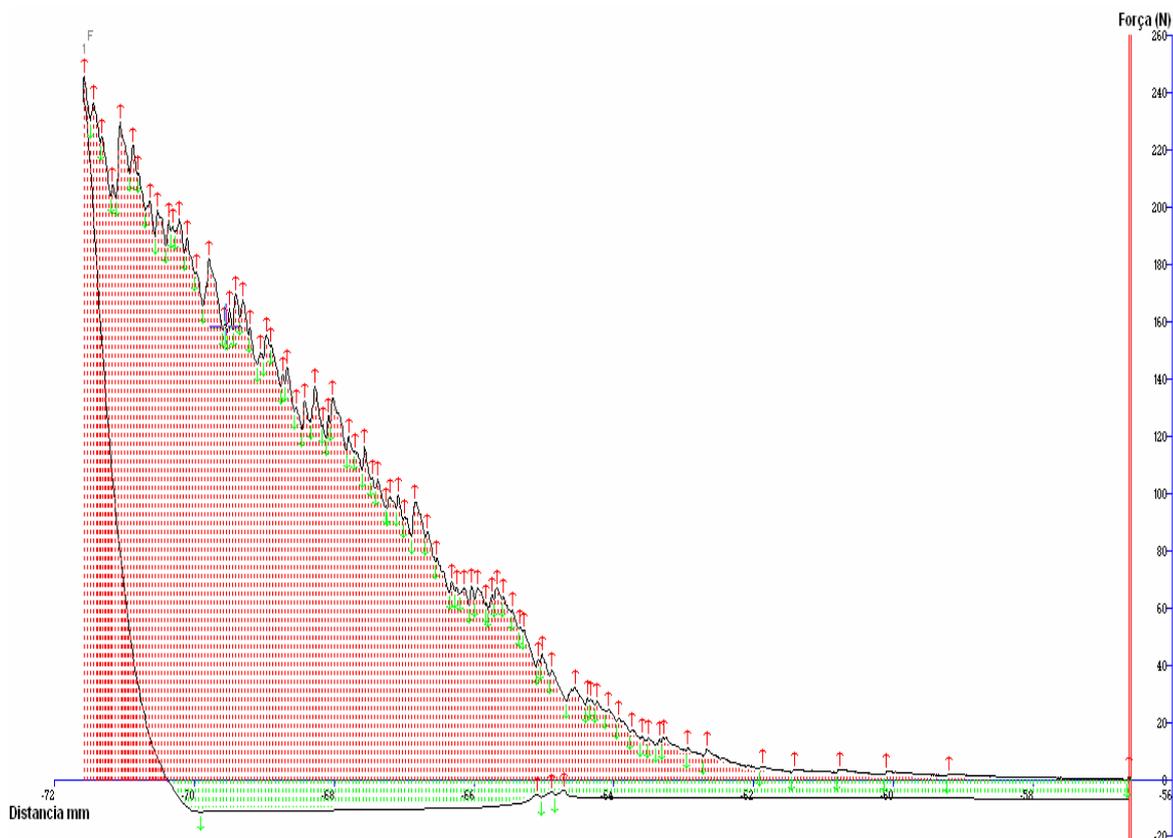


Anexo C.20: Gráficos de viscosidade de pasta de amostras de farinha de arroz, farinha de aveia, mix arroz e aveia e mistura comercial de 70 % de farinha de aveia e 13% farinha de arroz (NUÑEZ *et al* ; 2009).

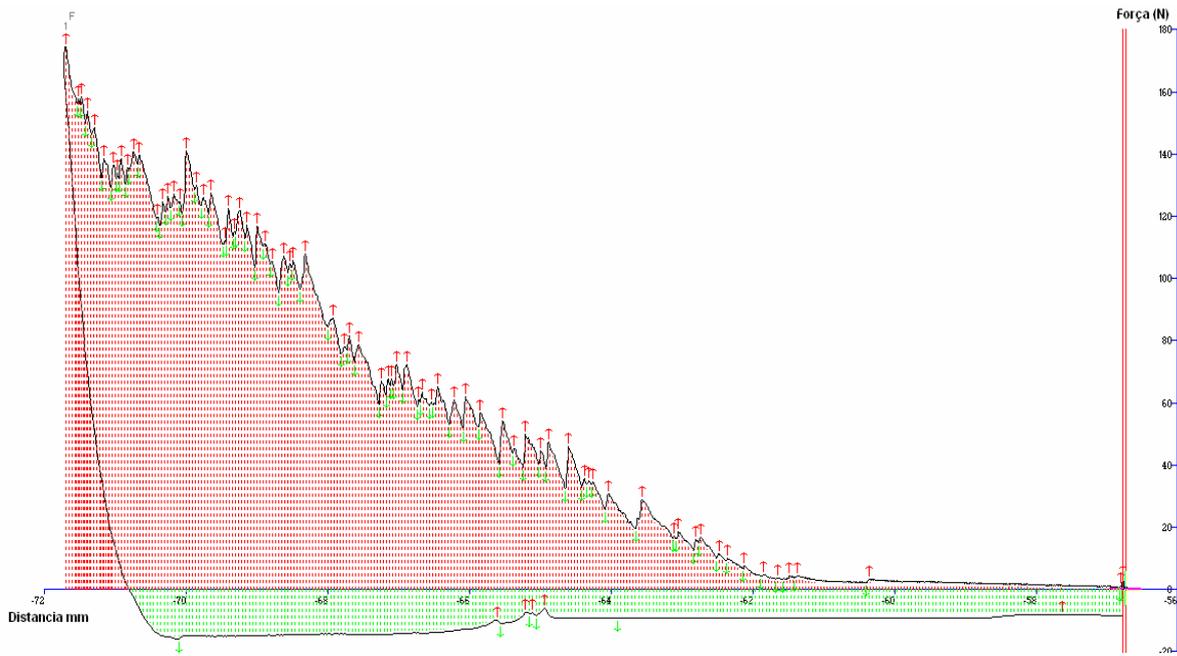
ANEXO D:
GRÁFICOS DE TEXTURA



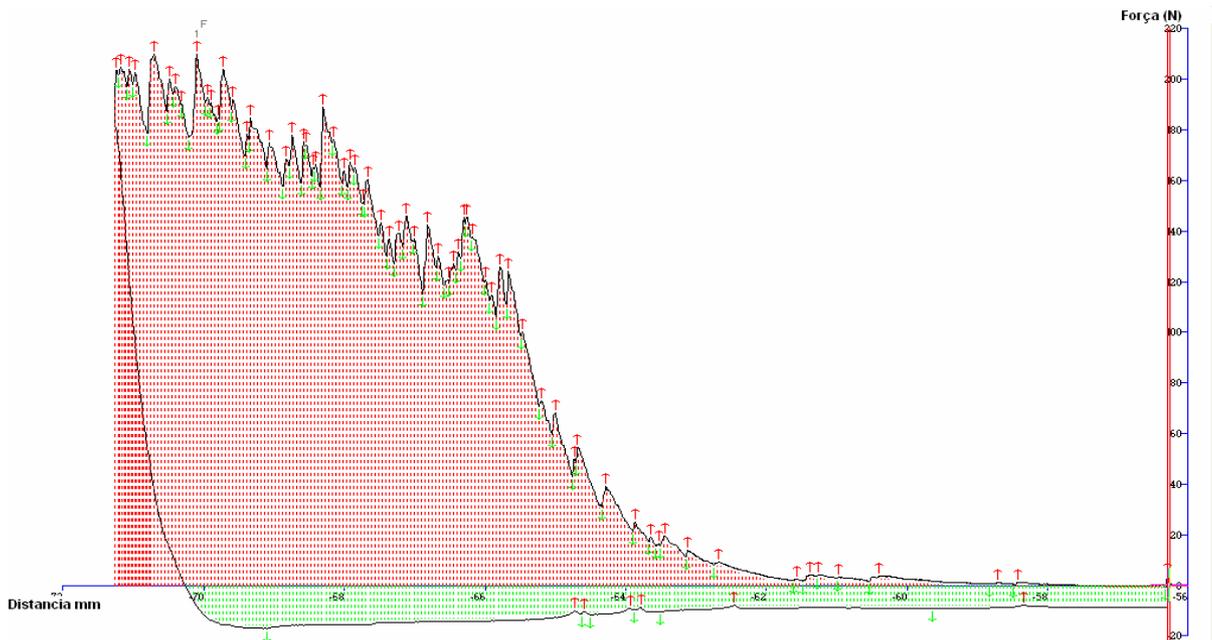
Anexo D.1: Curva média de determinação de textura do tratamento T_1 ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).



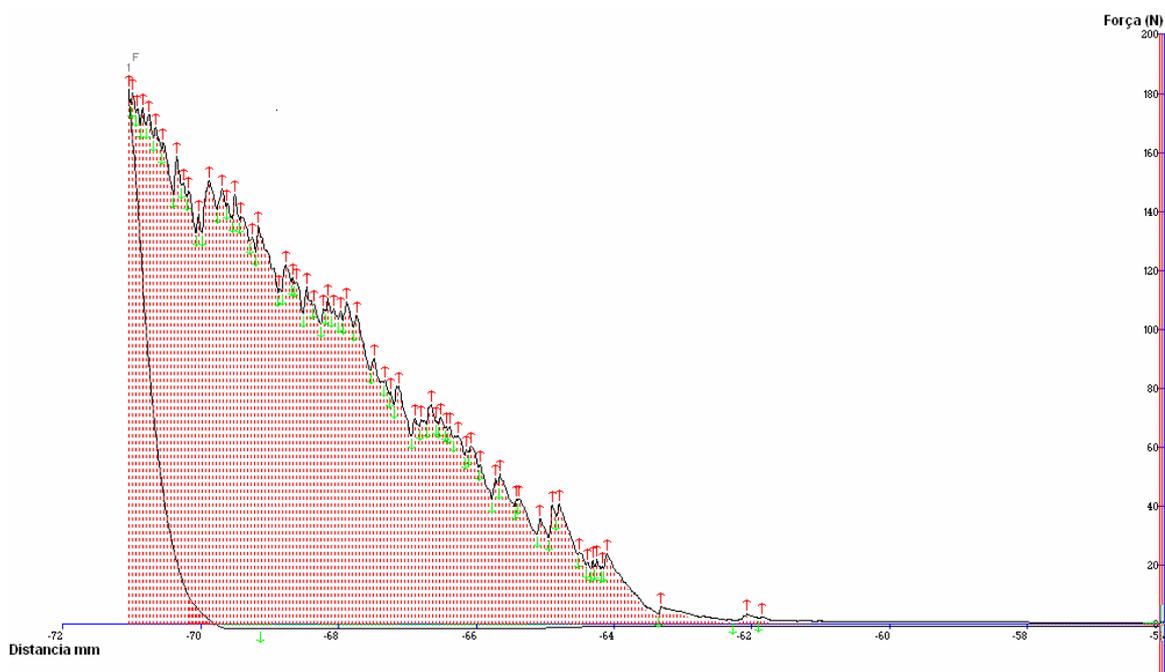
Anexo D.2 Curva média de determinação de textura do tratamento T_2 ($X_1= 68,1^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).



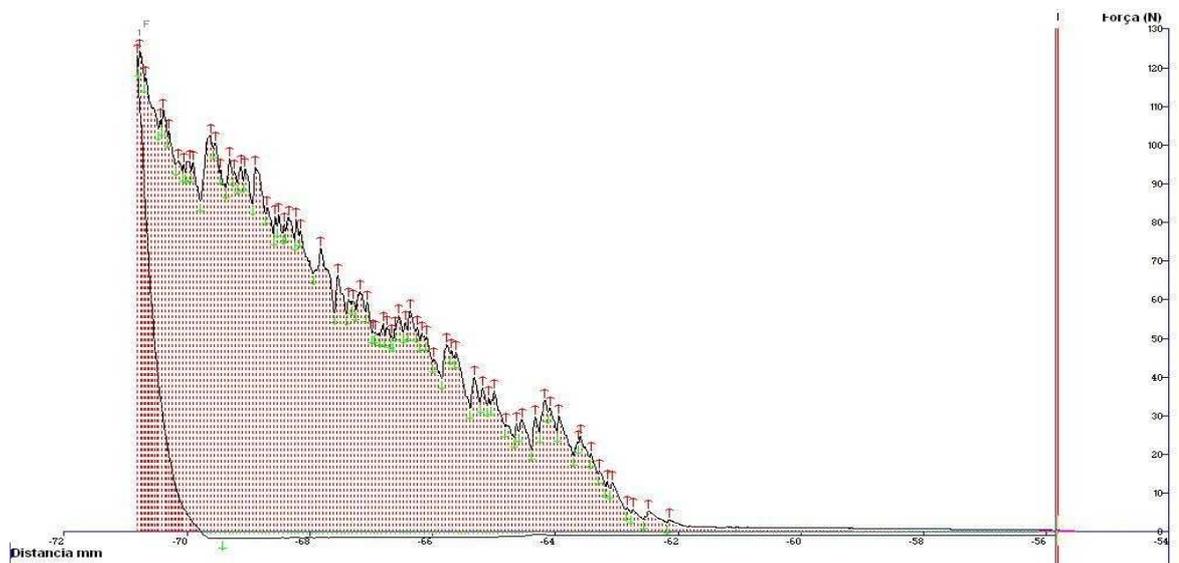
Anexo D.3 Curva média de determinação de textura do tratamento T₃ (X₁= 68,1°C; X₂= 33%; X₃= 2%).



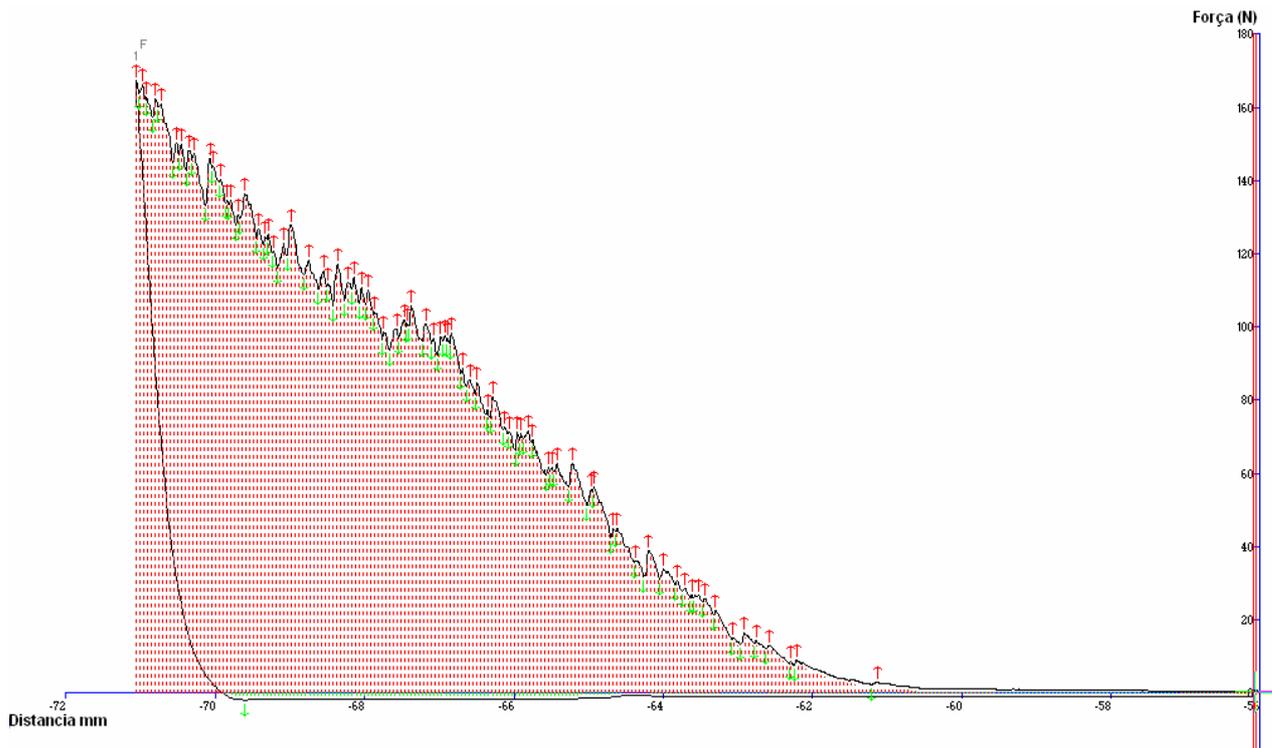
Anexo D.4 Curva média de determinação de textura do tratamento T₄ (X₁= 68,1°C; X₂= 33%; X₃= 8%).



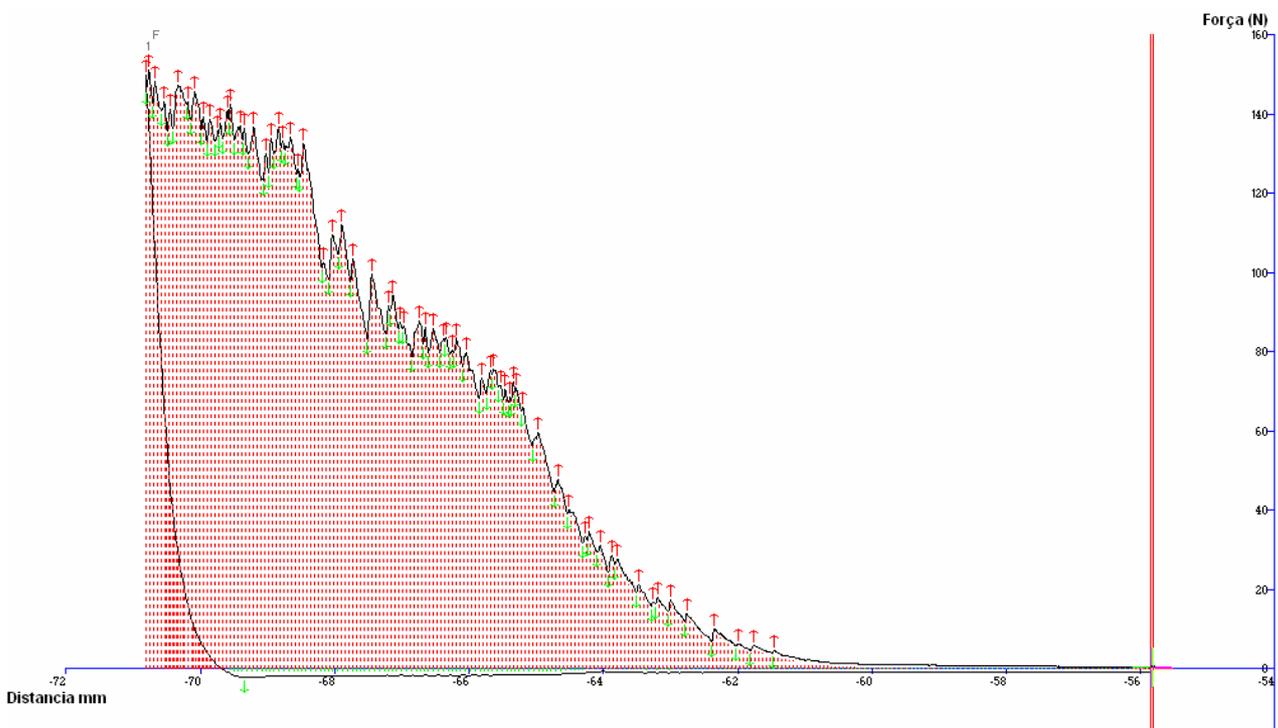
Anexo D.5 Curva média de determinação de textura do tratamento T_5 ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 2\%$).



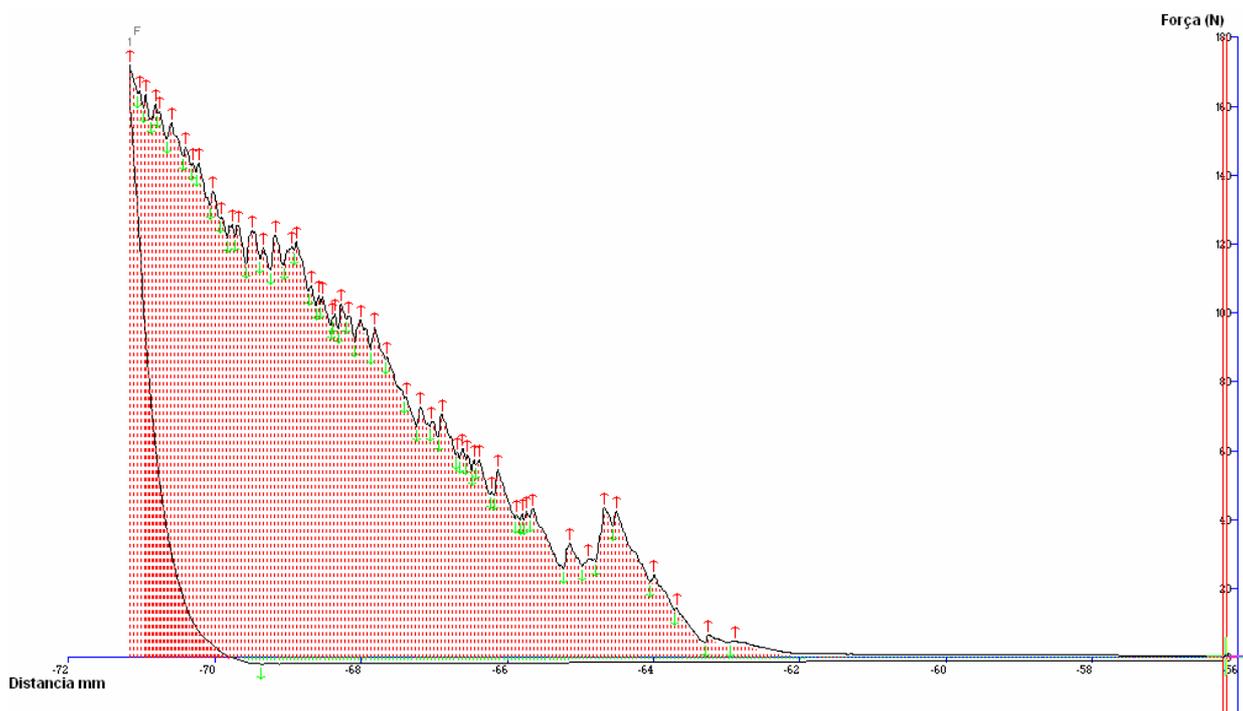
Anexo D.6 Curva média de determinação de textura do tratamento T_6 ($X_1= 91,9^\circ\text{C}$; $X_2= 27\%$; $X_3= 8\%$).



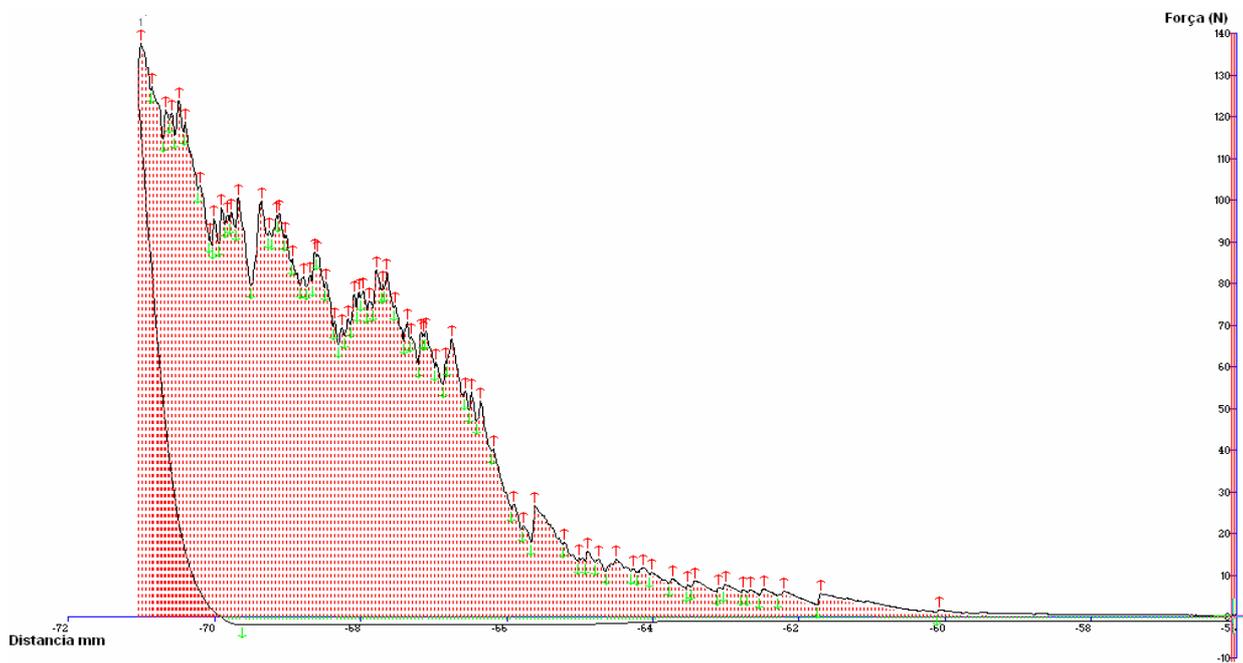
Anexo D.7 Curva média de determinação de textura do tratamento T₇ (X₁= 91,9°C; X₂= 33%; X₃= 2%).



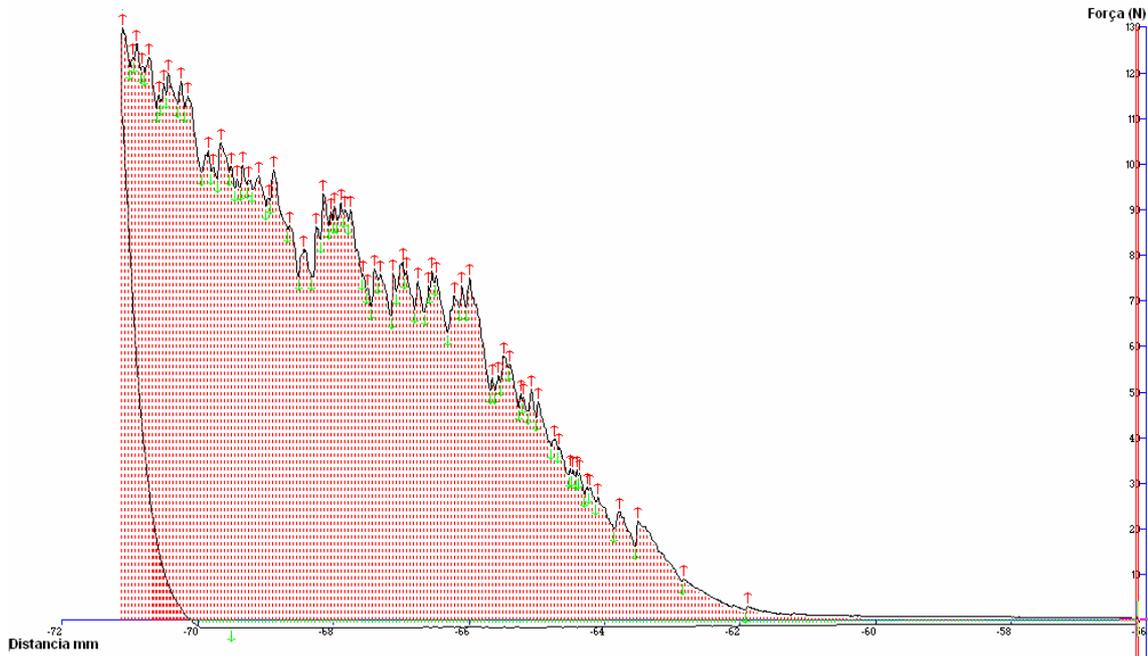
Anexo D.8 Curva média de determinação de textura do tratamento T₈ (X₁= 91,9°C; X₂= 33%; X₃= 8%).



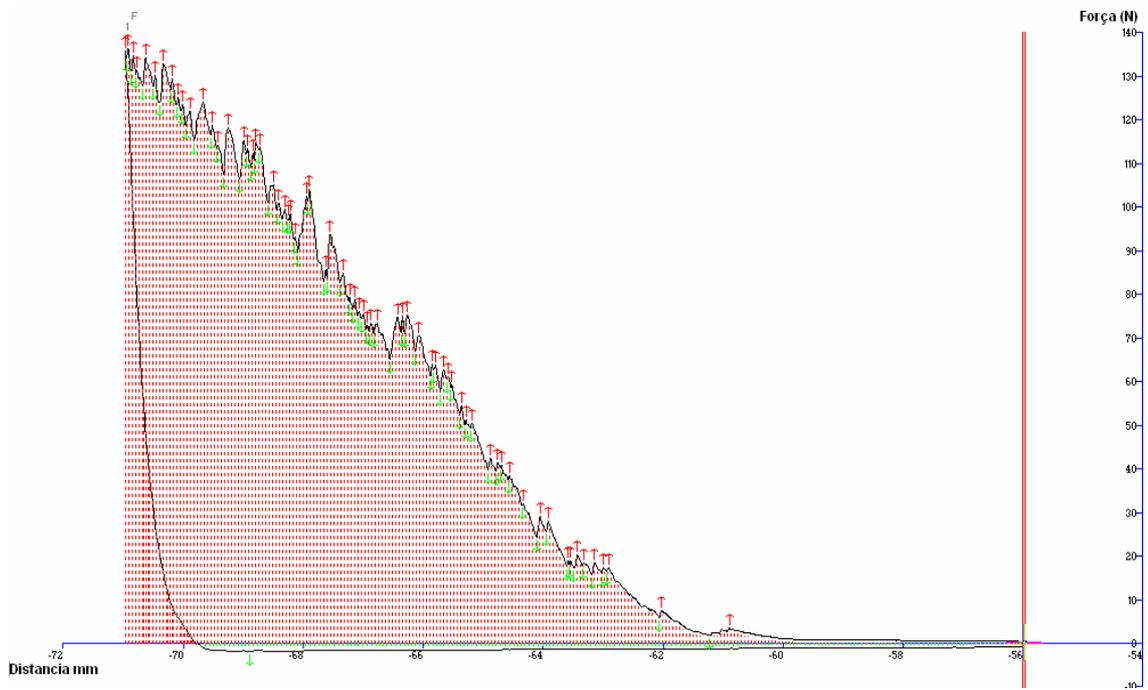
Anexo D.9 Curva média de determinação de textura do tratamento T₉ (X₁= 60,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%)



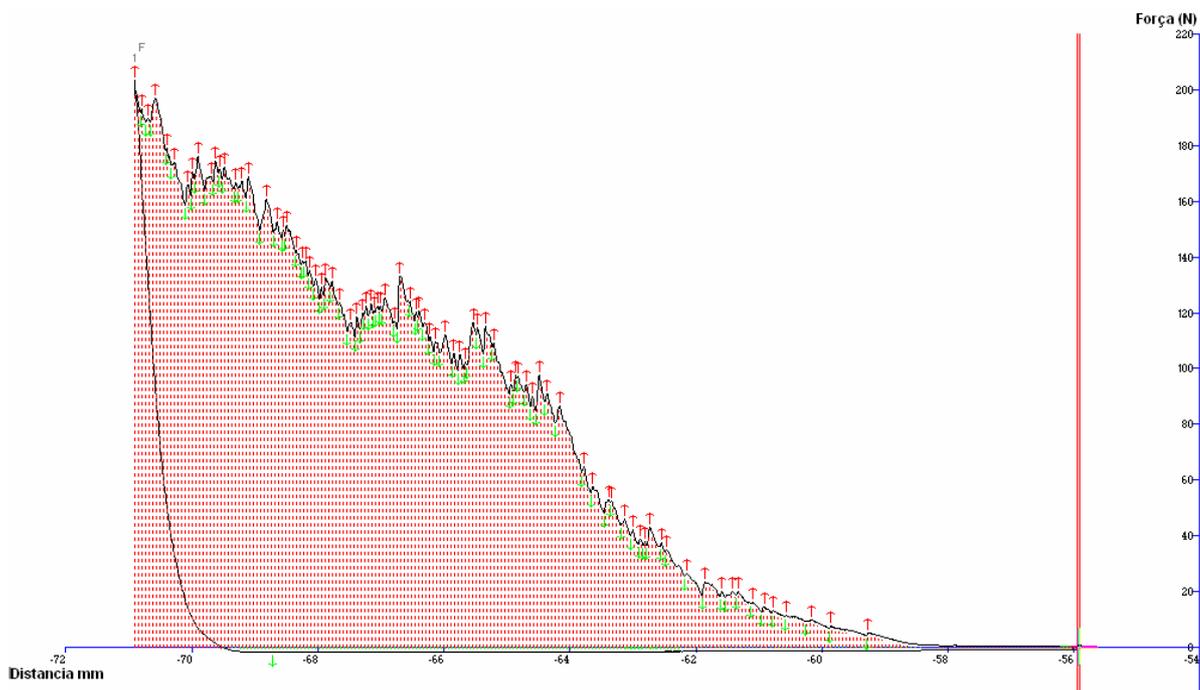
Anexo D.10 Curva média de determinação de textura do tratamento T₁₀ (X₁= 100,0°C; X₂= 30%; X₃= 5%).



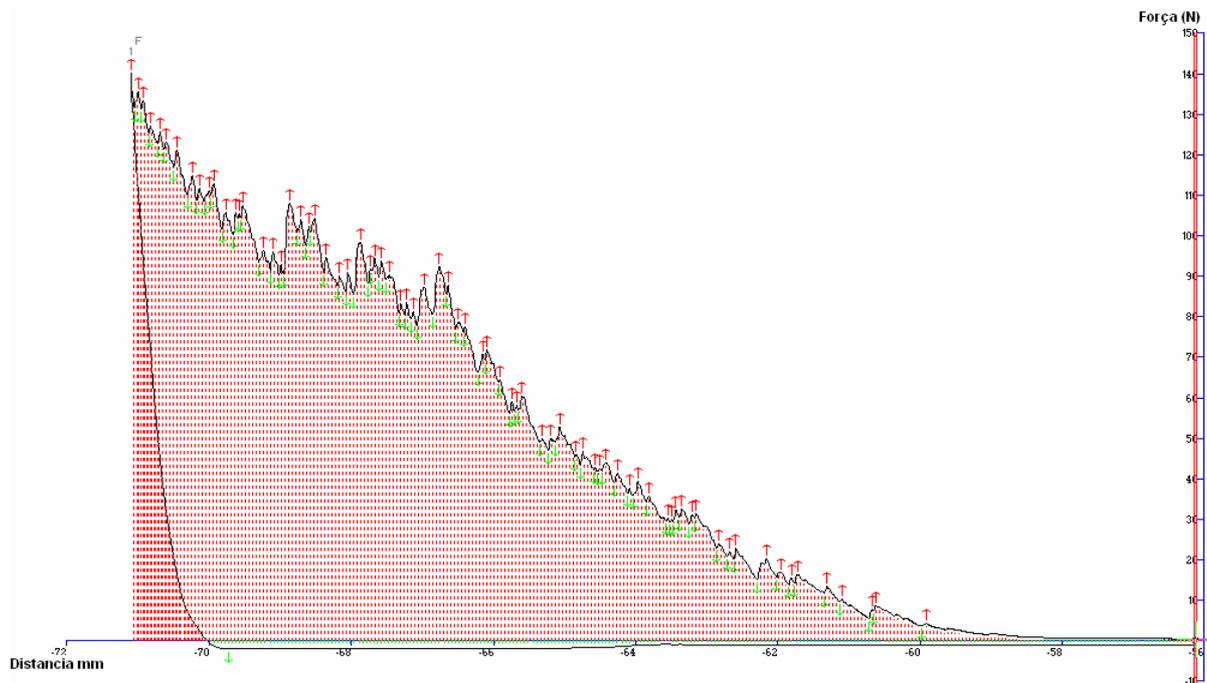
Anexo D. 11 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{11} ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 25\%$; $X_3= 5\%$).



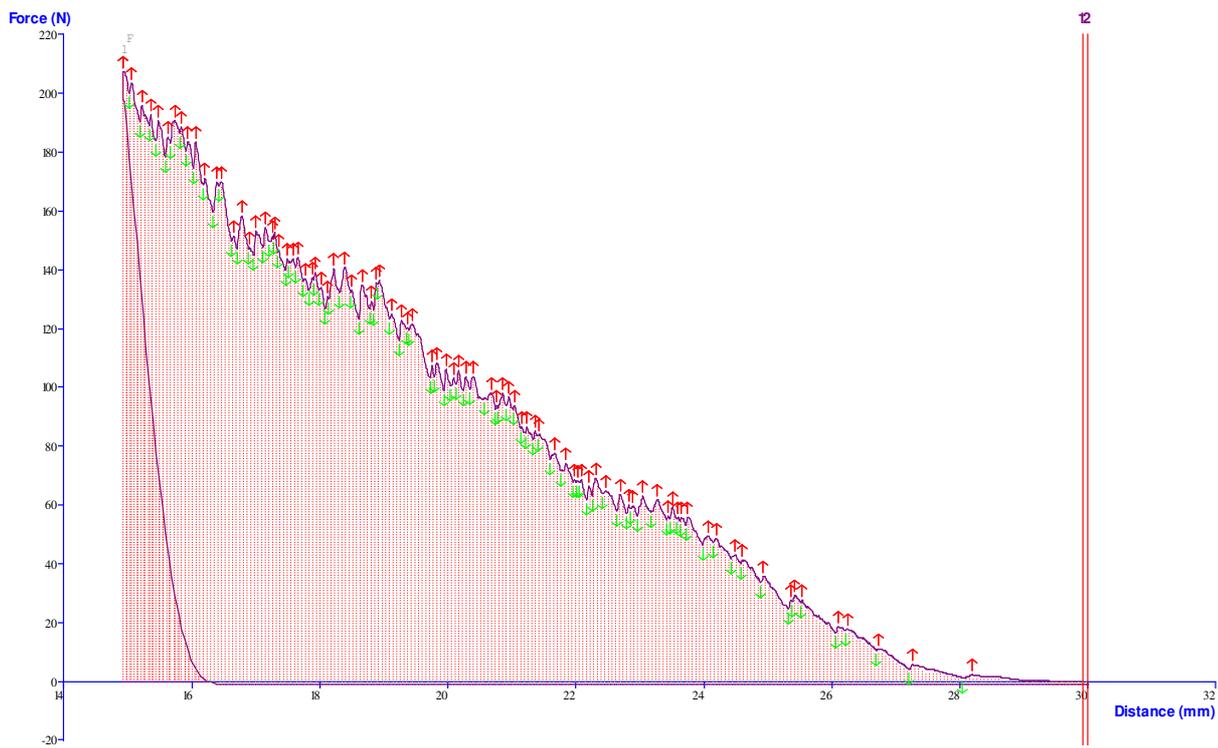
Anexo D.12 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{12} ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 35\%$; $X_3= 5\%$).



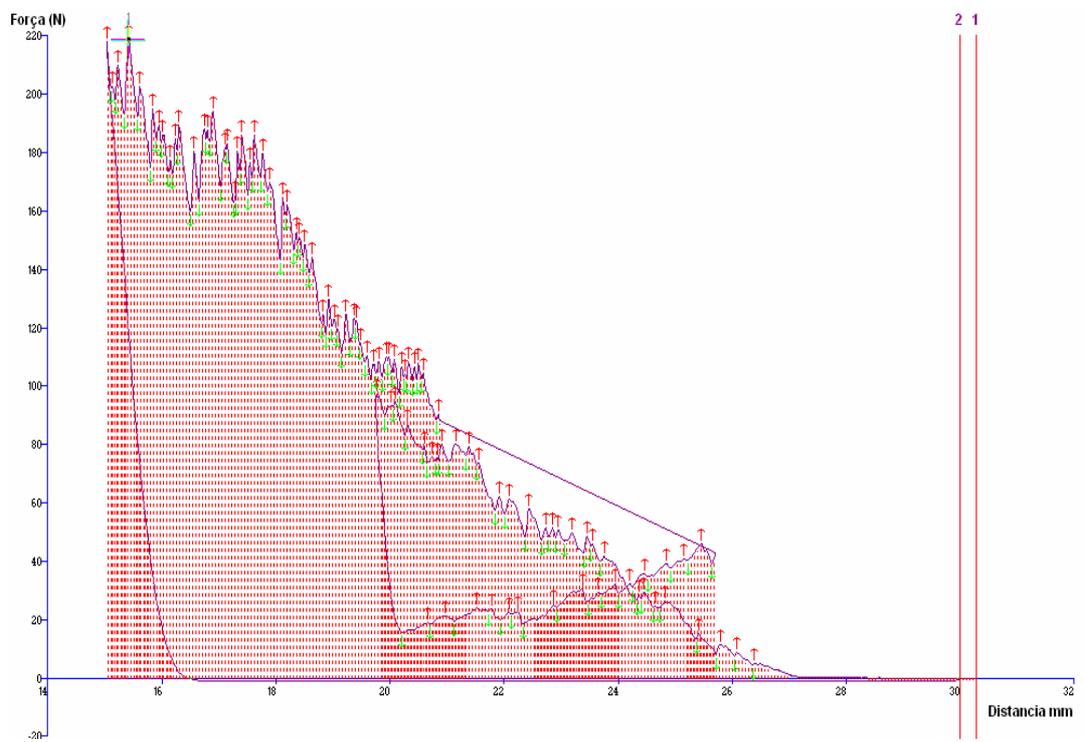
Anexo D.13 Curva média de determinação de textura do tratamento T₁₃ (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 0,0%).



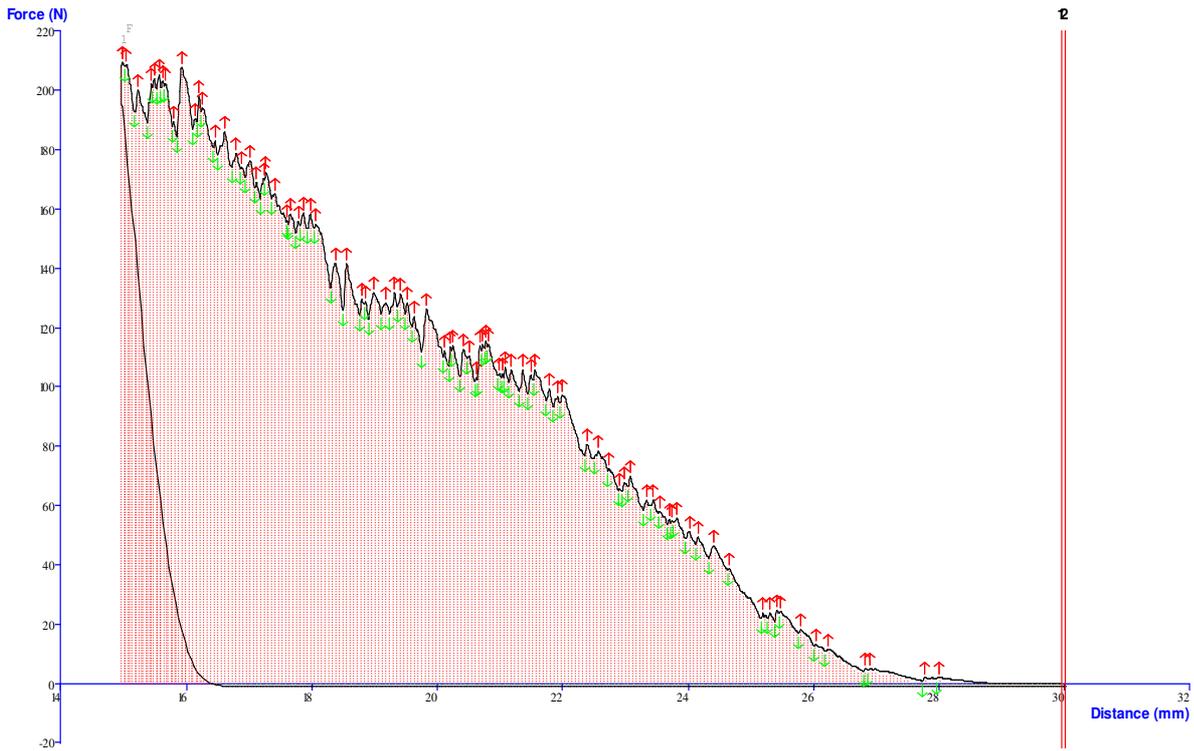
Anexo D.14 Curva média de determinação de textura do tratamento T₁₄ (X₁= 80,0°C; X₂= 30%; X₃= 10,0%).



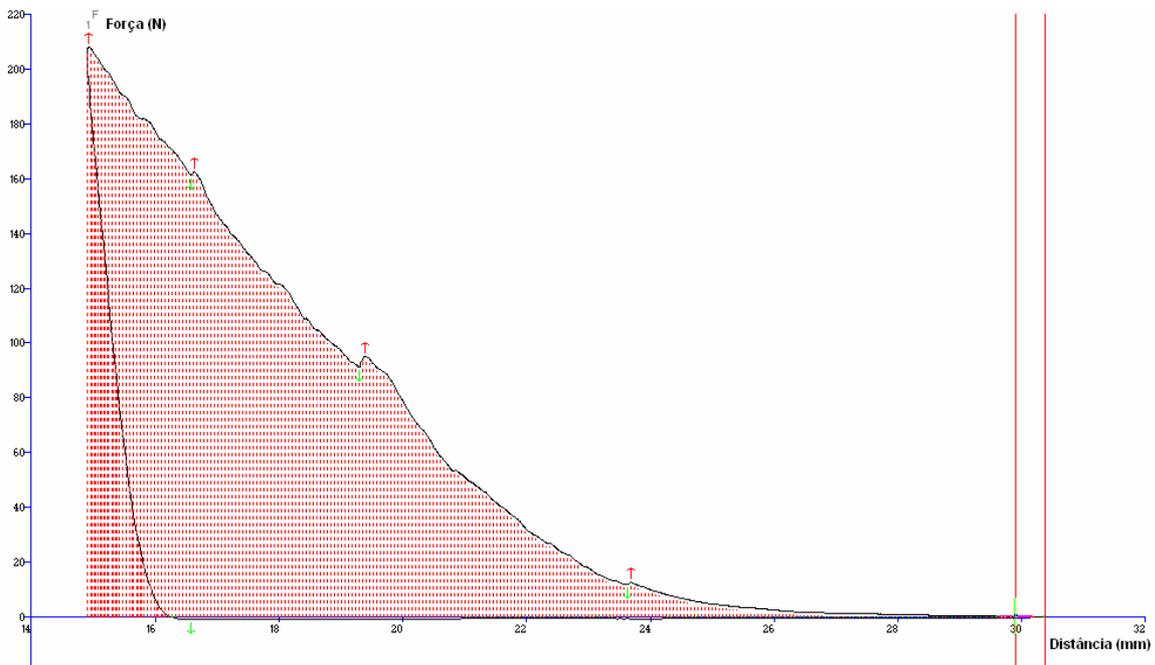
Anexo D.15 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{15} ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



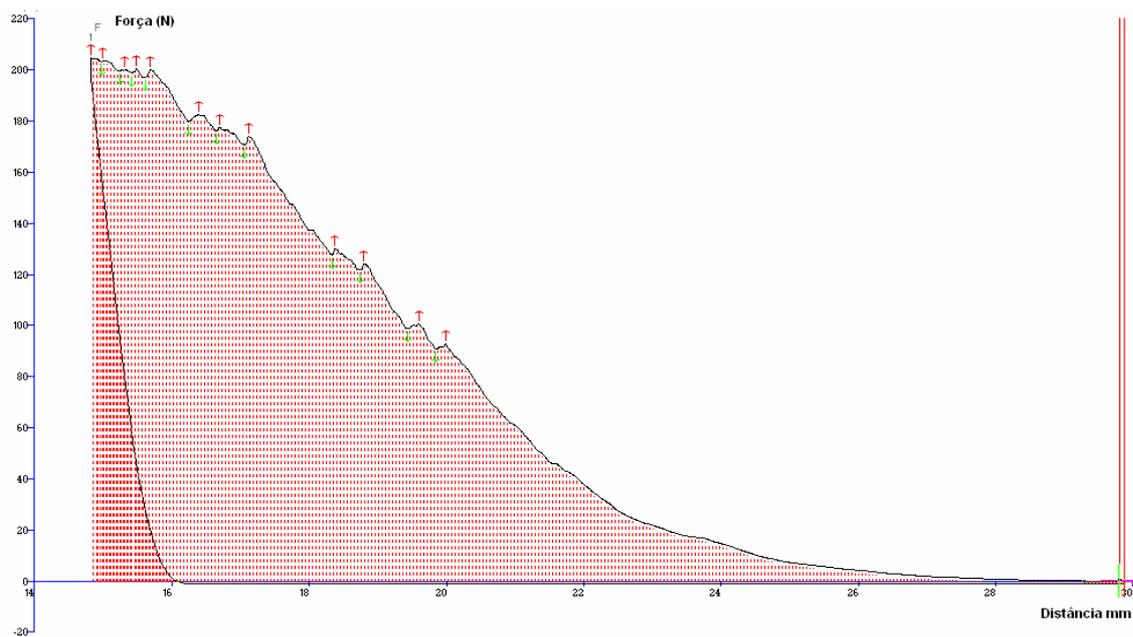
Anexo D.16 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{17} ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



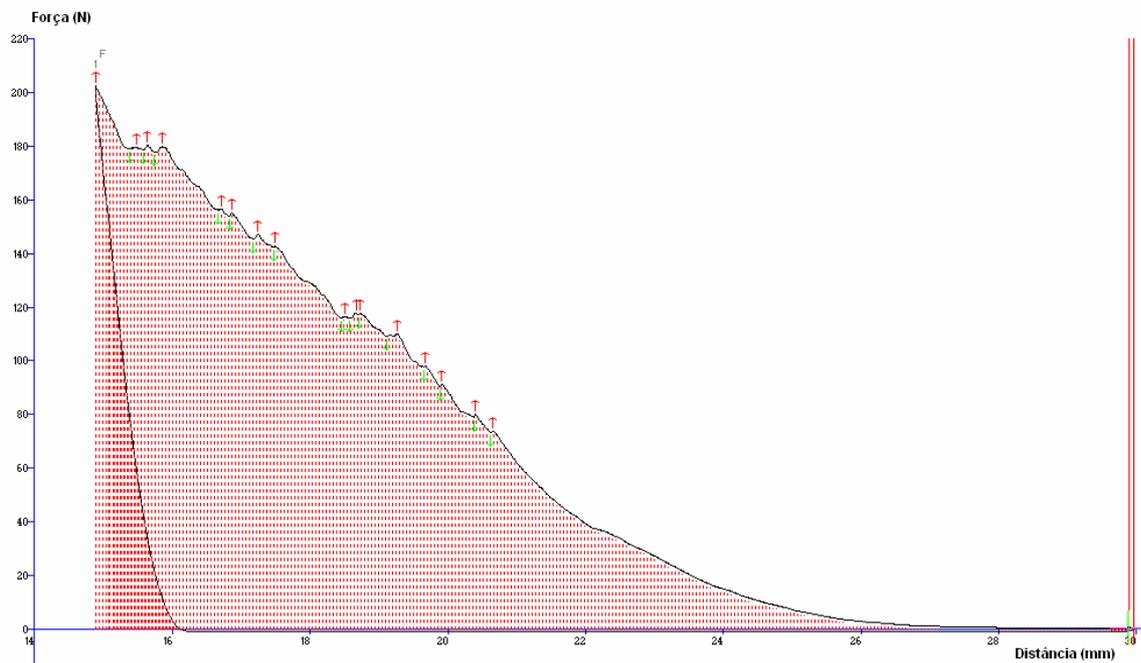
Anexo D.17 Curva média de determinação de textura do tratamento T₁₉ ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



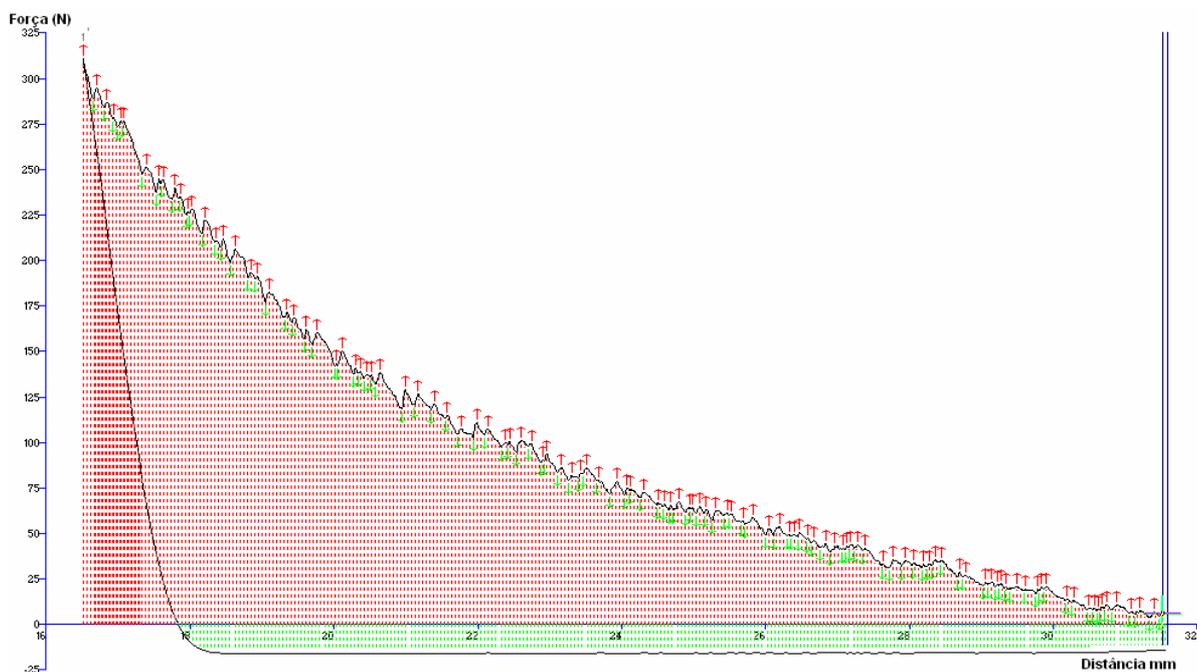
Anexo D.18 Curva média de determinação de textura do tratamento T₁₅ com 1 min de imersão ($X_1= 80,0^{\circ}\text{C}$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



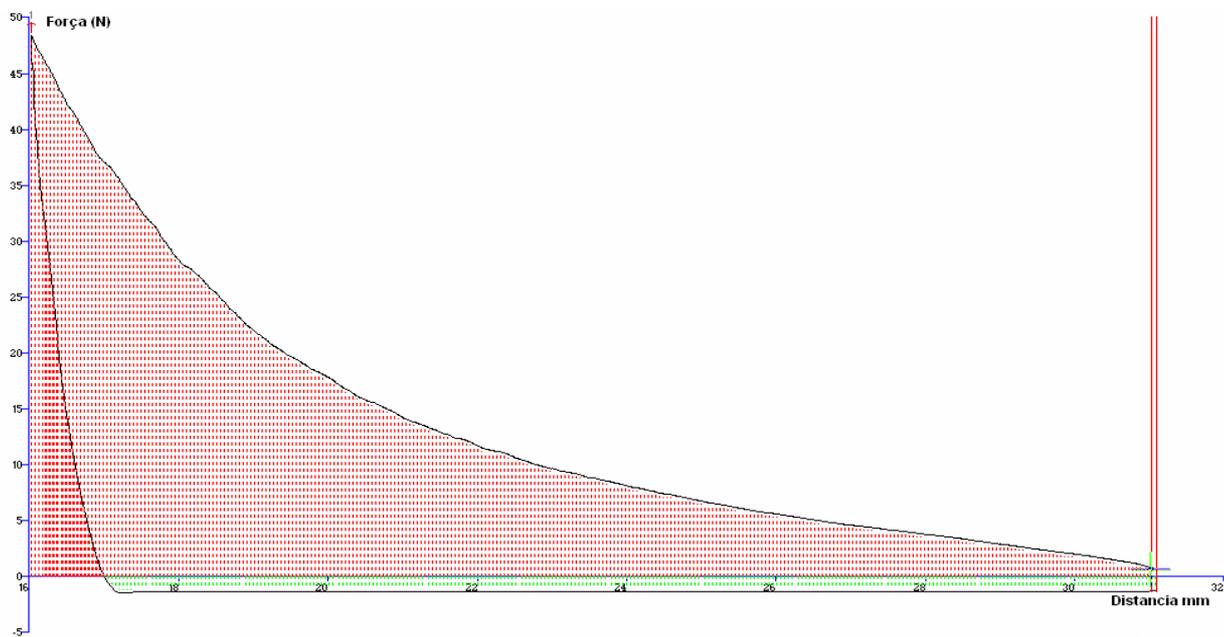
Anexo D.19 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{17} com 1 min de imersão ($X_1= 80,0^{\circ}C$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



Anexo D.20 Curva média de determinação de textura do tratamento T_{19} com 1 min de imersão ($X_1= 80,0^{\circ}C$; $X_2= 30\%$; $X_3= 5\%$).



Anexo D.21 Curva média de determinação de textura de amostra comercial.



Anexo D.22 Curva média de determinação de textura de amostra comercial com 1 min de imersão.

ANEXO E:

ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA DE PERDA DE TEXTURA
CARACTERÍSTICA COM TEMPO DE IMERSÃO
UTILIZANDO O TESTE T:

Anexo E. 1. – Teste t para uma amostra para avaliar se houve diferença significativa entre médias dos PCs utilizados na análise (15, 17 e 19) e os dados obtidos na curva média de cereal matinal comercial:

t para média de força máxima no tempo de 0 min.	t para média de força máxima no tempo de 1 min.	t para média de nº de picos no tempo de 0 min.	
-30,26	108,28	-7,61	valor de t
4,30	4,30	4,30	t tabelado

1- Observou-se que a média da força máxima das amostras tratadas no tempo inicial foi significativamente inferior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.

2- Observou-se que a média da força máxima das amostras tratadas no tempo de 1 minuto foi significativamente superior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.

3- Observou-se que a média do número de picos das amostras tratadas no tempo inicial foi significativamente inferior ($P < 0,05$) à obtida com as amostras comerciais.

Anexo E.2 – Teste-t para duas amostras (tempos de 0 e 1 minuto de imersão em leite) presumindo variâncias equivalentes para avaliar se houve diferença significativa entre médias dos PCs utilizados na análise (15, 17 e 19) em relação a força máxima (atributo perda de dureza):

Força máxima (N)		
	0 min.	1 min.
Média	211,6667	205,3333
Variância	32,33333	6,333333
Observações	3	3
Variância agrupada	19,33333	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,764106	
P($T \leq t$) uni-caudal	0,076242	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P($T \leq t$) bi-caudal	0,152484	
t crítico bi-caudal	2,776445	

1- Não se observou diferença significativa ($P > 0,05$) entre as médias da força máxima nos tempos de 0 e 1 minuto.

Anexo E.3 – Teste-t para duas amostras (tempos de 0 e 1 minuto de imersão em leite) presumindo variâncias equivalentes para avaliar se houve diferença significativa entre médias dos PCs utilizados na análise (15, 17 e 19) em relação ao número de picos (atributo perda de crocância):

Número de picos		
	0 min.	1 min.
Média	89,33333	10,666667
Variância	24,33333	37,333333
Observações	3	3
Variância agrupada	30,83333	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	17,35107	
P(T<=t) uni-caudal	3,24E-05	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	6,48E-05	
t crítico bi-caudal	2,776445	

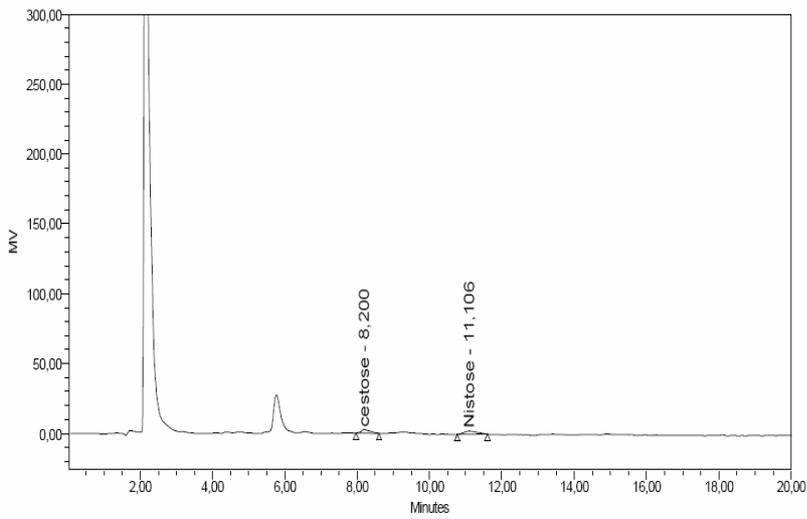
1- Observou-se que a média do número de picos obtida a 1 minuto foi significativamente ($P < 0,05$) inferior à obtida no tempo inicial.

ANEXO F:

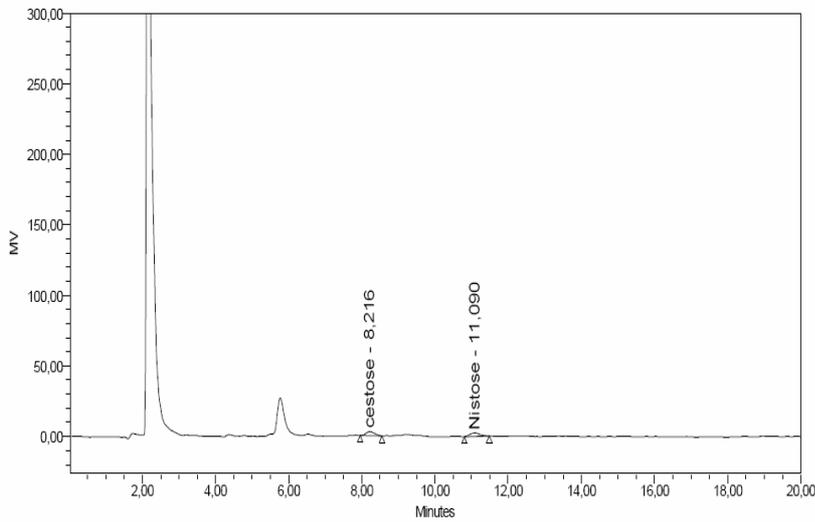
**CROMATOGRAMAS PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS
DE FRUTANOS NO PROCESSAMENTO.**

ANEXO F.1:

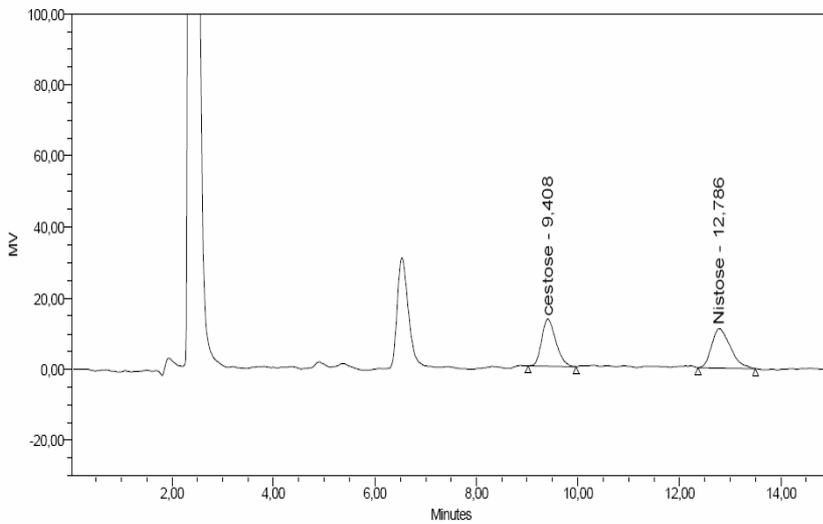
CROMATOGRAMAS DE NISTOSE E KESTOSE



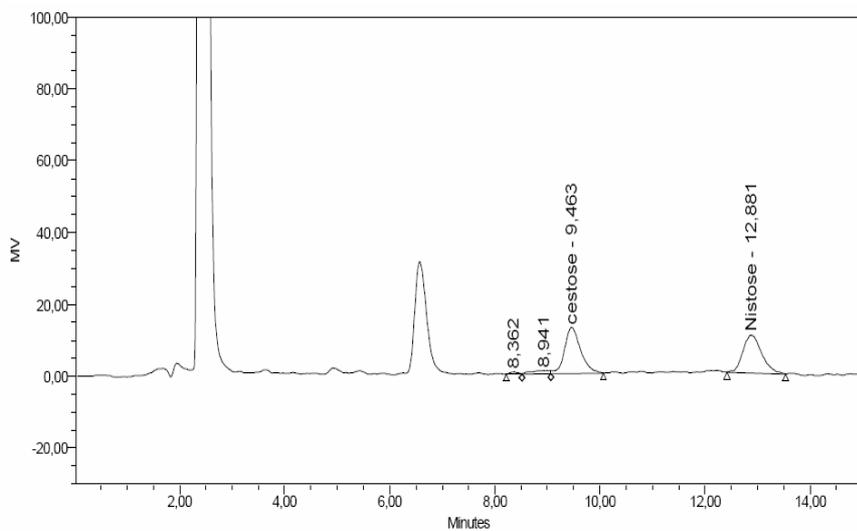
Anexo F.1.1: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁



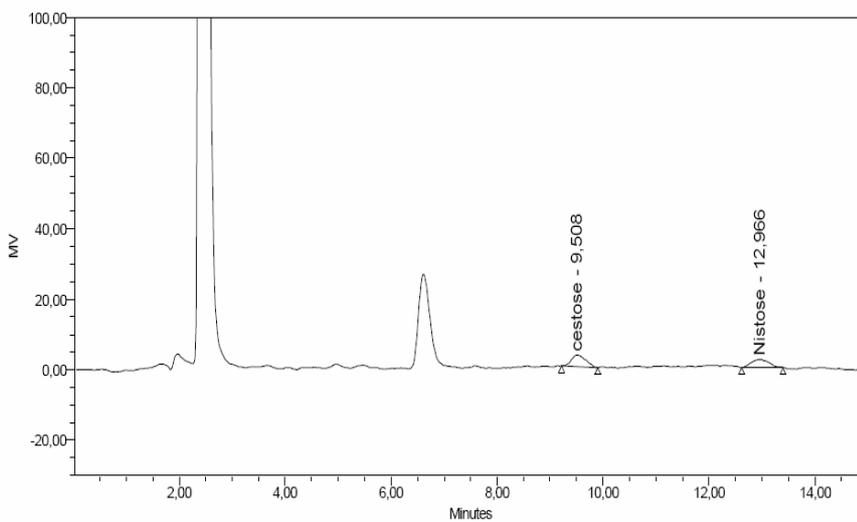
Anexo F.1.2: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁



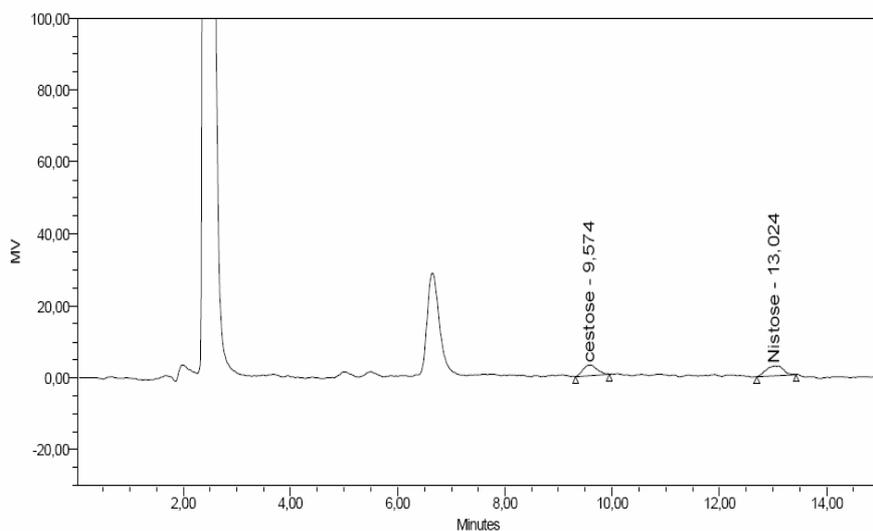
Anexo F.1.3: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₂



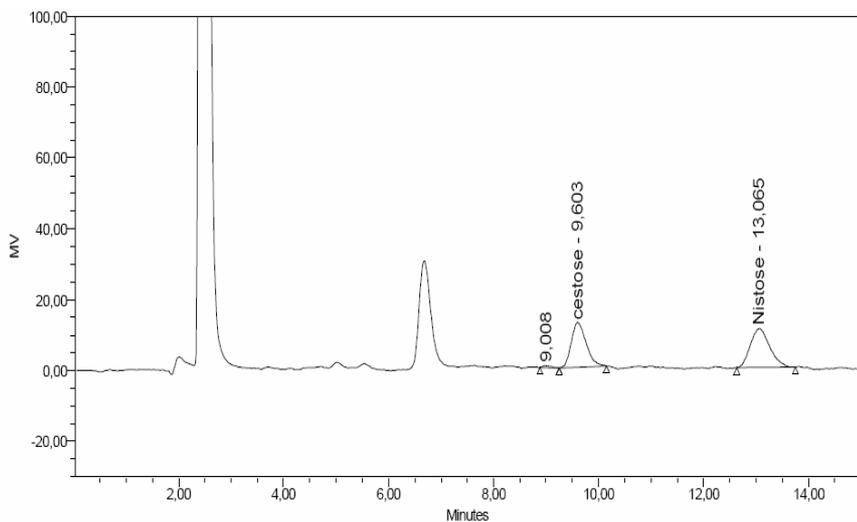
Anexo F.1.4: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₂



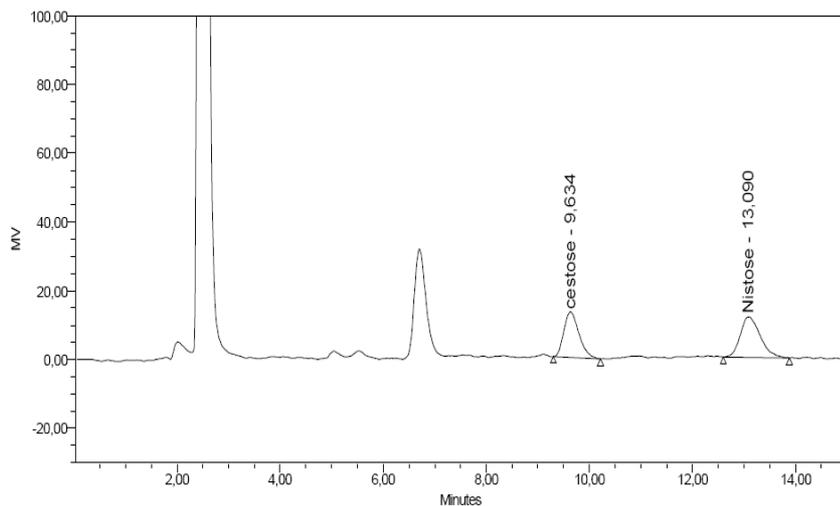
Anexo F.1.5: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₃



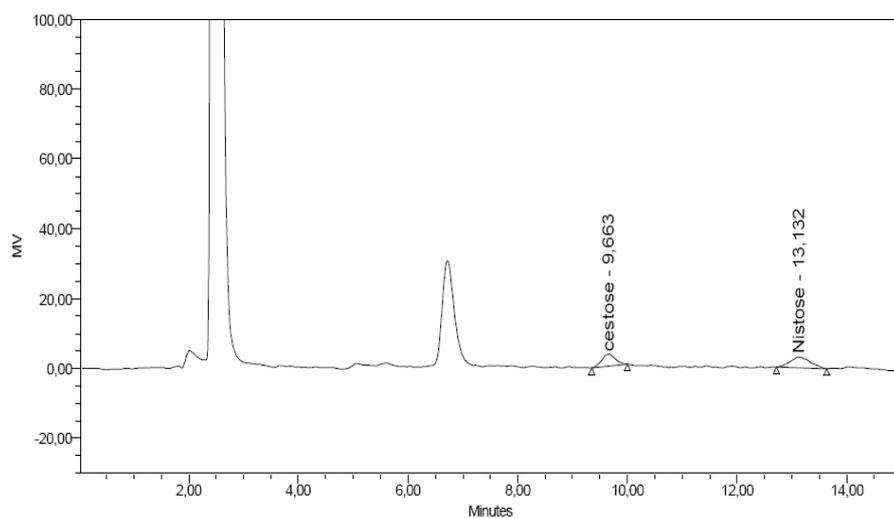
Anexo F.1.6: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra I₃



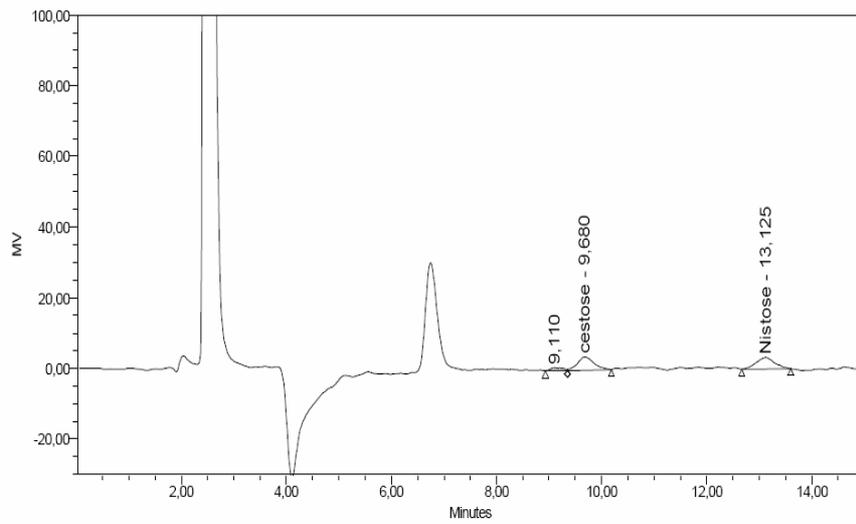
Anexo F.1.7: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₄



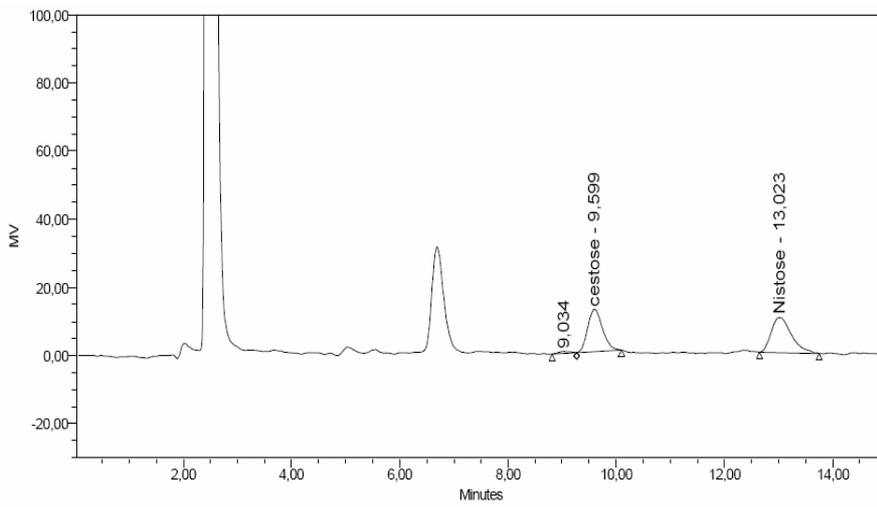
Anexo F.1.8: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₄



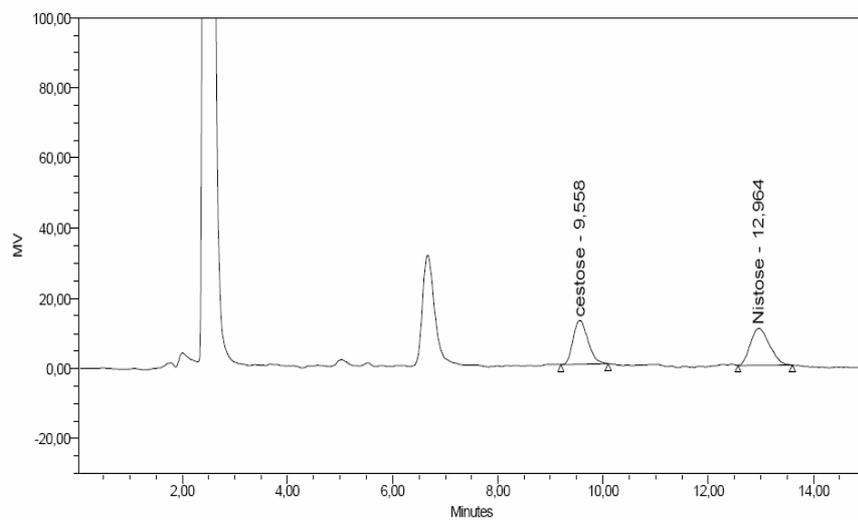
Anexo F.1.9: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₅



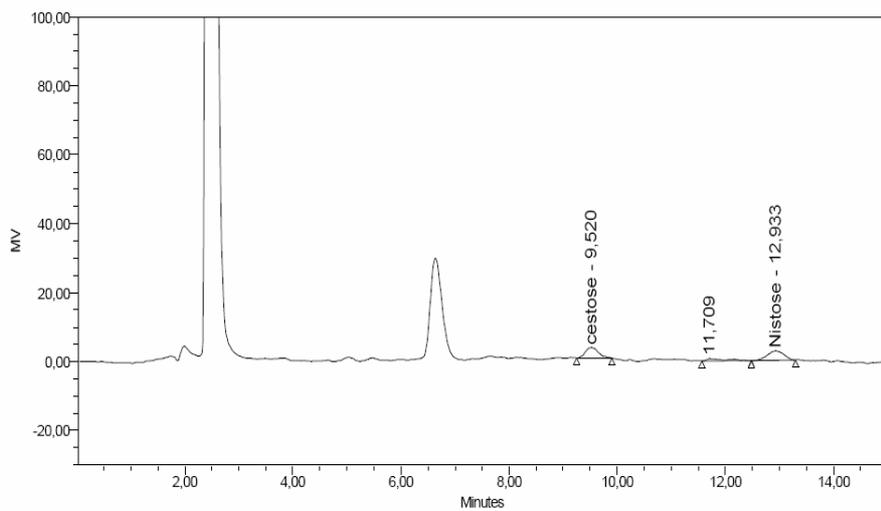
Anexo F.1.10: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₅



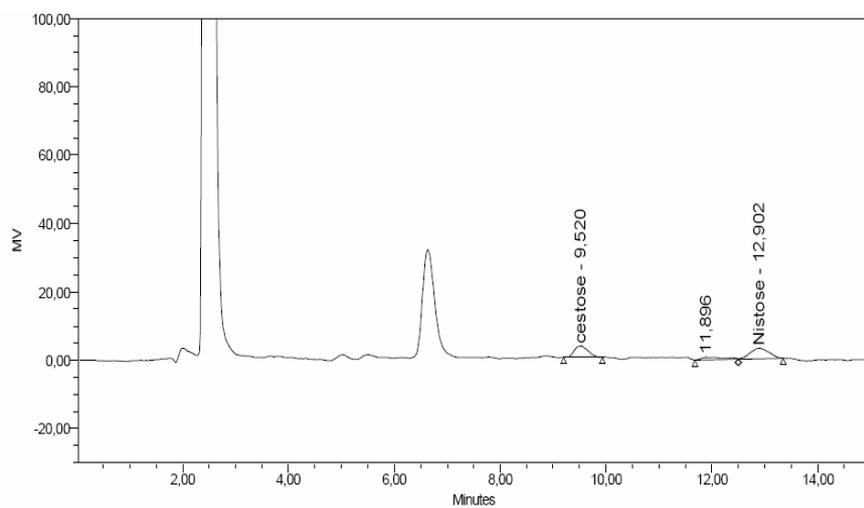
Anexo F.1.11: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₆



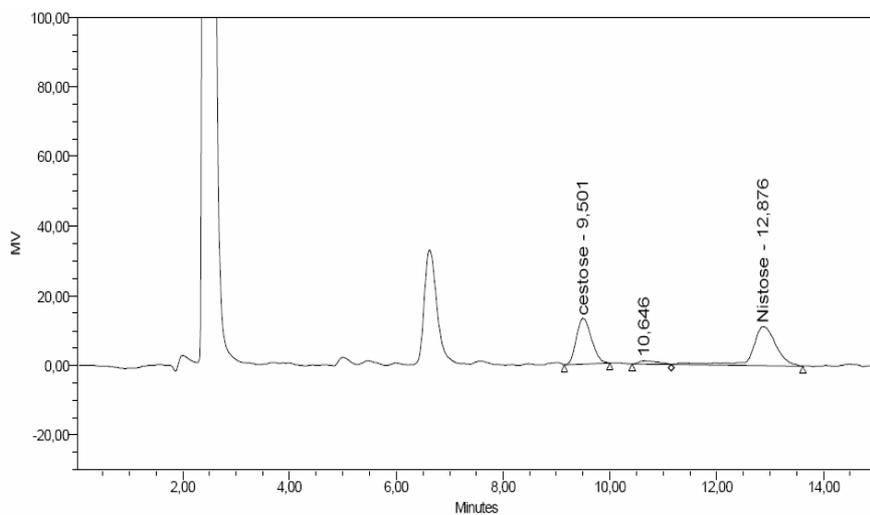
Anexo F.1.12: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₆



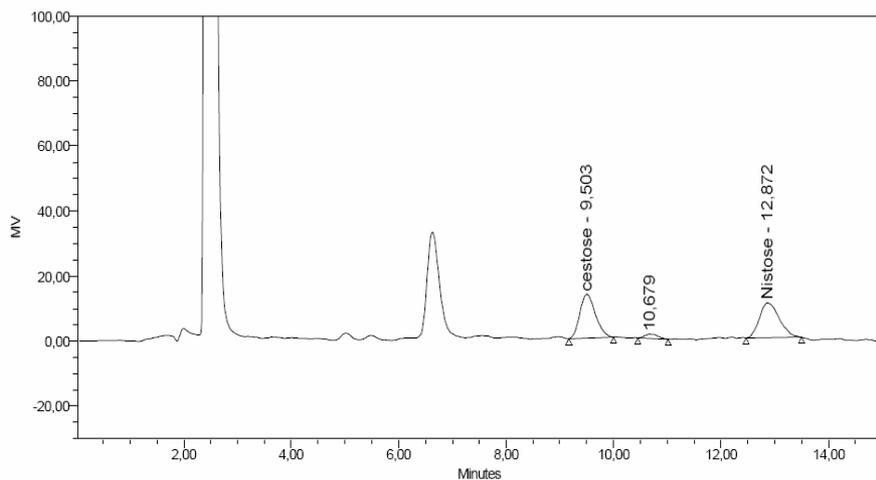
Anexo F.1.13: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₇



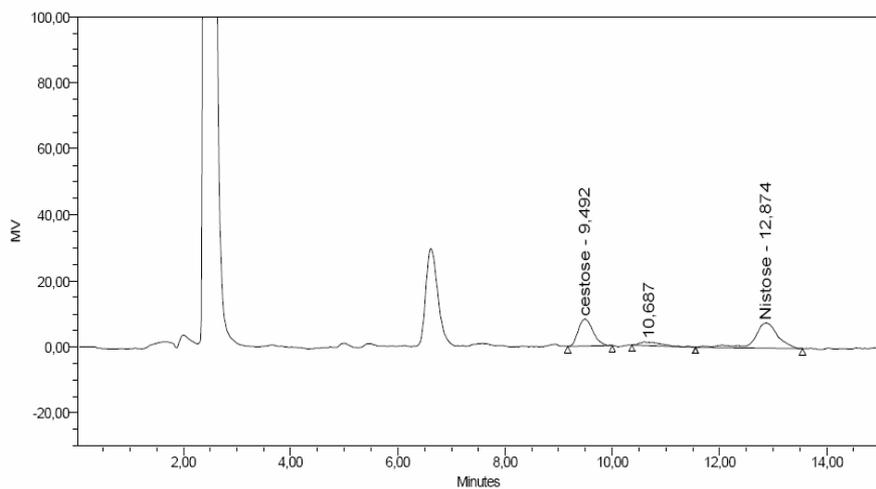
Anexo F.1.14: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₇



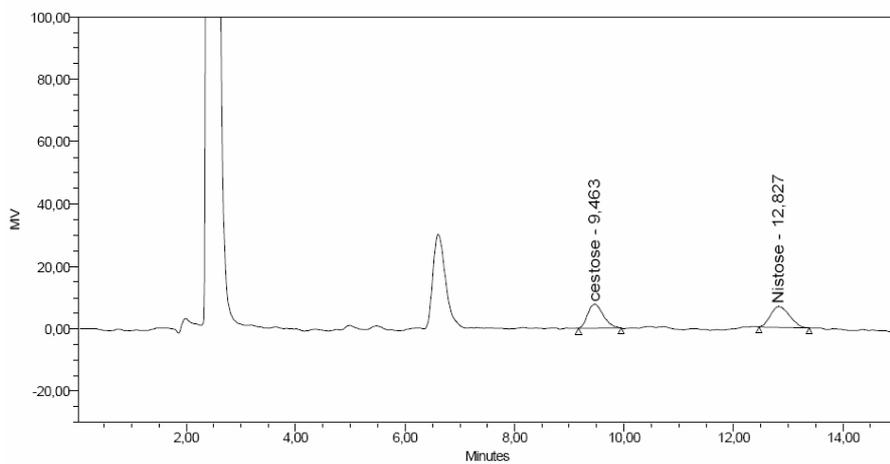
Anexo F.1.15: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₈



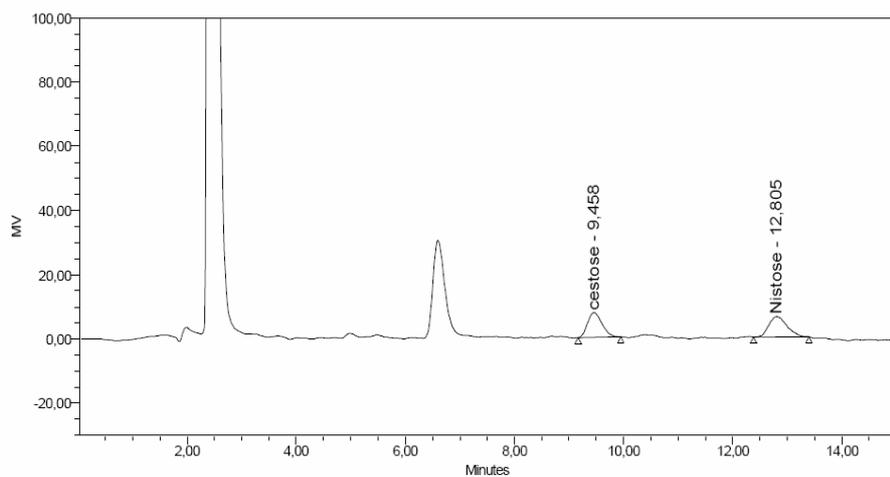
Anexo F.1.16 : Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₈



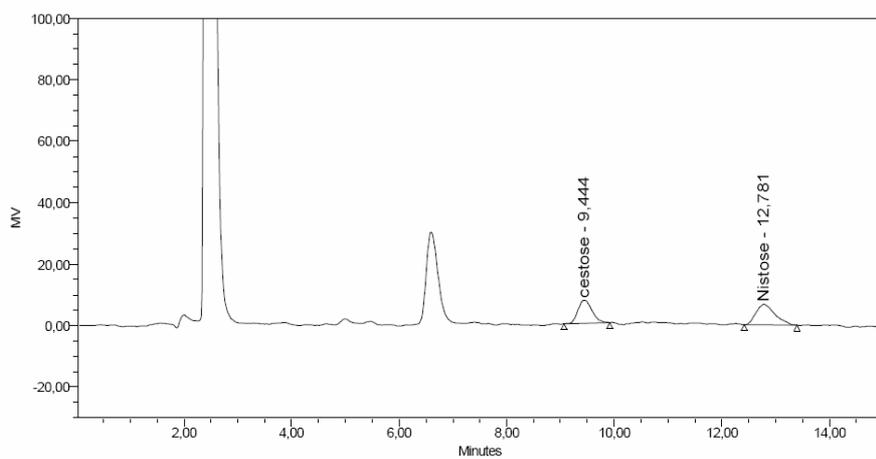
Anexo F.1.17: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₉



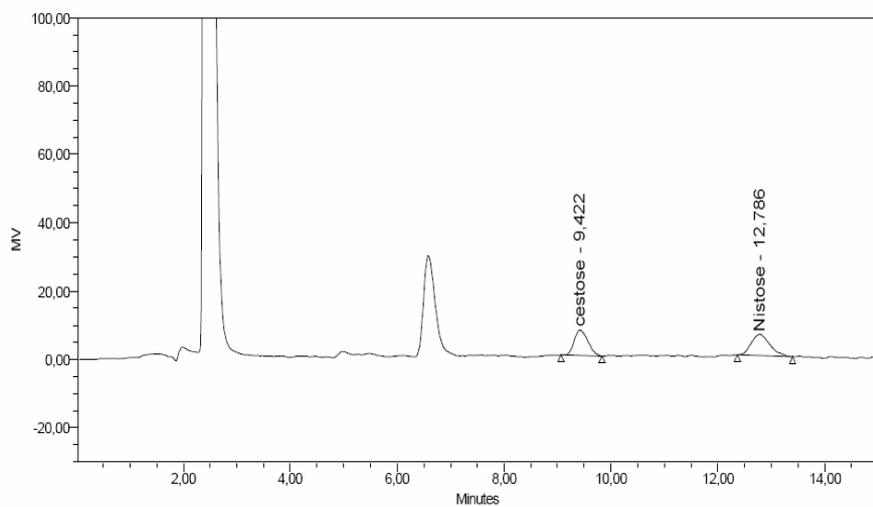
Anexo F.1.18: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₉



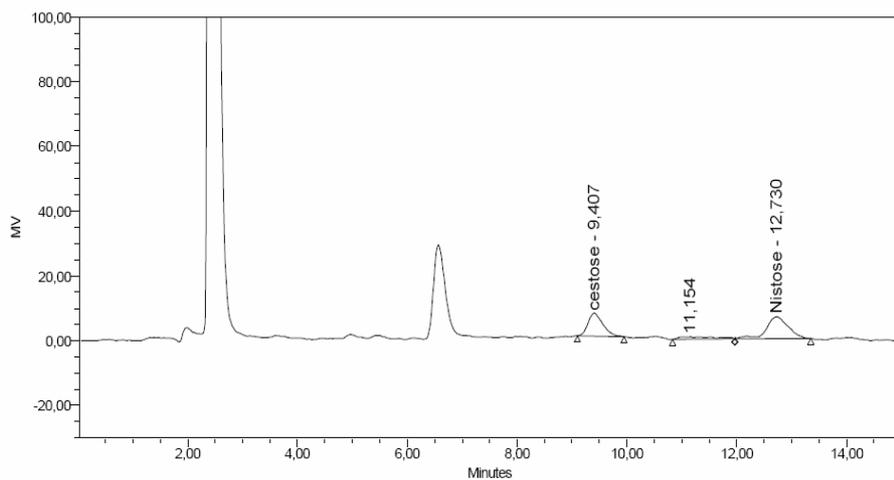
Anexo F.1.19: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₀



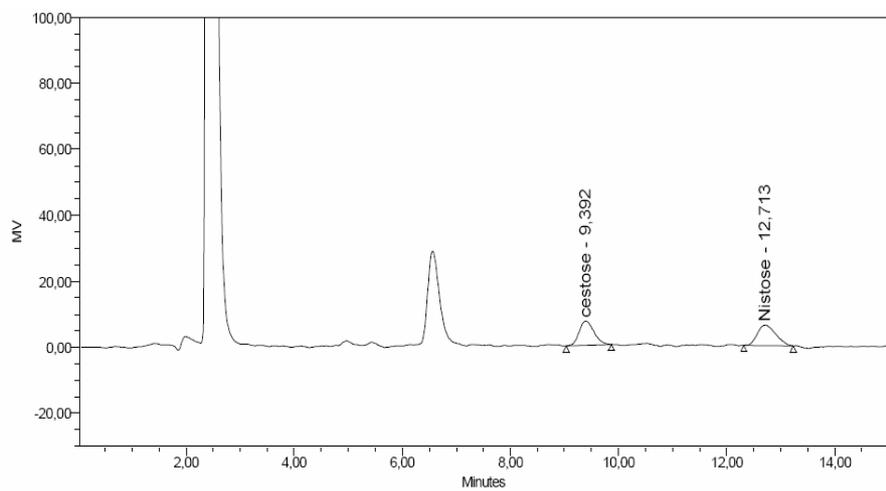
Anexo F.1.20: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₀



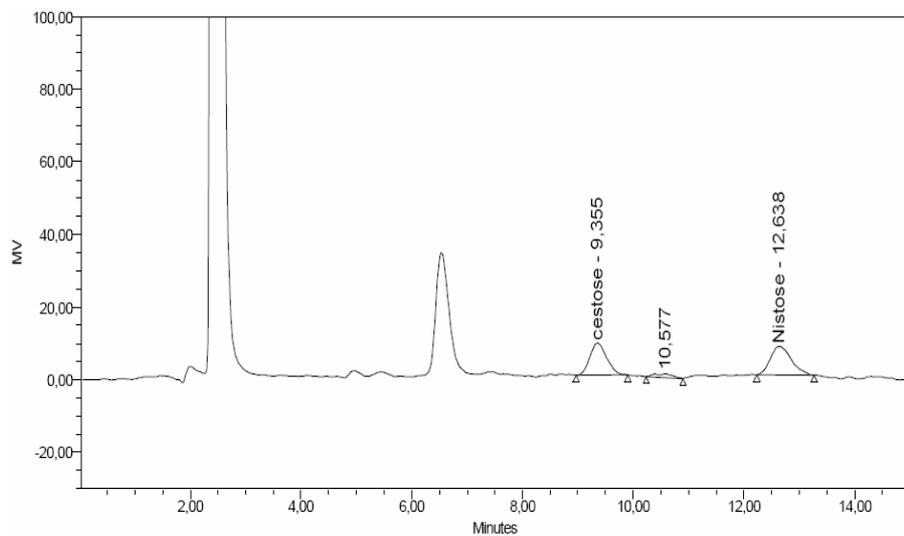
Anexo F.1.21: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₁



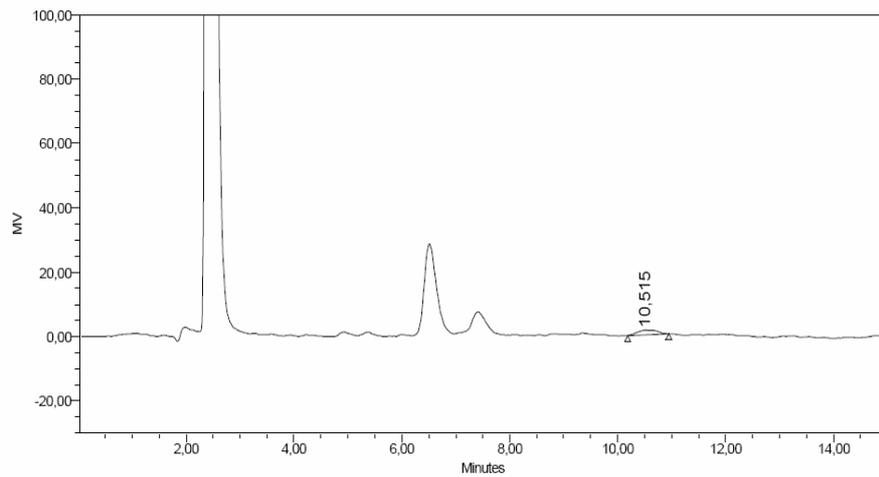
Anexo F.1.22: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₁



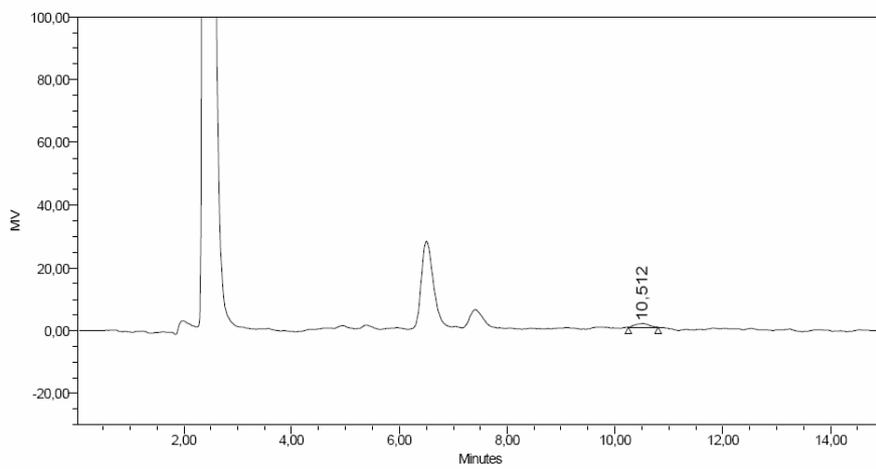
Anexo F.1.23: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₂



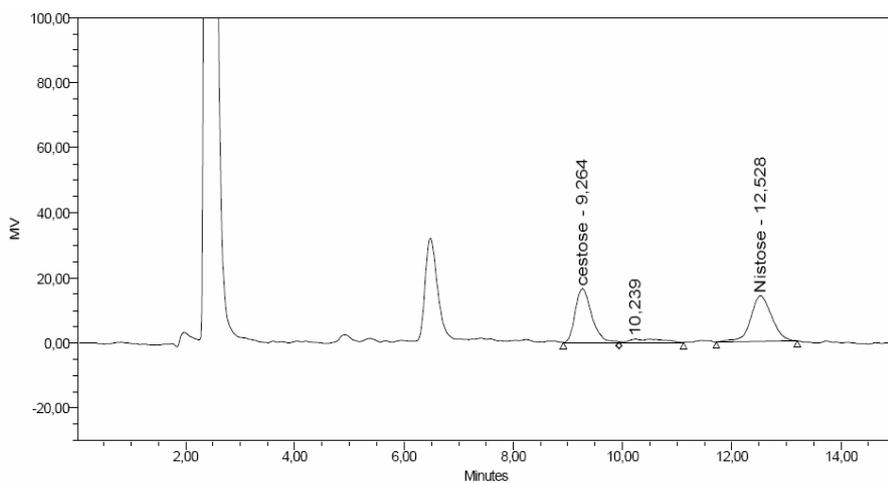
Anexo F.1.24: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₂



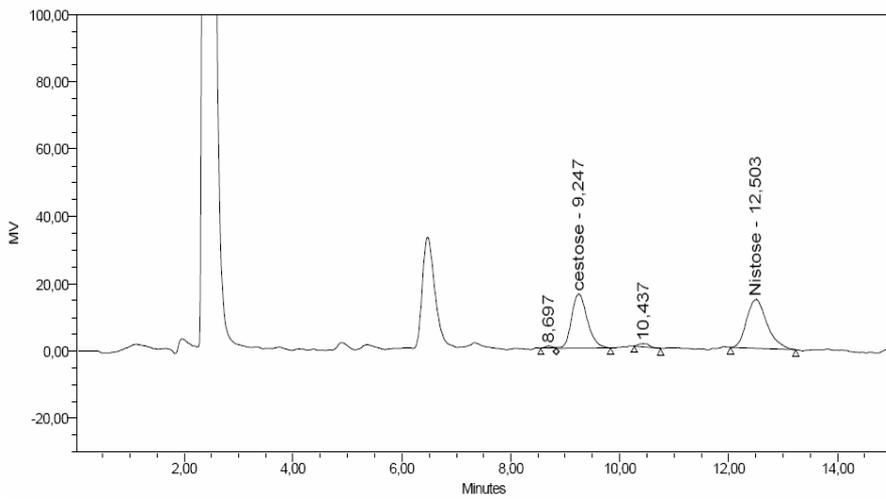
Anexo F.1.25: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₃



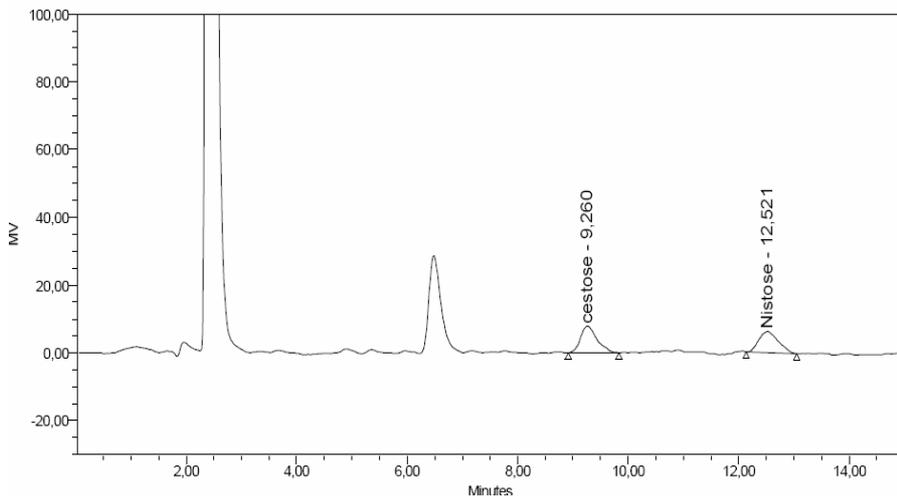
Anexo F.1.26: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₃



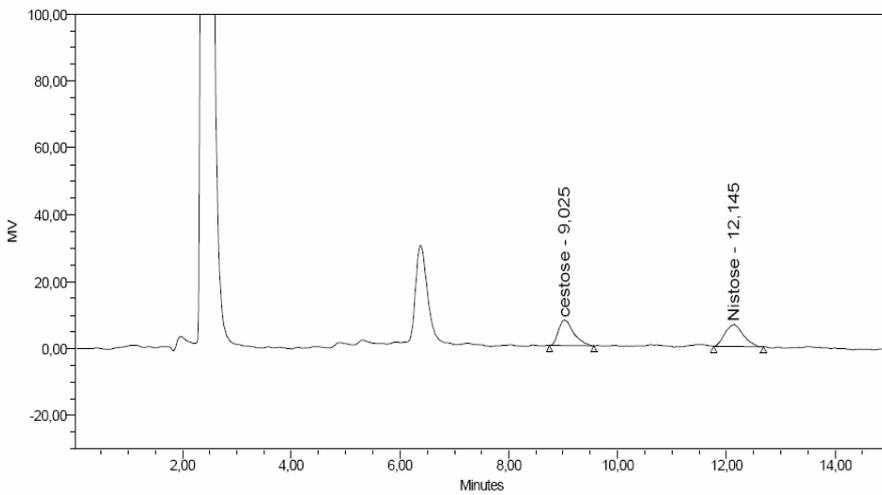
Anexo F.1.27: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₄



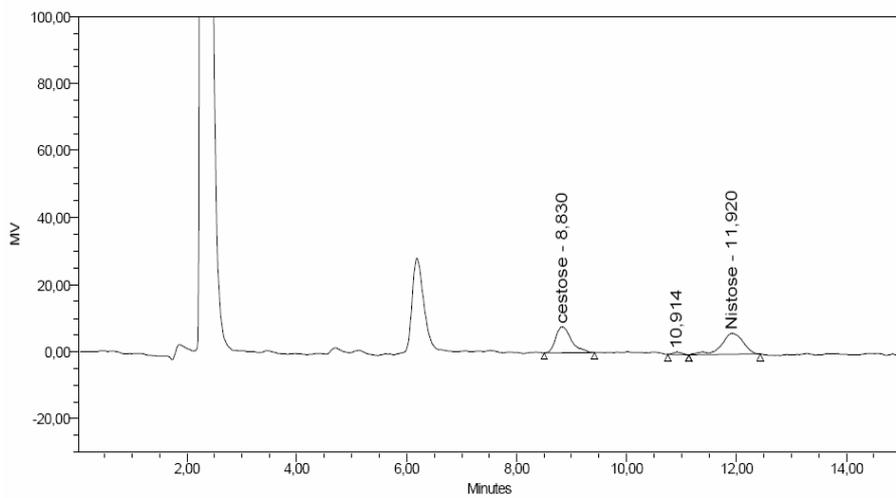
Anexo F.1.28: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₄



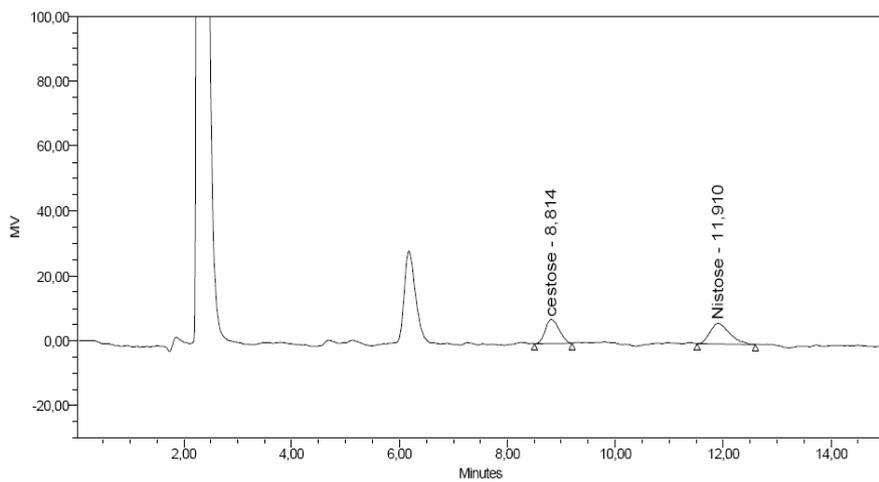
Anexo F.1.29: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₅



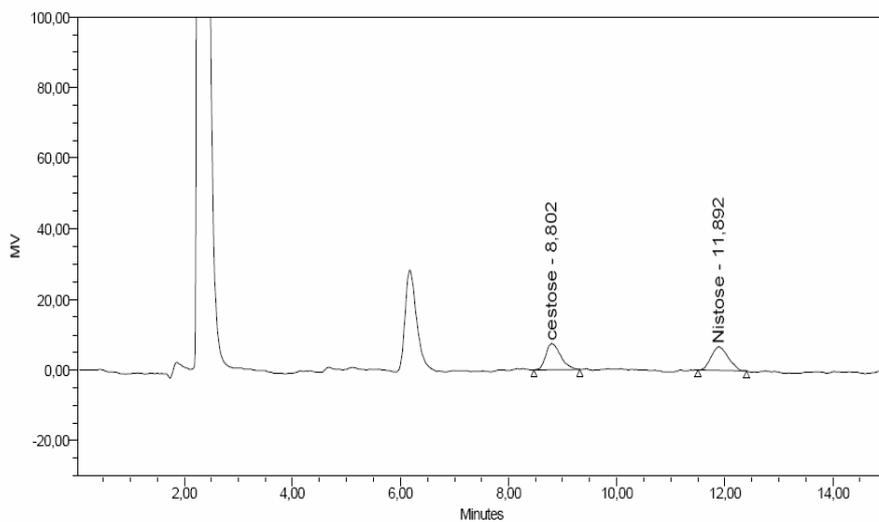
Anexo F.1.30: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₅



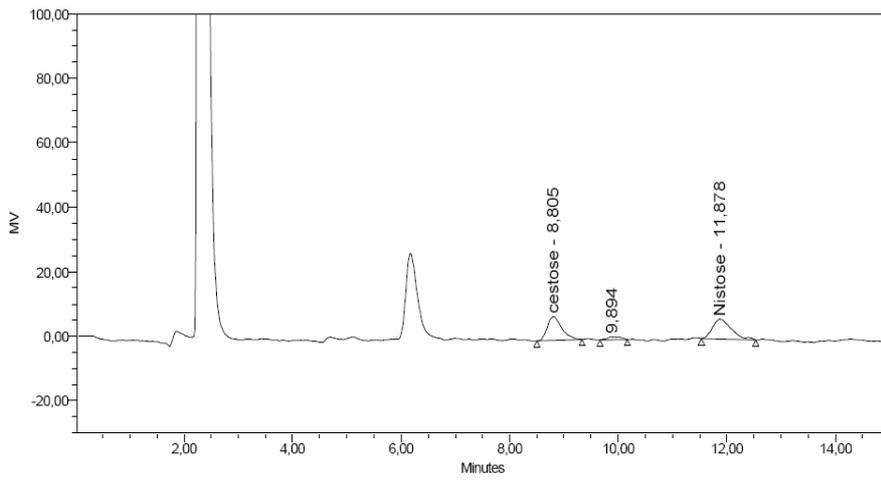
Anexo F.1.31: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₆



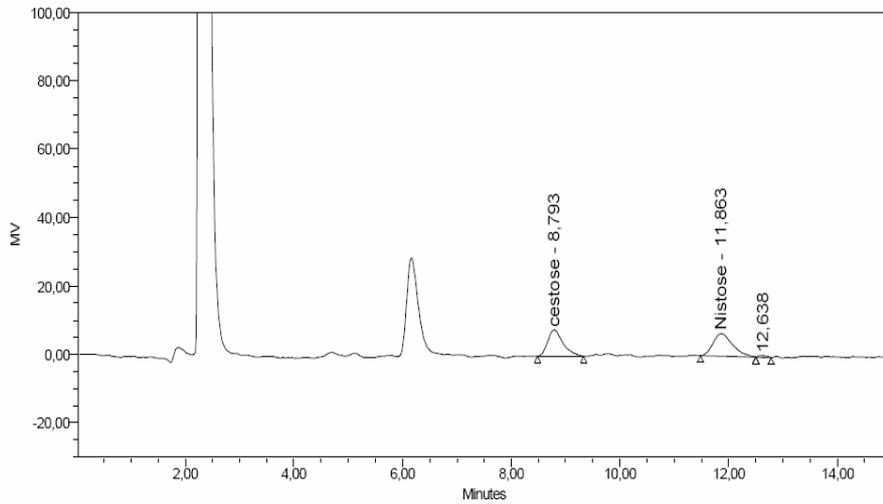
Anexo F.1.32: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₆



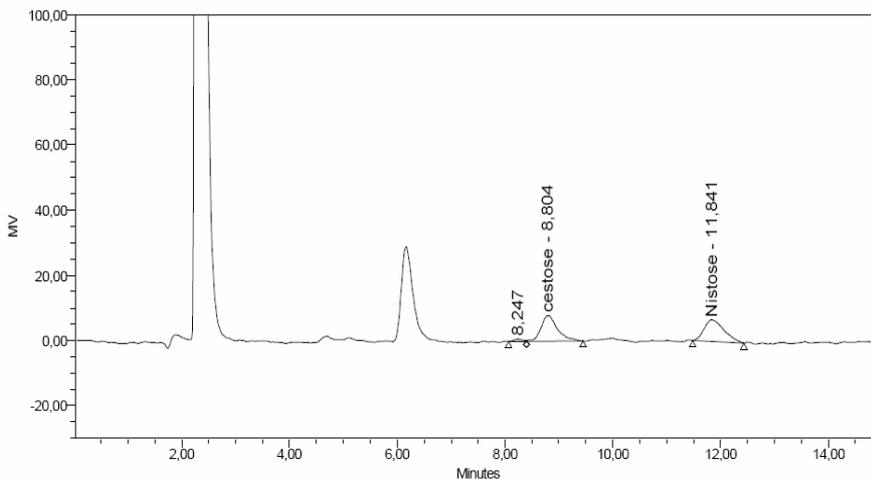
Anexo F.1.33: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₇



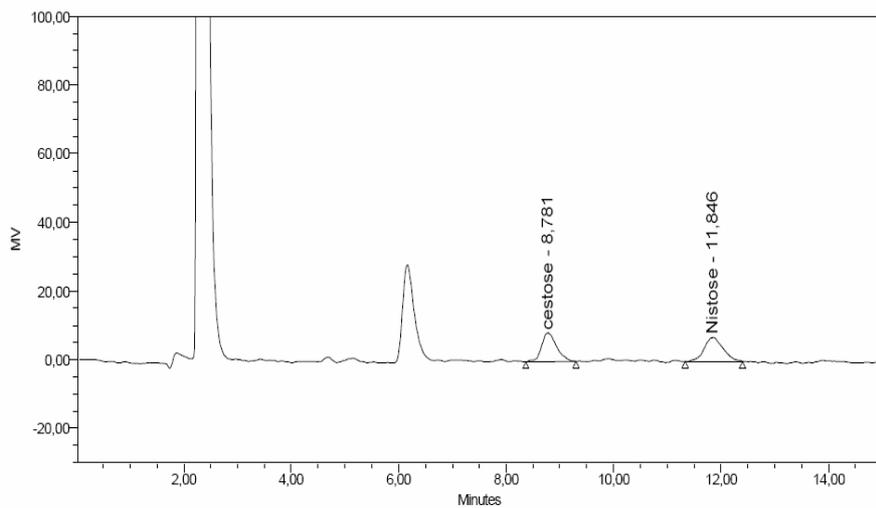
Anexo F.1.34: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₇



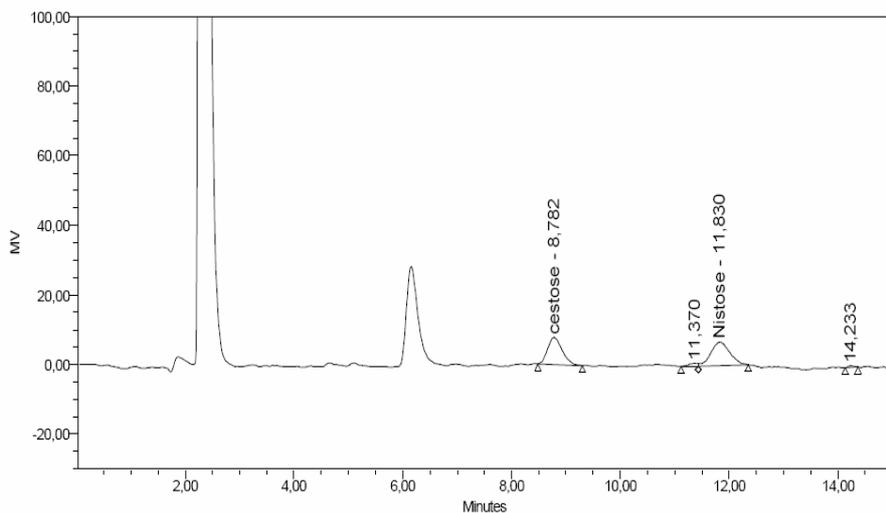
Anexo F.1.35: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₈



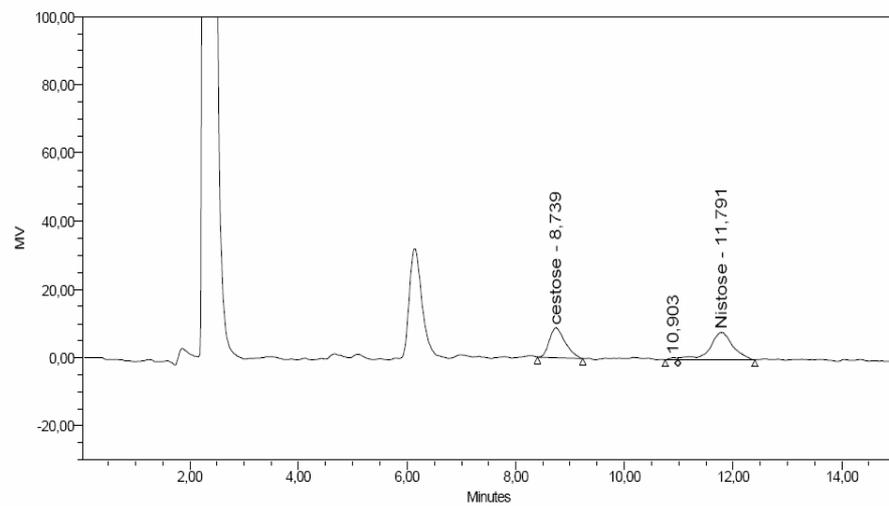
Anexo F.1.36: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₈



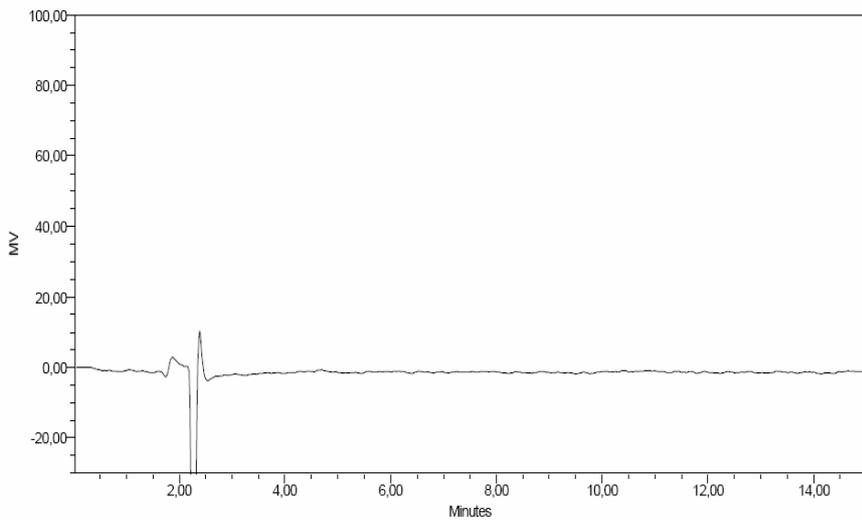
Anexo F.1.37: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₁₉



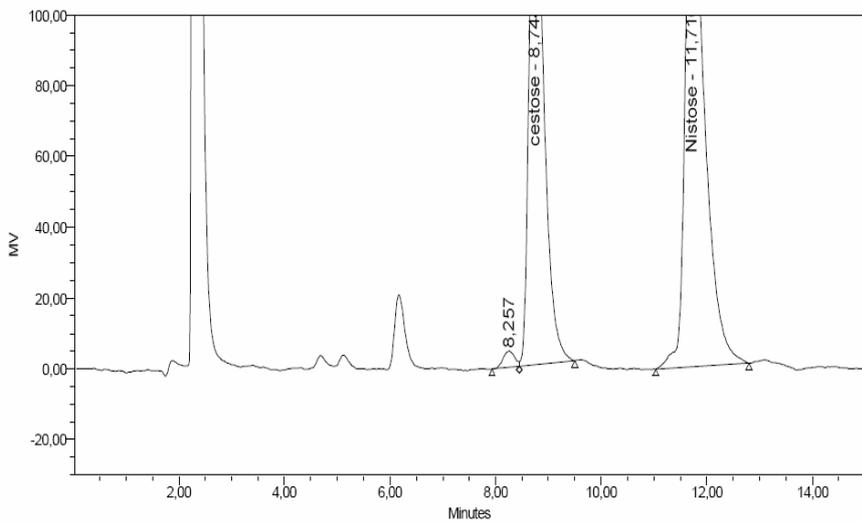
Anexo F.1.38: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₁₉



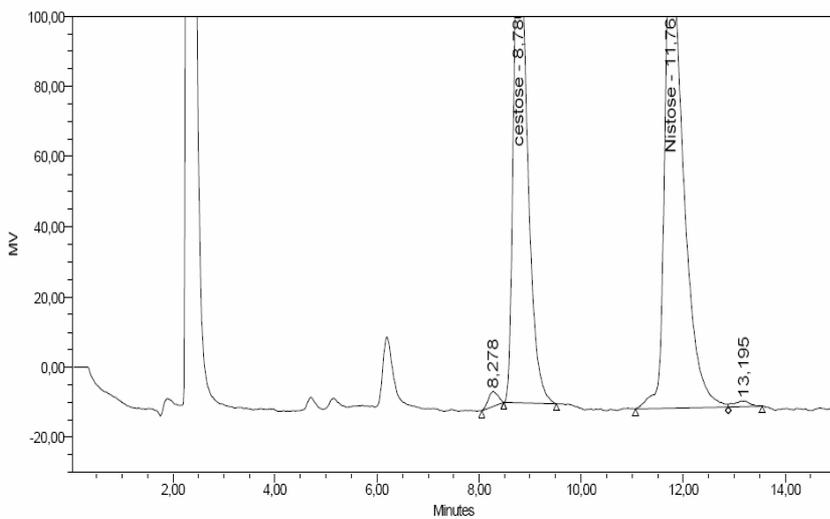
Anexo F.1.39: Cromatograma de teor de kestose e nistose para amostra T₂₀



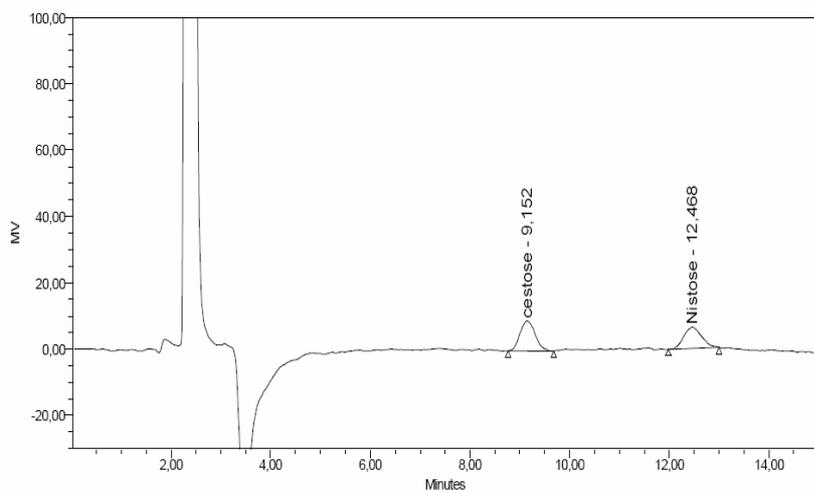
Anexo F.1.40: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para amostra T₂₀



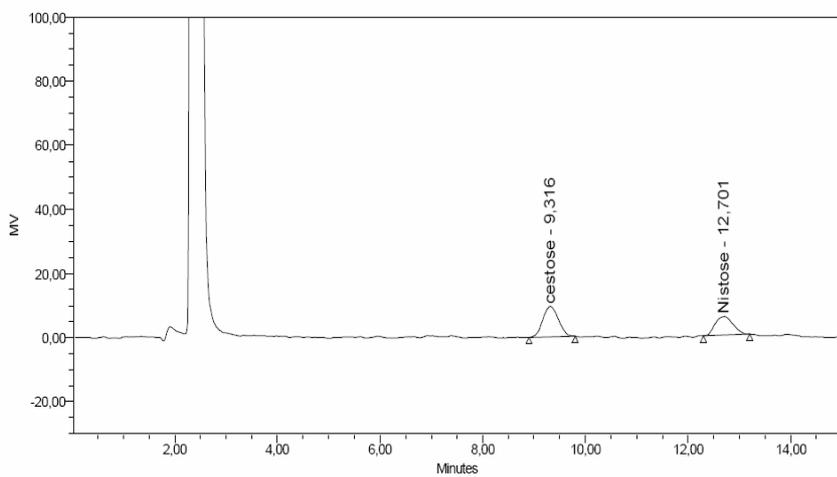
Anexo F.1.41: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose da amostra MP



Anexo F.1.42: Cromatograma de teor de kestose e nistose para MP



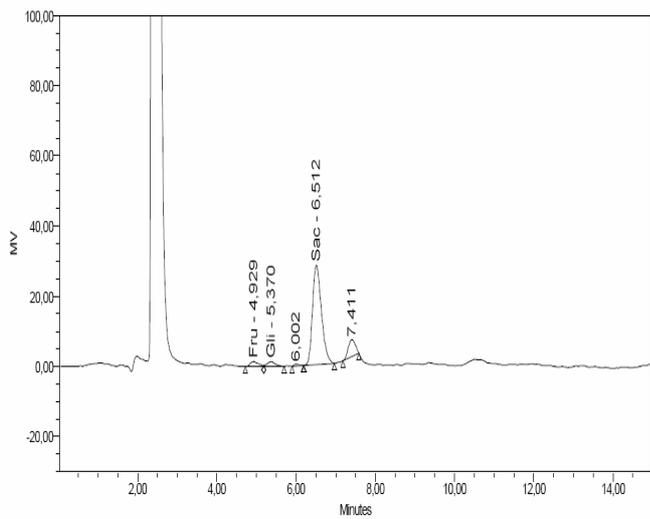
Anexo F.1.43: Cromatograma de teor de kestose e nistose para padrão



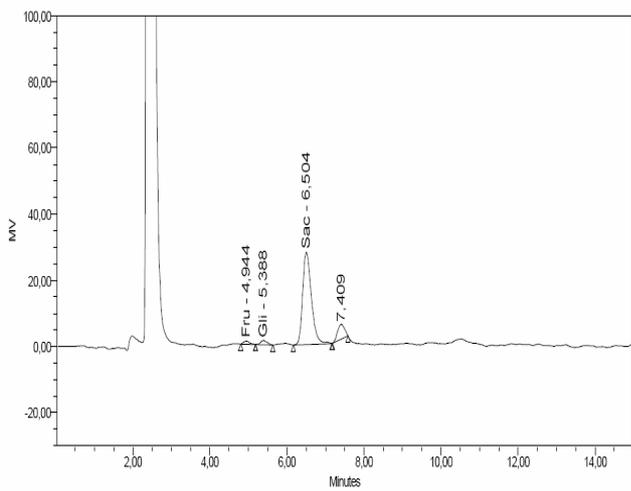
Anexo F.1.44: Cromatograma replicata de teor de kestose e nistose para padrão

ANEXO F.2 :

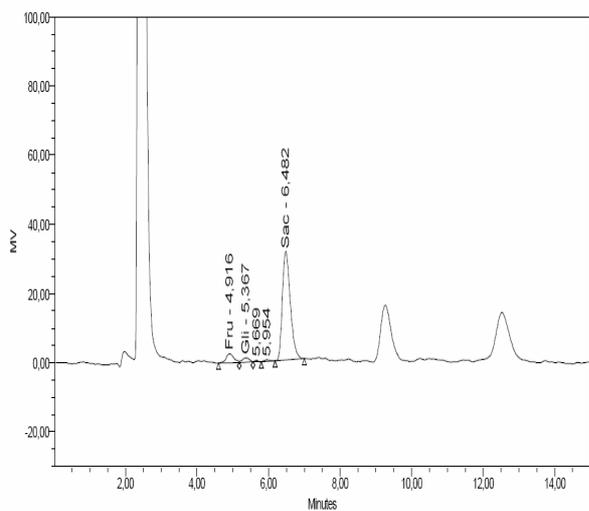
CROMATOGRAMAS DE SACAROSE, GLICOSE E
FRUTOSE:



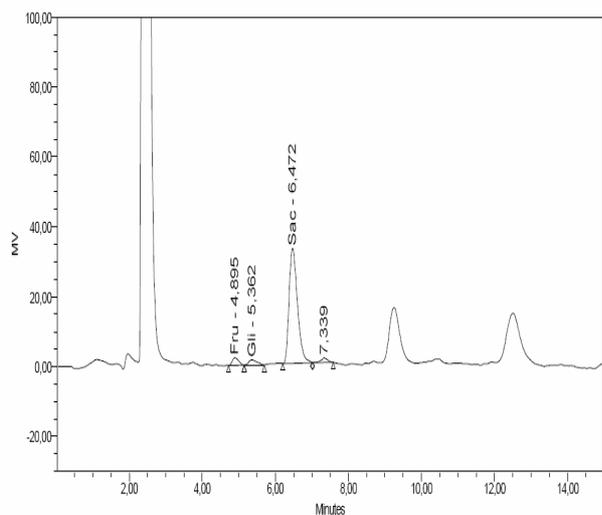
Anexo F.1: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₃



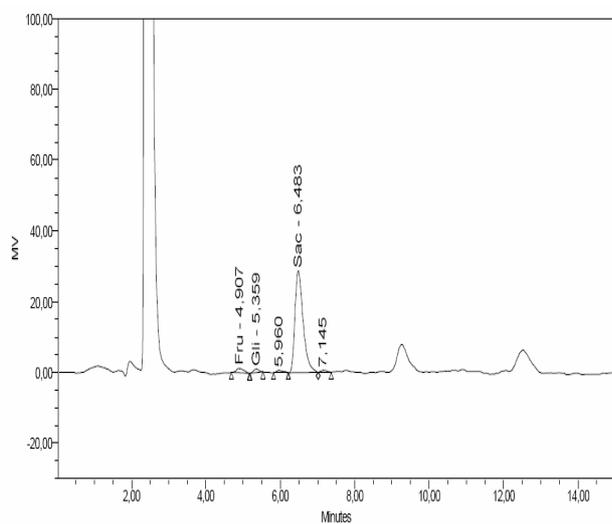
Anexo F.2: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₃



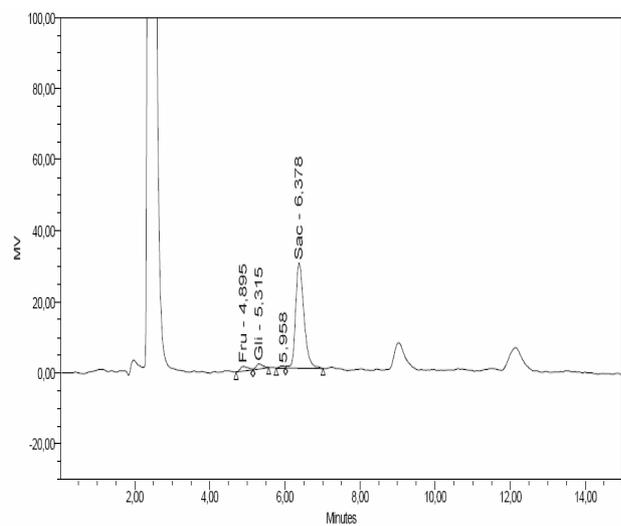
Anexo F.I.3: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₄



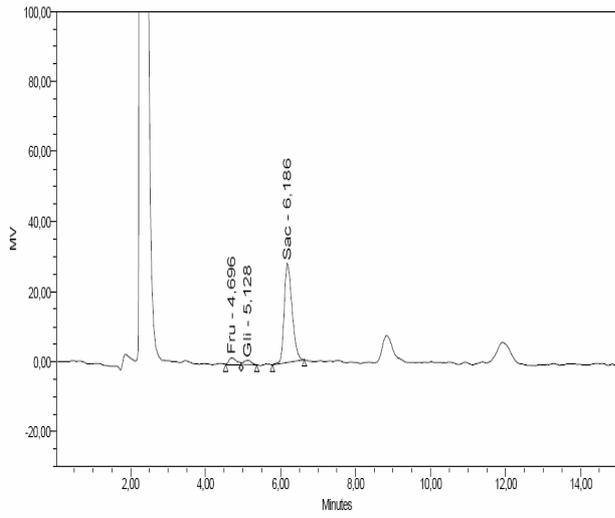
Anexo F.I.4: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₄



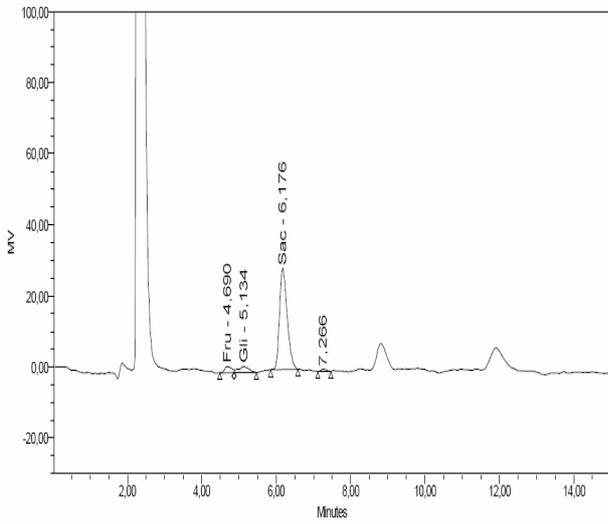
Anexo F.I.5: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₅



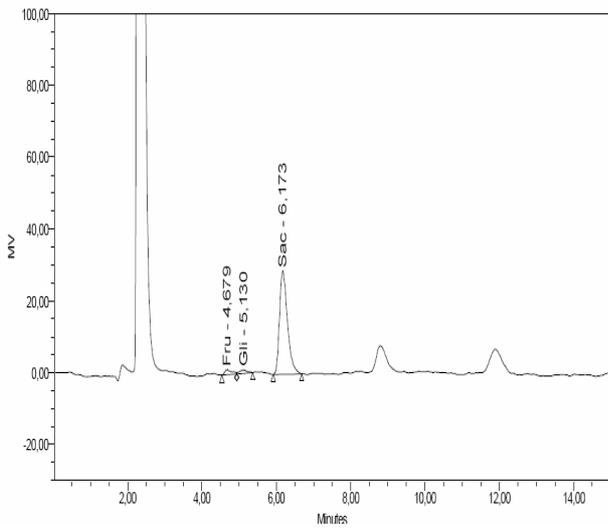
Anexo F.I.6: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₅



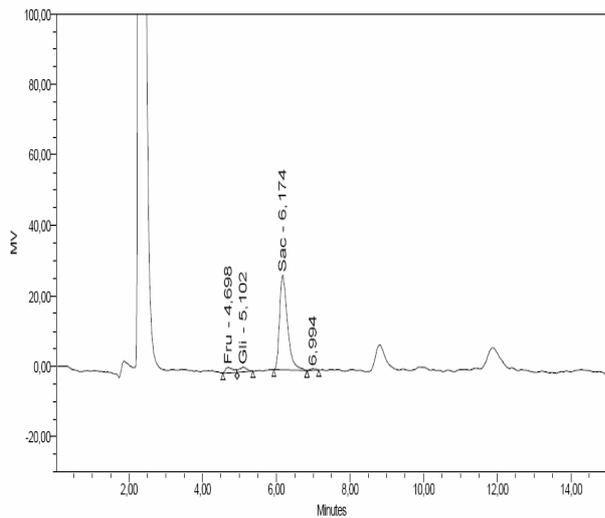
Anexo F.I.7: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₆



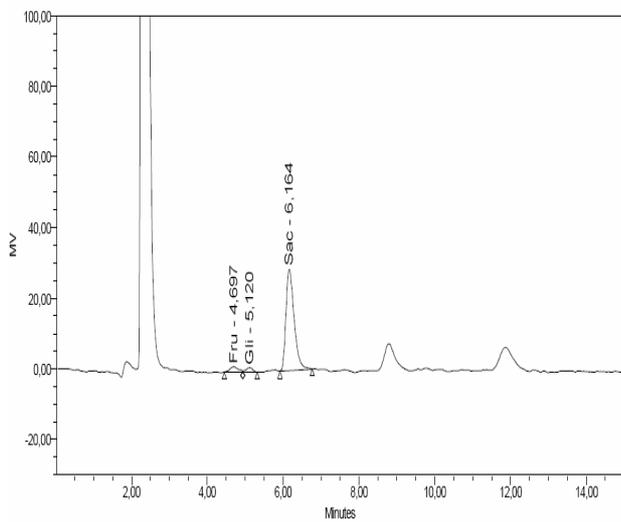
Anexo F.I.8: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₆



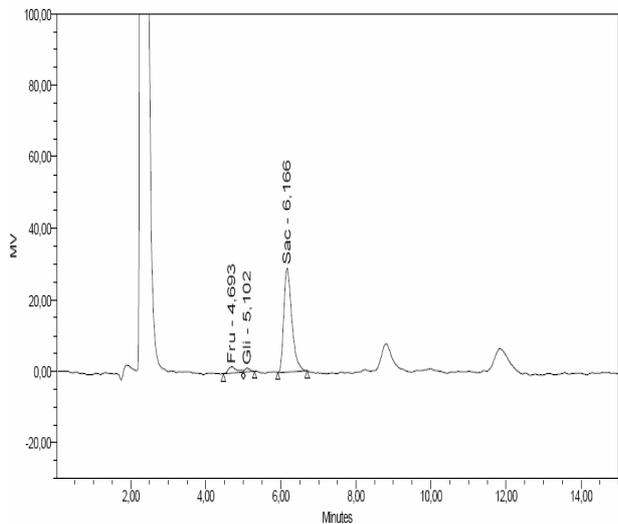
Anexo F.I.9: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₇



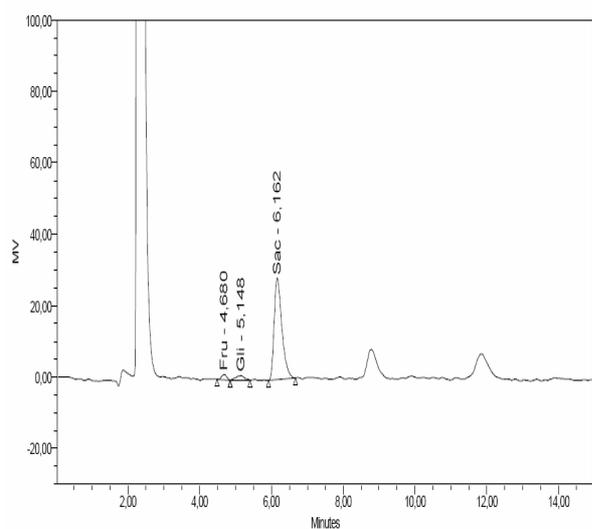
Anexo F.I.10: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₇



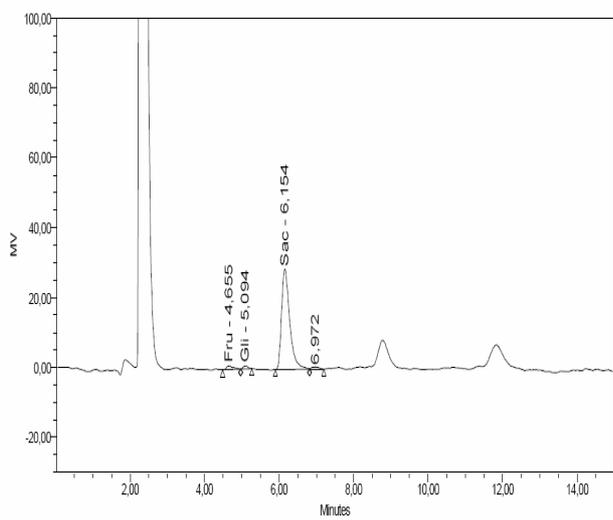
Anexo F.I.11: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₈



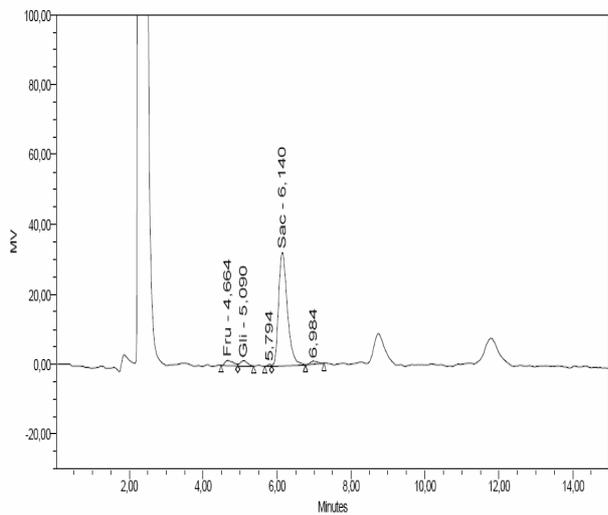
Anexo F.I.12: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₈



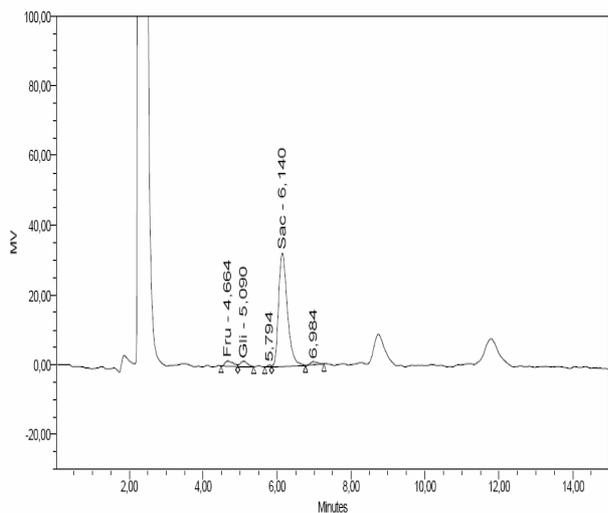
Anexo F.I.13: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₉



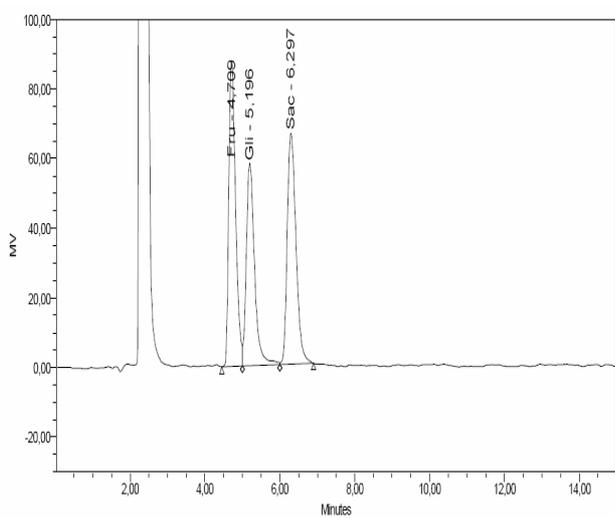
Anexo F.I.14: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₁₉



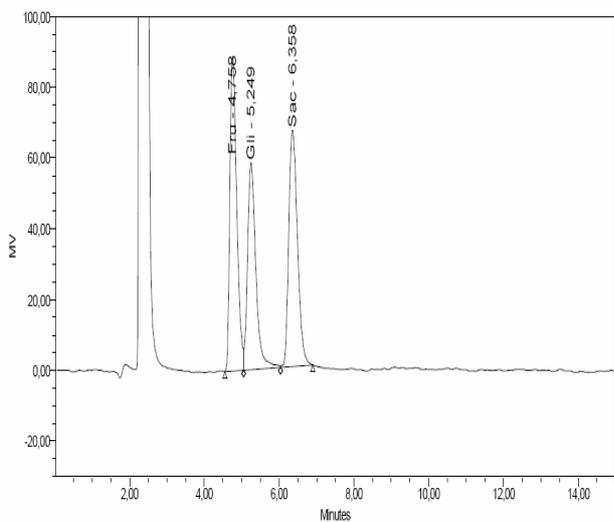
Anexo F.I.15: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para amostra T₂₀



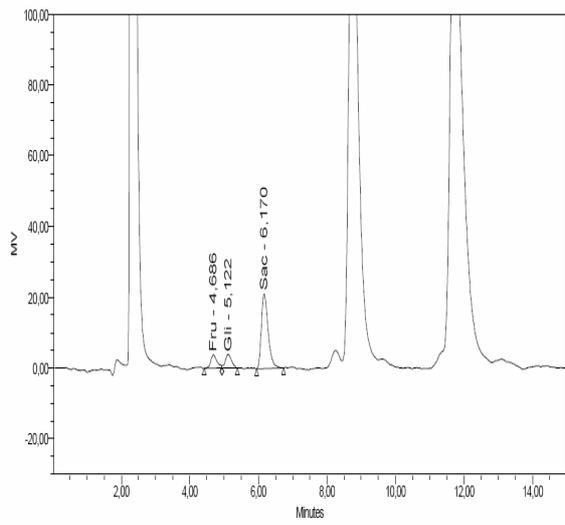
Anexo F.I.16: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose da amostra T₂₀



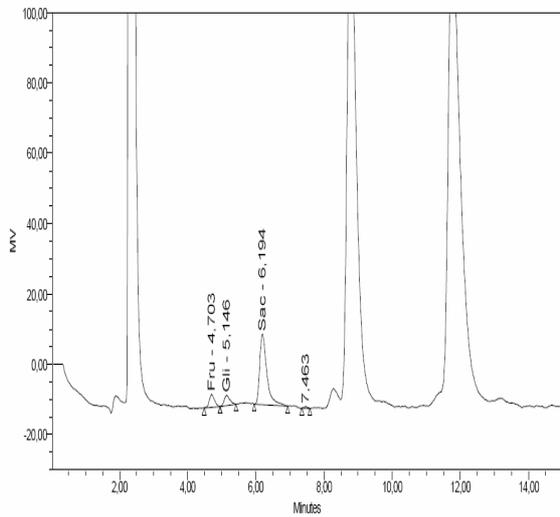
Anexo F.I.17: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para MP



Anexo F.I.18: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para MP



Anexo F.I.19: Cromatograma de teor de glicose frutose e sacarose para padrão



Anexo F.I.20: Cromatograma replicata de teor de glicose frutose e sacarose para padrão

ANEXO G:

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE OBSERVAÇÃO DE
OCORRÊNCIA DE DIFERENÇA SIGNIFICATIVA NA
RELAÇÃO DA TAXA DE AÇ. COMPLEXO/AÇ. SIMPLES
EM RELAÇÃO À ADIÇÃO DE FOS.

Anexo G.1 – Verificar a significância da adição de FOS no aumento da taxa de ingesta de aç. Complexo/aç. Simples:

<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	0,999789
R-Quadrado	0,999578
R-quadrado ajustado	0,999156
Erro padrão	0,020022
Observações	3

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,950091	0,950091	2369,977	0,013075
Resíduo	1	0,000401	0,000401		
Total	2	0,950492			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-0,00817	0,018278	-0,44721	0,73228	-0,24041	0,224065	-0,24041	0,224065
Variável X 1	0,137847	0,002832	48,68241	0,013075	0,101869	0,173825	0,101869	0,173825

1-) Neste caso pode-se afirmar que existe uma tendência linear significativa ($P < 0,01$) entre o aumento da adição de FOS e o aumento da taxa teor aç. compl. / aç. simples.

2-) Para cada aumento de 1% na adição de FOS espera-se um aumento de 0,10 a 0,17 na taxa teor aç. compl. / aç. simples, ao nível de 95% de confiança.