

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**DESENVOLVIMENTO E ESTUDO DA ESTABILIDADE DE BARRA DE CEREAIS
DE ELEVADO TEOR PROTÉICO E VITAMÍNICO**

Tese apresentada a Faculdade de
Engenharia de Alimentos para a
obtenção do título de Doutor em
Tecnologia de Alimentos

Daniela De Grandi Castro Freitas

Engenheira de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Hermínio Moretti

Campinas – SP

2005

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Hermínio Moretti
Universidade Estadual de Campinas - SP

Prof. Dr. Carlos Alberto Rodrigues Anjos
Universidade Estadual de Campinas - SP

Profa. Dra. Helena Maria André Bolini Cardello
Universidade Estadual de Campinas - SP

Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix
Universidade Estadual de Campinas - SP

Profa. Dra. Rosane Rodrigues
Universidade Federal de Pelotas - RS

Profa. Dra. Rosiane Lopes da Cunha
Universidade Estadual de Campinas - SP

Profa. Dra. Silvana Mariana Srebernick
Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela benção da vida.

A minha família, pelo apoio e amor, sempre.

Ao Prof. Dr. Roberto Hermínio Moretti, por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho e pelos ensinamentos transmitidos.

As técnicas do Laboratório de Frutas e Hortaliças, Ana Koon e Priscila, que tornaram meu trabalho melhor, através do apoio, amizade e dedicação.

Aos queridos amigos que fiz no Departamento de Tecnologia de Alimentos durante estes anos de convivência, que tornaram os dias de trabalho tão leves.

As amigas do coração, Rafa, Tininha, Gabit, Fer, Paty, Ale, Ana Vânia, Rosane, Eli, Maria Fernanda, Luciane, Amanda e ao Paulo, pela amizade sincera, companheirismo, agradável convivência e incentivo.

Aos professores e funcionários do Departamento de tecnologia de Alimentos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A CNPQ, pela concessão da bolsa de doutorado e pelo suporte financeiro dado a este projeto.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xix
SUMMARY.....	xxiii
INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 1.....	7
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
1.1. BARRA DE CEREAIS	9
1.2. SOJA	11
1.2.1. Características da matéria prima	11
1.2.2. Oligossacarídeos de soja - agentes hipocolesterolêmicos	13
1.2.3. Isoflavonas de soja - agentes anti-aterogênicos	16
1.3. LECITINA DE SOJA	20
1.3.1. Características da matéria prima	20
1.3.2. Lecitina - agente hipocolesterolêmico e anti-aterogênico.....	24
1.4. SUBPRODUTOS DA MOAGEM DE TRIGO.....	25
1.4.1. Proteínas.....	25
1.4.2. Vitaminas e Minerais.....	26
1.4.3. Enzimas.....	27
1.5. VITAMINAS.....	28
1.5.1. Agentes anti-aterogênicos e anti-carcinogênicos.....	28
1.5.2. Vitamina E - efetiva prevenção da aterosclerose.....	31
1.5.3. Vitamina C - efeito antioxidante.....	32
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
Capítulo 2 - ESTUDO DA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA DE LIPASE E PEROXIDASE EM GÉRMEN DE TRIGO.....	43
RESUMO.....	45
SUMMARY.....	46
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.1. Material.....	50
2.1.1. Matéria-prima.....	50

2.2. Métodos.....	51
2.2.1. Composição centesimal aproximada.....	51
2.2.3. Atividade de lipase.....	51
2.2.4. Atividade de peroxidase.....	51
2.2.5. Tratamento térmico.....	52
2.2.6. Análise dos dados.....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4. CONCLUSÃO.....	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
Capítulo 3 - DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO	
SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS DE ALTO TEOR PROTÉICO E	
VITAMÍNICO À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN	
DE TRIGO E AVEIA.....	
	65
RESUMO.....	67
SUMMARY.....	68
1. INTRODUÇÃO.....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
2.1. Material.....	69
2.2. Métodos.....	69
2.2.1. Processamento.....	69
2.2.2. Caracterização da matéria-prima e da barra de cereais funcional..	69
2.2.3. Avaliação Sensorial.....	74
2.2.4. Análise dos dados.....	76
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
3.1. Formulação da barra de cereais funcional.....	76
3.2. Caracterização da matéria-prima e da barra de cereais funcional.....	76
3.3. Avaliação Sensorial.....	82
4. CONCLUSÃO.....	85
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
Capítulo 4 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA	
DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE DE VITAMINAS	

E ENZIMÁTICA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	93
RESUMO.....	95
SUMMARY.....	96
1. INTRODUÇÃO.....	97
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	98
2.1. Material.....	98
2.2. Métodos.....	100
2.2.1. Caracterização das embalagens.....	100
2.2.2. Análise de vitamina C e vitamina E.....	100
2.2.3. Atividade de lipase e peroxidase.....	101
2.2.4. Análise dos dados.....	101
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
3.1. Propriedades de barreira das embalagens.....	101
3.2. Cinética de reação de degradação da vitamina C.....	103
3.3. Estabilidade de vitamina E.....	108
3.4. Atividade enzimática.....	109
4. CONCLUSÃO.....	114
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
Capítulo 5 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE FÍSICO- QUÍMICA, SENSORIAL E TEXTURA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	121
RESUMO.....	123
SUMMARY.....	124
1. INTRODUÇÃO.....	126
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	127
2.1. Material.....	127
2.2. Métodos.....	129
2.2.1. Características físico-químicas.....	129
2.2.2. Avaliação Sensorial.....	130
2.2.3. Textura Instrumental.....	132
2.2.4. Análise dos dados.....	132

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	132
3.1. Características físico-químicas.....	132
3.2. Avaliação Sensorial.....	136
3.3. Textura Instrumental.....	148
4. CONCLUSÃO.....	154
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	156
CONCLUSÃO GERAL.....	159

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
<i>Tabela 1.</i> Mercado de barra de cereais no Reino Unido, 1981-1987.....	9
<i>Tabela 2.</i> Palavras associadas com barra de cereais.....	10
<i>Tabela 3.</i> Produção mundial de soja em 1999.....	12
<i>Tabela 4.</i> Composição centesimal aproximada (base seca) dos grãos de soja.....	12
<i>Tabela 5.</i> Classificação dos oligossacarídeos segundo sua fonte de obtenção.....	14
<i>Tabela 6.</i> Conteúdo de estaquiose e rafinose em água de cozimento do grão de soja, grão, farinha integral e isolado protéico de soja.....	15
<i>Tabela 7.</i> Teor de isoflavonas nos grãos de soja, farinha integral, isolado protéico e bebida a base de extrato solúvel de soja e polpa de pêssegos.....	18
<i>Tabela 8.</i> Principais componentes da lecitina de soja.....	21
<i>Tabela 9.</i> Menores componentes da lecitina de soja.....	21
<i>Tabela 10.</i> Sumário de estudos sobre os efeitos da lecitina de soja no nível de colesterol total.....	24
<i>Tabela 11.</i> Conteúdo de proteínas e dados biológicos - trigo, farinhas, frações.....	26
<i>Tabela 12.</i> Conteúdo de minerais e vitaminas (mg/kg) - trigo, farinha e frações.....	27
Capítulo 2 - ESTUDO DA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA DE LIPASE E PEROXIDASE EM GÉRMEN DE TRIGO.....	43
<i>Tabela 1.</i> Composição aproximada do gérmen de trigo, gérmen de trigo tostado e cariopse de aveia, cultivar UPF18 (análise nutricional por 100g de produto).....	48
<i>Tabela 2.</i> Níveis codificados das variáveis independentes para os ensaios de inativação enzimática em gérmen de trigo.....	53
<i>Tabela 3.</i> Níveis decodificados das variáveis independentes para os ensaios de inativação enzimática em gérmen de trigo.....	53
<i>Tabela 4.</i> Composição centesimal aproximada de gérmen de trigo e	

aveia laminada integral.....	54
<i>Tabela 5.</i> Atividade de lipase e peroxidase de amostras de gérmen de trigo e aveia laminada integral.....	55
<i>Tabela 6.</i> Atividade de lipase e peroxidase em amostras de gérmen de trigo submetidas a diferentes tratamentos térmicos (tempo x temperatura) em estufa.....	56
<i>Tabela 7.</i> Efeito estimado, erro puro e grau de significância das variáveis tempo e temperatura na atividade residual de lipase em gérmen de trigo.....	60
<i>Tabela 8.</i> Efeito estimado, erro puro e grau de significância das variáveis tempo e temperatura na atividade residual de peroxidase em gérmen de trigo.....	60
<i>Tabela 9.</i> Análise de variância do modelo para atividade residual de lipase em gérmen de trigo ($R^2 = 0,77$).....	61
<i>Tabela 10.</i> Análise de variância do modelo para atividade residual de peroxidase em gérmen de trigo ($R^2 = 0,82$).....	61
Capítulo 3 - DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS DE ALTO TEOR PROTÉICO E VITAMÍNICO À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA.....	65
<i>Tabela 1.</i> Formulações com diferentes concentrações de vitamina C (ácido ascórbico) de barra de cereais com elevado teor protéico.....	77
<i>Tabela 2.</i> Composição centesimal aproximada (% base úmida) das matérias-primas e da barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana.....	78
<i>Tabela 3.</i> Conteúdo (base úmida) de nitrogênio, macro e micro minerais da barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana.....	79
<i>Tabela 4.</i> Conteúdo de oligossacarídeos e isoflavonas em proteína texturizada de soja.....	81
<i>Tabela 5.</i> Tocoferóis totais (Vitamina E) em gérmen de trigo, gérmen de trigo torrado, lecitina de soja e barra de cereais sabor banana.....	81
<i>Tabela 6.</i> Médias das notas atribuídas pelos provadores para a aceitação	

sensorial das formulações de barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana.....	82
Capítulo 4 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE DE VITAMINAS E ENZIMÁTICA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	93
<i>Tabela 1.</i> Proporção dos ingredientes usados na fabricação da barra de cereais com elevado teor protéico e vitamínico.....	99
<i>Tabela 2.</i> Especificações técnicas dos materiais de embalagem.....	99
<i>Tabela 3.</i> Propriedades de barreira dos materiais de embalagem.....	102
<i>Tabela 4.</i> Teores de vitamina C (ácido ascórbico) (mg/100g) em barra de cereais durante estocagem em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	104
<i>Tabela 5.</i> Parâmetros cinéticos da degradação de vitamina C em barras de cereais armazenadas em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	105
<i>Tabela 6.</i> Teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) em barra de cereais durante estocagem em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes (mg/kg).....	108
<i>Tabela 7.</i> Atividade enzimática em barras de cereais durante armazenamento sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	109
Capítulo 5 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE FÍSICO- QUÍMICA, SENSORIAL E TEXTURA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	121
<i>Tabela 1.</i> Proporção dos ingredientes usados na fabricação da barra de cereais.....	128
<i>Tabela 2.</i> Especificações técnicas dos materiais de embalagem.....	128
<i>Tabela 3.</i> Propriedades de barreira dos materiais de embalagem.....	129
<i>Tabela 4.</i> Mudanças nas características físico-químicas de barra de cereais durante estocagem em diferentes embalagens sob condições de	

temperatura e umidade relativa ambientes.....	133
<i>Tabela 5.</i> Mudanças nas características sensoriais de barra de cereais durante estocagem em diferentes embalagens sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	137
<i>Tabela 6.</i> Índices de correlação entre as respostas sensoriais e o tempo de estocagem (coeficiente de correlação linear R^2 e valores de p) das barras de cereais em diferentes embalagens.....	139
<i>Tabela 7.</i> Dependência entre a intenção de compra e médias de aceitação sensorial de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento.....	145
<i>Tabela 8.</i> Distribuição dos percentuais dos índices de intenção de compra (%) das barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico em função do tempo de armazenamento (Chi-Square = 81,759; P-Value = 0,0001).....	147
<i>Tabela 9.</i> Medidas de textura instrumental de barra de cereais em diferentes materiais de embalagem durante armazenamento.....	149
<i>Tabela 10.</i> Correlação entre as médias de aceitação sensorial de textura e medidas instrumentais de barra de cereais durante o armazenamento.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2 - ESTUDO DA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA DE LIPASE E PEROXIDASE EM GÉRMEN DE TRIGO.....	40
<i>Figura 1.</i> Gráfico de contorno (A) e superfície de resposta (B) referentes à atividade de lipase; gráfico de contorno (C) e superfície de resposta (D) referentes à atividade de peroxidase em amostras de germen de trigo submetidas a diferentes tratamentos térmicos.....	53
Capítulo 3 - DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS DE ALTO TEOR PROTÉICO E VITAMÍNICO À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA.....	65
<i>Figura 1.</i> Ficha de avaliação utilizada no teste de aceitação e teste de ideal de doçura e acidez de barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana.....	75
<i>Figura 2.</i> Freqüência dos valores atribuídos na escala de ideal de doçura e acidez para as formulações de barra de cereais com elevado teor protéico adicionadas de 2,0g /100g (A); 1,1g /100g (B) e 0,2g /100g (C) de ácido ascórbico.....	84
Capítulo 4 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE DE VITAMINAS E ENZIMÁTICA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	93
<i>Figura 1.</i> Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linear) em barras de cereais armazenadas em filme de PET/PEBD (Embalagem A) durante 180 dias.....	106
<i>Figura 2.</i> Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linear) em barras de cereais armazenadas em filme de PETmet/PEBD (Embalagem B) durante 180 dias.....	106
<i>Figura 3.</i> Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linear) em barras de cereais armazenadas em filme de PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante 180 dias.....	107
<i>Figura 4.</i> Atividade de peroxidase em barras de cereais durante	

armazenamento em filmes de PET/PEBD (A), PETmet/PEBD (B) e PET/PEBD/AL/PEBD (C).....	111
<i>Figura 5.</i> Atividade de lipase em barras de cereais durante armazenamento em filmes de PET/PEBD (A), PETmet/PEBD (B) e PET/PEBD/AL/PEBD (C).....	111
Capítulo 5 - BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA, SENSORIAL E TEXTURA DURANTE ARMAZENAMENTO.....	121
<i>Figura 1.</i> Ficha utilizada na aceitação sensorial e intenção de compra de barra de cereais durante armazenamento.....	131
<i>Figura 2.</i> Atividade de água (Aa) de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.....	134
<i>Figura 3.</i> Umidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.....	134
<i>Figura 4.</i> Acidez titulável de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.....	136
<i>Figura 5.</i> pH de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.....	136
<i>Figura 6.</i> Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD (Embalagem A) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	140
<i>Figura 7.</i> Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PETmet/PEBD (Embalagem B) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	141
<i>Figura 8.</i> Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.....	142
<i>Figura 9.</i> Distribuição das respostas “compraria” dos provadores quanto à	

intenção de compra de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento.....	144
<i>Figura 10.</i> Distribuição das respostas “não compraria” dos provadores quanto à intenção de compra de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento.....	144
<i>Figura 11.</i> Dependência entre a intenção de compra e médias de aceitação sensorial de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento (5- certamente compraria; 1- certamente não compraria).....	146
<i>Figura 12.</i> Medidas de resistência ao corte (N) e dureza (N) de barra de cereais embaladas em filmes de PET/PEBD (Embalagem A), PETmet/PEBD (Embalagem B) e PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante armazenamento.....	148
<i>Figura 13.</i> Medida de coesividade (deformação) de barra de cereais embaladas em filmes de PET/PEBD (Embalagem A), PETmet/PEBD (Embalagem B) e PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante armazenamento.....	150

RESUMO

Nutrientes são necessários para o desenvolvimento e crescimento dos indivíduos. No entanto, uma nutrição preventiva pode proteger, minimizar ou mesmo protelar riscos a saúde que podem ser causados por pré-disposições genéticas, maus hábitos alimentares e até agressões do meio ambiente. As evidências epidemiológicas estão continuamente providenciando recomendações para que as pessoas consumam mais frutas e vegetais como medida preventiva para reduzir o risco de diversas doenças degenerativas. É notável o aumento do consumo de alimentos saudáveis devido à crescente preocupação com a melhoria da qualidade de vida, porém, o ritmo da vida moderna exige alimentos práticos. Dentro deste contexto, do crescimento visível do desenvolvimento de alimentos para fins especiais, da necessidade de combinar saúde e praticidade, e de reunir alguns ingredientes que vem recebendo grande atenção para a aplicação nestes alimentos funcionais, é que se elaborou o estudo de desenvolvimento e estabilidade de barra de cereais a base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, incluindo como ingrediente a lecitina de soja, e suplementada com vitaminas C e E. Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento da formulação da barra de cereais e a avaliação das características físico-químicas, vitamínicas, enzimáticas, sensoriais e de textura durante o seu armazenamento. Um estudo preliminar de inativação enzimática no gérmen de trigo foi realizado devido à susceptibilidade a rancidez, fator adverso de qualidade de cereais desidratados. Amostras de aveia laminada integral e gérmen (produto natural inalterado da moagem do trigo) foram caracterizadas e a atividade de lipase e peroxidase medidas. Foi utilizado um delineamento fatorial completo para estudar os efeitos dos fatores “temperatura” e “tempo” na inativação das enzimas e para a determinação das condições ótimas de redução de atividade no gérmen de trigo. Foram determinadas como condições ótimas tratamentos térmicos à temperatura na faixa de 180 a 190°C, com duração de 4,8 a 8,0 minutos e obtidas reduções significativas ($p \leq 0,5$) na atividade residual da lipase e peroxidase. O gérmen de trigo teve seu teor de umidade ajustado para 28% e a torração foi realizada em estufa a 180°C por 8,0 minutos, para que pudesse ser utilizado como ingrediente

da barra de cereais. Desenvolveu-se então uma formulação de barra de cereais funcional sabor banana com alto teor protéico, à base de proteína de soja, germen de trigo e aveia, e enriquecida de vitaminas C (ácido ascórbico) e E (acetato de α -tocoferol 50%). A barra de cereais e seus principais ingredientes foram submetidos a análises físico-químicas para caracterização e três formulações variando o teor de ácido ascórbico foram avaliadas quanto à aceitação sensorial e intensidade ideal de doçura e acidez. A proteína de soja texturizada utilizada apresentou elevados teores dos oligossacarídeos rafinose e estaquiose (1,92 g/100g e 4,66 g/100g) e de isoflavonas totais (283,49 mg/100g) se comparados ao grão, farinha integral e isolado protéico. A formulação final da barra de cereais apresentou 15,31% de proteína e elevado teor de vitamina E (118,0 mg/100g) e minerais como fósforo (P), cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). A formulação adicionada de 1,1g/100g de ácido ascórbico obteve maior aceitação sensorial diferindo significativamente ($p \leq 0,5$) das demais amostras. Esta formulação, preferida pela equipe sensorial, foi então submetida ao estudo de estabilidade durante o seu armazenamento. Foram utilizados como embalagens três filmes (A: PET/PEBD; B: PETmet/PEBD; C: PET/PEBD/AL/PEBD) com diferentes propriedades de barreira. As barras de cereais foram armazenadas em condições de temperatura e umidade relativa ambiente por um período de 180 dias. Durante o armazenamento, estudou-se a estabilidade das vitaminas C, vitamina E, e a atividade de lipase e peroxidase. No período de 180 dias, as barras de cereais acondicionadas nos três materiais testados apresentaram uma retenção de vitamina C menor que 50%. No entanto, a embalagem com folha de alumínio proporcionou menor velocidade de reação e maior tempo de meia vida de 146 dias. Os teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) nas barras de cereais apresentaram pequenas variações durante o armazenamento. Houve um aumento significativo ($p \leq 0,5$) da atividade de peroxidase durante o período de 90 dias de estocagem nas embalagens testadas, provavelmente devido à regeneração dessa enzima, enquanto que a atividade de lipase não demonstrou aumento significativo durante os 180 dias de estocagem. Foram acompanhados também a umidade, atividade de água, pH, acidez total e medidas físicas associadas à textura como

resistência ao corte, dureza e coesividade. A avaliação sensorial foi realizada através de teste de aceitação e intenção de compra durante o armazenamento. As barras de cereais formuladas com os ingredientes alternativos apresentaram variações na atividade de água (Aa), umidade e acidez total durante o armazenamento. A umidade das barras de cereais tendeu a um aumento, o que acarretou influência significativa ($p \leq 0,5$) nas características de textura de resistência ao corte e dureza. As barras de cereais formuladas com proteína texturizada de soja, gérmen de trigo e aveia obtiveram boa aceitação sensorial perante consumidores nos atributos de sabor e aspectos visuais, porém, a aceitação tendeu a um declínio ao longo do tempo, associado à diminuição da intenção de compra do produto. O efeito das diferentes propriedades de barreira dos filmes de embalagens testados foi significativo ($p \leq 0,5$) na estabilidade das barras de cereais ao longo do período de estocagem.

Palavras-chave: gérmen de trigo, proteína texturizada de soja, barra de cereais, isoflavonas, oligossacarídeos, lipase, peroxidase, análise sensorial, textura instrumental, estabilidade, armazenamento.

SUMMARY

Nutrients are required for development and growth of individuals. However a preventative nutrition could be protected, minimized or delayed by way from health risks arising from genetic aggressions, the environment and also eating habits. Epidemiological evidence is constantly providing recommendations that people should consume more fruits and vegetables as a preventative measure to reduce the risk of various degenerative diseases. The increase in consumption of health foods is notable, due to the increasing concern with the improvement of life quality, although the pace of modern life demands practical foods. Within this context of a visible growth in the development of foods for special ends, of the need to combine health and practicality and aiming to bring together some ingredients which have received special attention for application in such functional foods, a study of the development and stabilization of a cereal bar based on soy protein, wheat germ and oat was elaborated, with the addition of soy lecithin and supplemented with vitamins C and E. Thus the objective of this study was the development and formulation of a cereal bar and an evaluation of its physicochemical, vitamin, enzymatic, sensory and texture characteristics during storage. A preliminary study of the enzymatic inactivation of wheat germ was carried out due to its susceptibility to rancidity, a process reducing the quality of dehydrated cereals. Samples of whole rolled oats and wheat germ (natural, unaltered product from wheat milling) were characterized and their lipase and peroxidase activities determined. A complete factorial design was used to study the effects of time and temperature in the inactivation of the enzymes and to determine the optimal conditions to reduce their activity in wheat germ. The optimal conditions were shown to be a temperature in the range from 180 to 190°C for between 4.8 and 8.0 minutes, obtaining significant ($p \leq 0,5$) reductions in the residual activities of lipase and peroxidase. The moisture content of the wheat germ was adjusted to 28%, which was then roasted at 180°C for 8.0 minutes such that it could be used as an ingredient in cereal bars. A functional, banana flavored cereal bar was formulated with high protein content, based on soy protein, wheat germ and oat, and enriched with vitamins C (ascorbic acid) and E (50% α -tocopherol). The cereal bar and its

main ingredients were characterized by way of physicochemical analyses, and three formulations, varying in their ascorbic acid contents, prepared and submitted to a sensory acceptance test and ideal test for the intensity of sweetness and acidity. The textured soy protein used showed high contents of the oligosaccharides raffinose and stachyose (1.92 g/100g and 4.66 g/100g) and of total isoflavones (283.49 mg/100g) as compared to the bean, whole flour and protein isolate. The final formulation of the cereal bar showed 15.31% protein and high contents of vitamin E (118.0 mg/100g) and minerals such as phosphorus (P), calcium (Ca), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). The formulation with 1.1 g/100g of ascorbic acid was the most accepted sample, differing significantly ($p \leq 0,5$) from the other samples. This most accepted formulation was submitted to an evaluation during storage. Three films were used for packaging: (A: PET/PEBD; B: PETmet/PEBD; C: PET/PEBD/AL/PEBD), each with distinctive barrier properties. The cereal bars were studied under environmental conditions of temperature and relative humidity for 180 days. Vitamins C and E stabilities and the activities of lipase and peroxidase were determined during storage. The cereal bars packaged in the three materials tested showed vitamin C retention below 50% after 180 days storage. However the packaging including aluminum foil provided a lower reaction velocity and longer half life of 146 days. The vitamin E (α -tocopherol acetate) contents of the cereal bars presented slight variations during storage. There was a significant increase in peroxidase activity during the first 90 days of storage in all the types of packaging tested, probably due to regeneration, whilst lipase activity showed no significant increase during the 180 days of storage. The moisture content, water activity, pH and total acidity were also determined during storage as well as the textural measurements of cutting resistance, hardness and cohesiveness. The acceptance and intention to buy tests were used for the sensory evaluation during storage. The cereal bars formulated with alternative ingredients showed variations in water activity (A_w), moisture content and total acidity during storage. The moisture contents of the cereal bars tended to increase during storage, with a significant ($p \leq 0,5$) influence on the textural characteristics of cutting resistance and hardness.

The cereal bars formulated with textured soy protein, wheat germ and oats were well accepted by the consumers in the sensory evaluation (flavor and visual aspect), although the acceptance tended to decline during storage, associated with a decrease in intent to buy. The effect of the different barrier properties of the packaging films tested was significant ($p \leq 0,5$) in the stability of the cereal bars during storage.

Key words: wheat germ, textured soy protein, cereal bars, isoflavones, oligosaccharides, lipase, peroxidase, sensory analysis, instrumental texture analysis, stability, storage.

INTRODUÇÃO

A experiência pessoal de um químico frente a uma doença do coração serviu como base do presente trabalho. Rinse (s.d., p.19) descreve a evolução de mudanças de dieta bem sucedidas, traça uma hipótese e estuda a literatura sobre aterosclerose:

Um ataque de Angina Pectoris em 1951, na idade de 51 anos, deu início a pesquisa feita por mim sobre as possíveis razões da ocorrência de aterosclerose. Começando com uma hipótese que deficiência nos meus alimentos poderiam ser os agentes causadores, mudanças na dieta foram exploradas, resultando, eventualmente, numa completa cura da angina e doenças relacionadas do coração. [...] Comecei a usar um grama de ácido ascórbico (vitamina C) por dia [...]. Mais tarde uma pílula de multivitaminas foi adicionada. Meu café da manhã era constituído de cereais com leite e iogurte, enriquecidos com gérmen de trigo, fermento de cerveja e açúcar mascavo (uma colher de sopa de cada). Quando li um artigo escrito por dois médicos canadenses que trataram pacientes do coração com vitamina E, pedi seu conselho e eles me receitaram 200 mg de vitamina e depois de cada refeição. [...] Naquele tempo, li sobre uma série de experimentos com ratos e coelhos que tomavam lecitina ou óleo de açafrão, com o resultado de que o conteúdo de colesterol no sangue abaixava. Eu decidi adicionar uma colher de sopa de cada um no meu café da manhã, que também continha os outros aditivos já mencionados. Os resultados apareceram em poucos dias. [...] A melhoria continuou até que após três meses todos os sintomas de Angina Pectoris, mesmo depois de exercícios físicos, desapareceram.

Nutrientes são necessários para o desenvolvimento e crescimento normais dos indivíduos. Mas é preciso também, proteger, minimizar ou protelar riscos a saúde que podem ser causados por pré-disposições genéticas, hábitos alimentares ou agressões do meio ambiente através de uma nutrição preventiva. Muitos compostos encontrados em alimentos são responsáveis por efeitos benéficos observados em indivíduos que os consomem. As evidências epidemiológicas estão continuamente providenciando recomendações para que as pessoas consumam mais frutas e vegetais como medida preventiva para reduzir o risco de diversas doenças degenerativas. Este novo conceito de alimento funcional com efeitos protetores e preventivos é apresentado com exemplos bastante estudados cientificamente (ANGELIS, 2001).

É notável o aumento do consumo de alimentos saudáveis formulados com soja. A soja, uma oleaginosa de alto teor protéico, apresenta propriedades funcionais fisiológicas comprovadas pelo FDA e tem o Brasil como o segundo produtor mundial (EFING et al., 2002). Pronta para atender às necessidades calórico-protéicas da dieta das famílias, a soja é, também, alternativa para diminuir os índices de desnutrição, principalmente entre as crianças. Ao mesmo tempo, a soja pode ser utilizada na prevenção de inúmeras doenças. O grão possui proteínas de alta qualidade e compostos que apresentam uma ação potencial na prevenção de inúmeras doenças e na recuperação da saúde. A crescente preocupação por uma alimentação saudável que, além de alimentar promova a saúde, coloca a soja na lista de preferência de um número cada vez maior de consumidores brasileiros.

A soja é rica em proteínas, possui isoflavonas e outras substâncias capazes de atuar na prevenção de doenças crônico-degenerativas. Epidemiologistas focalizaram sua atenção na soja e seus derivados porque as taxas de problemas cardiovasculares, sintomas decorrentes da menopausa, câncer de mama, próstata e osteoporose entre outros, eram muito menores em países orientais do que as taxas de países ocidentais, com baixo consumo de fitoestrógenos (isoflavonas) da soja. Sua atividade é semelhante aos hormônios femininos, dentre os quais a genisteína e a daidzeína, são considerados vitais para a saúde da mulher. A genisteína, a principal isoflavona da soja, é um importante fitoquímico estudado em humanos e animais (ratos), por suas possíveis propriedades benéficas incluindo efeitos endócrinos (alívio dos sintomas da menopausa), prevenção do câncer (mama e próstata) e efeitos cardiovasculares (CHANG et al., 2000; RODRIGUES, 2003). Segundo Yamakoshi e outros (2000), isoflavonas de soja tem mostrado “in vitro” exercer efeitos que podem prevenir o desenvolvimento de aterosclerose e subseqüentes doenças cardiovasculares. As isoflavonas genisteína e daidzeína possuem atividade limpadora e propriedades antioxidantes em ambas as fases aquosas e lipofílicas e podem inibir a oxidação de lipoproteínas no plasma e a oxidação de LDL “in vitro”.

Estudos também exploram os efeitos benéficos da ingestão de lecitina de soja. Lecitina de soja vem sendo consumida por duas principais razões salutaras: elas são consideradas por ter efeitos favoráveis no metabolismo do colesterol, funcionamento do cérebro, e outros processos (KNUIMAN; BEYNEN; KATAN, 1989). Rinse [s.d.] explica que aterosclerose é um distúrbio metabólico pelo qual o depósito de colesterol e derivados nas paredes arteriais causam complicações ateroscleróticas, tais como enfarte cardíaco, trombose cerebral, alta pressão sanguínea, e outras. É aparente que alguns fenômenos físico-químicos são significantes para a ocorrência e causa da aterosclerose: (a) lubrificação das artérias por cristais líquidos de derivados de colesterol; (b) solubilidade do colesterol no plasma sanguíneo e solubilização dos depósitos de colesterol; (c) oxidação de ácidos graxos polinsaturados e formação de radicais livres (que pode ser prevenida por antioxidantes). Assumindo que o maior problema da aterosclerose é manter o colesterol em solução e dissolver seus depósitos nas paredes venosas, a lecitina de soja pode ser usada em dietas uma vez que a lecitina polinsaturada dissolve depósitos de colesterol nas paredes arteriais.

Importância deve ser atribuída, também, aos subprodutos das fábricas de farinha de trigo. Os cereais contribuem com 50% da ingestão calórica e com 45% de proteínas ingeridas no mundo; e o trigo, um pouco menos que 20% do total de calorias e proteínas. Em geral, o conteúdo de proteínas das frações do trigo é maior no gérmen, seguido pelos farelos, farinha integral e farinha branca. A qualidade nutricional das proteínas depende da digestibilidade e utilização dos aminoácidos. A camada externa denomina-se farelo, fazendo parte a casca, o gérmen e parte da farinha, somando-se um total de 20% do trigo, dos quais 16 a 17% são proteínas (WASZCZNSKY, 1979). O valor nutritivo das proteínas do gérmen é superior ao da proteína do endosperma. As gorduras são altamente insaturadas, e o teor de minerais e vitaminas é elevado, principalmente de vitamina E (POMERANZ, 1971). Tradicionalmente, as camadas externas do grão, incluindo o gérmen de trigo, têm sido destinadas para a alimentação animal. Isso pode ser explicado pelo elevado teor de fibras de sabor amargo, e pela susceptibilidade à rancidez. A presença de enzimas hidrolisadoras de gorduras, ou

lipases, em farinhas e partes do trigo tem sido reconhecida por muitos anos. A atividade da lipase é importante tendo em vista a estabilidade da farinha em período prolongado de estocagem ou condições adversas. A lipase converte a gordura presente em ácidos graxos, os quais são associados a “off flavor” ou odores de rancidez (POMERANZ, 1988).

Ainda com intuito de reunir e valorizar alimentos ricos em ingredientes importantes na prevenção de doenças cardiovasculares deve-se abordar a questão das vitaminas antioxidantes. A hipótese da relação entre oxidação e aterosclerose implica que antioxidantes são capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas na parede arterial e então retardar a aterogênese. Muitos estudos com animais vem usando, na maioria, altas doses de antioxidantes, mostrando ser efetivos agentes antiateroscleróticos quando administrados em doses farmacológicas (DJAHANSOUZI et al., 2001; VEINBERGS, 2000; KHOR e NG, 2000; ISMAIL et al., 2000). Vitamina E e vitamina C são considerados os mais importantes nutrientes antioxidantes. A vitamina E (tocoferol) é o principal antioxidante lipossolúvel nas membranas celulares. Protege contra a oxidação lipídica por atuar diretamente sobre radicais livres derivados do oxigênio, oxigênio "singlet", produtos de lipoperóxidos, e radical superóxido, formando radical tocoferol inócuo. A vitamina C interage com o tocoferol, regenerando o tocoferol reduzido, e desta forma, a relação vitamina C:vitamina E pode ser biologicamente mais importante que os níveis absolutos de vitamina C (STAVRIC, 1994; CLARKSON, 1995). Os epidemiologistas estão muito interessados em avaliar a relação entre a ingestão de alimentos ricos em antioxidantes e a incidência de câncer e doenças cardiovasculares, especialmente no que se refere à vitamina C, vitamina E, β -caroteno e selênio (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

É notório e crescente o desenvolvimento de alimentos para fins especiais e a necessidade de combinar saúde e praticidade. Com o intuito de reunir alguns ingredientes com alegação de funcionalidade comprovada em um alimento com estas características combinadas é que se elaborou um estudo sobre barra de cereais. As barras de cereais vem ganhando grande espaço no mercado,

principalmente para substituir o consumo de produtos doces sem valor nutricional, refeições, e também como fonte energética e protéica para esportistas e atletas. No Brasil, consome-se em torno de US\$ 4 milhões de barras de cereais por ano (FRANCAL FEIRAS, 2003). Em 2001, as principais empresas brasileiras do segmento disputavam um mercado de R\$ 80 milhões (BARBOSA, 2003).

Neste contexto, objetivou-se o desenvolvimento e o estudo da estabilidade de barra de cereais à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, incluindo como ingrediente a lecitina de soja, suplementada com vitaminas C e fortificada com vitamina E, avaliando-se as características físico-químicas, vitamínicas, enzimáticas e sensoriais durante o seu armazenamento.

CAPÍTULO I
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. BARRA DE CEREAIS

Desde a introdução das barras de cereais tipo "crunchy" nos países do Reino Unido em 1981, o mercado vem crescendo substancialmente e em 1987 foi estimado em 45 milhões de libras esterlinas. A *Tabela 1* mostra o crescimento neste período de sete anos (BOUSTANI e MITCHELL, 1992). Atualmente, enquanto no Brasil consome-se US\$ 4 milhões de barras de cereais por ano, os Estados Unidos dão conta de US\$ 2,9 bilhões, sendo que o consumo americano cresceu cerca de 40% nos últimos dois anos (FRANCAL FEIRAS, 2003). Segundo Palazzolo (2003), o catalisador para o crescimento no segmento de barra de cereais nos Estados Unidos a partir da última década foi produtos inovadores e um foco em conveniência e saúde. Também se considera que um terço dos americanos adultos não realizam a refeição matinal, e mesmo entre aqueles que fazem esta refeição, sentem a necessidade de fazer um lanche durante a manhã ou tarde. Barra de cereais é parte de um mercado nos Estados Unidos que também inclui barras nutritivas, energéticas, nutracêuticas, diets e tipo "snacks".

TABELA 1. Mercado de barra de cereais no Reino Unido, 1981-1987

Ano	Valor (£ milhões)	Varição em Porcentagem
1981	0,5	-
1982	4,0	+700
1983	7,0	+75
1984	10,0	+43
1985	15,0	+50
1986	25,0	+67
1987	45,0	+80

Boustani e Mitchell (1992). MSI¹ and trade estimates, 1988.

¹ Marketing Strategies for Industry (UK) Ltd.

Boustani e Mitchell (1992) relataram algumas tendências bem-documentadas no setor de alimentos que beneficiam o mercado de barra de cereais. Estas incluem: (1) o declínio das tradicionais refeições em família; (2) um aumento do conhecimento em saúde, que resultou num aumento na demanda de alimentos considerados saudáveis; (3) o aumento no tempo de lazer e tempo gasto em casa aumentaram a demanda por "snacks"; (4) um aumento na renda disponível em certas seções da população tem aumentado as chances das pessoas experimentarem novos produtos. Um questionário foi elaborado para investigar os apelos envolvidos no marketing de barra de cereais. Saúde foi relatado por 32 por cento dos entrevistados como sendo parte de suas razões de compra. Quando perguntado diretamente se eles associavam barra de cereais com alimentos saudáveis 88 por cento disseram sim e 12 por cento disseram não. As palavras associadas com barras de cereais levantadas durante o estudo estão descritas na *Tabela 2*.

TABELA 2. Palavras associadas com barra de cereais

	Número de entrevistados	% de entrevistados
Saúde	34	33
Castanhas, aveia, milho	31	30
Crocante / Mastigável	11	10
Confeitos	9	9
Marcas comerciais	12	11
Café da manhã	4	4
Produto caro	1	1
Calorias	1	1
Conveniente	1	1

Boustani e Mitchell (1992).

Durante o início dos anos 90, barras energéticas e nutritivas eram predominantemente consumidas por atletas ciclistas, que escalavam montanhas ou corriam maratonas. Hoje, mais pessoas comuns estão consumindo barras energéticas e nutritivas. O segmento vem se tornando cada vez mais específico, destinado a homens e mulheres com necessidades fisiológicas diferentes (PALAZZOLO, 2003; PEHANICH, 2003). Formulações podem ser caracterizadas por misturas de grãos e produtos como frutas, vegetais, iogurte e proteínas (principalmente de leite e soja). Fortificações podem ser na forma de vitaminas, minerais e um crescente "mix" de ingredientes especialmente destinados a benefícios salutareos (PEHANICH, 2003).

Muitos atletas escolhem adicionar suplementos protéicos em suas dietas já que aminoácidos não-essenciais podem ser produzidos no organismo, mas os essenciais devem ser suplementados na dieta. Para processadores de alimentos esportivos e de suplementos, a proteína de soja contribui em características funcionais e em processamentos tão bem como oferece boa digestibilidade. A proteína de soja contém todos os aminoácidos essenciais necessários para uma dieta saudável, não contendo colesterol e sendo livre de lactose (MOTT, 1997).

1.2. SOJA

1.2.1. Características da matéria prima

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill da família *Leguminosae*) é originária do Oriente, provavelmente da China (SNYDER e KWON, 1987).

Quanto aos aspectos econômicos, a *Tabela 3* mostra a produção mundial de soja no ano de 1999. Segundo o IBGE (2003)², o Brasil possui área plantada de 13.977.551 ha e uma produção de 37.881.339 toneladas.

²Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < www.ibge.gov.br >. Acesso em 13/11/2003

TABELA 3. Produção mundial de soja em 1999

PAÍS	%	Milhões de bushels	Milhões de TM
Estados Unidos	46	2.643	71,9
Brasil	20	1.139	31,0
Argentina	14	772	21,0
China	9	525	14,3
Índia	3	191	5,2
Paraguai	2	92	2,5
EU - 15	1	42	1,1
Outros	5	295	8,0
Total	100	5.698	155,1

USDA American Soybean Association³

TM: toneladas métricas = 1,1 toneladas = 36,74 bushels

Bushel: corresponde a 35,238 L.

TABELA 4. Composição centesimal aproximada (base seca) dos grãos de soja

Composição	Soja
Proteína (%)	40,03
Lipídeos (%)	22,93
Cinzas (%)	5,24
Fibra crua (%)	5,85
Carboidratos * (%)	25,95

Wang; Fernandez e Cabral (2000) - Cultivar BR-16 - Embrapa

*Calculado por diferença.

³ USDA American Soybean Association. Disponível em: <www.amsoy.org>. Acesso em 13/11/2003

A composição química aproximada da soja pode variar dependendo da variedade e das condições de crescimento, mas o conteúdo dos componentes fica em torno de 40% de proteínas, 20% de lipídeos, 35% de carboidratos e 5% de cinzas, em base seca (SNYDER e KWON, 1987). A *Tabela 4* mostra, em base seca, a composição centesimal aproximada dos grãos de soja do cultivar BR-16, safra de 1996, adquiridos da Embrapa - SPSB.

A farinha de soja contém cerca de 40% de proteína e a partir do desengorduramento, foi possível produzir vários produtos para consumo humano e animal, como concentrados, isolados e texturizados protéicos. A soja tem sido descrita por conter antinutrientes que limitam sua utilização. O mais importante e investigado dos antinutrientes são os inibidores de proteases. Estes apresentam especificidade de inibir as enzimas proteolíticas e, conseqüentemente, reduzir a digestão protéica de alimentos, proporcionando diminuição no ganho de peso e crescimento de animais. Desta forma, se faz necessário o uso de processamentos térmicos para inativá-los e assim aumentar o valor nutricional de soja e seus produtos (MIURA, BINOTI e CAMARGO, 2000). Os melhoramentos do valor nutritivo da soja resultam da remoção mecânica da casca, seguida de fina moagem para liberação do material digestível das células. O aquecimento úmido também libera conteúdos celulares, desnatura as proteínas e destrói os inibidores trópticos lábeis ao calor e as hemaglutininas (ARKCOLL, 1976).

1.2.2. Oligossacarídeos de soja - agentes hipocolesterolêmicos

Os oligossacarídeos são componentes naturais de frutas, hortaliças, cereais e leguminosas. Durante a última década, sua popularidade como ingredientes alimentares tem crescido rapidamente, sobretudo no Japão e Europa, devido aos seus efeitos benéficos à saúde, principalmente a capacidade bifidogênica, associado com o consumo destes compostos (RUPÉREZ, 1998).

Os oligossacarídeos são carboidratos com 3-10 monômeros de açúcar em sua cadeia. Podem ser produzidos quimicamente ou com o uso de enzimas. Na maioria das vezes, são manufaturados pela síntese enzimática de açúcares por

reação de transglicosilação, ou por degradação enzimática controlada de polissacarídeos de plantas ou de origem microbiana (PLAYNE e CITTENDEN, 1995).

Existem algumas classes de oligossacarídeos para uso alimentício comercializadas no mundo; sua produção, que em 1990 foi estimada em 35.000t, superou 85.000 em 1995 (CITTENDEN e PLAYNE, 1996). A *Tabela 5* mostra a classificação dos oligossacarídeos segundo a fonte de obtenção.

TABELA 5. Classificação dos oligossacarídeos segundo sua fonte de obtenção

Fonte	Classe do Oligossacarídeo	Estrutura Química	GP
Lactose	β -galacto-oligossacarídeo	α -1,4Glc-(β -1, 6Gal) _n	3-6
	Lactulose	β -1, 4Gal- β -Fruc	2
Sacarose	Lactosacarose	β -1, 4Gal- α 1,2Glc- β -Fruc	3
	Palatinose oligossacarídeo	[α -1, 6Glc- β -Fruc] _n	4-8
Inulina	Fruto-oligossacarídeo	α -1, 2Glc-(β -1, 2Fruc) _n	3-5
		β -1, 2Fruc-(β -1, 2Fruc) _n	2-10
Amido	Isomalto-oligossacarídeo	(α -1, 6Glc) _n	2-5
	Gentio-oligossacarídeo	(β -1, 6Glc) _n	2-5
Xilano	Xilo-oligossacarídeo	(β -1, 4-Xil) _n	2-9
Soja	α -galacto-oligossacarídeo	(α -1, 6Gal) _n - α 1,2Glc- β -Fruc	3-4

Rupérez (1998).

GP: Grau de polimerização; Glc: glucose; Gal: galactose; Fuc: frutose; Xil: xilose.

A importância do extrato protéico de soja na alimentação é devido também a presença dos oligossacarídeos não-digeríveis, a estaquiose e a rafinose. A enzima α -galactosidase, a qual é requerida para a hidrólise destes carboidratos, é ausente no intestino humano (O'SULLIVAN, 1996). O conteúdo de estaquiose e rafinose na água de cozimento dos grãos de soja, utilizada para a extração de oligossacarídeo, no grão de soja, farinha integral e isolado protéico, está descrito na *Tabela 6*.

TABELA 6. Conteúdo de estaquiose e rafinose em água de cozimento do grão de soja, grão, farinha integral e isolado protéico de soja

Componente	Água de cozimento ^a	Grão de soja ^b	Farinha integral ^b	Isolado protéico ^b
Proteína (%)	1,58	-	-	-
Cinzas (%)	0,36	-	-	-
Estaquiose (%)	0,47	1,68	1,86	0,024
Rafinose (%)	0,07	0,28	0,30	n.d.
Sacarose (%)	0,74	3,38	3,66	0,42

n.d.: não detectado

^aKu, Park e Mok (1995)

^b Rodrigues (2003).

Os oligossacarídeos escapam da digestão no intestino delgado e são substratos em potencial para a hidrólise e fermentação pelas bactérias intestinais. As principais consequências da fermentação colônica dos oligossacarídeos ingeridos têm sido estudadas: o aumento na biomassa bacteriana e a produção de ácidos graxos de cadeia curta como alguns dos produtos finais da fermentação. A microflora anaeróbia no cólon converte os carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta. Como diferentes carboidratos parecem estimular o crescimento e a atividade metabólica de diferentes populações de ecossistemas colônicos em

diferentes extensões, sua fermentação resulta na formação de diferentes proporções de acetato, butirato e propionato, que é um inibidor da síntese de colesterol hepático. O conceito "prebiótico" foi definido como um ingrediente não-digerível que afeta benéficamente o hospedeiro pela estimulação seletiva do crescimento e/ou atividade de um ou um número limitado de bactérias no cólon, melhorando assim a saúde do hospedeiro. O efeito prebiótico que vem sendo demonstrado é a estimulação seletiva do crescimento de bifidobactérias na complexa comunidade microbiana que existe no cólon, bactérias classificadas como promotoras da saúde (LOO et al., 1998).

A ingestão de oligossacarídeos bifidogênicos proporciona um número de benefícios à saúde: proliferação das bifidobactérias e redução das bactérias putrefativas; redução de metabólitos tóxicos e enzimas putrefativas; assistência à absorção de minerais e efeitos na força óssea; melhoramento da constipação; e efeito anti-cancerígeno pela ativação do sistema imune pelas células bifidogênicas (MIZOTA, 1996).

Estudos em humanos tem mostrado o aumento no número de bifidobactérias e a redução de bactérias prejudiciais como *Clostridium perfringens*, através da ingestão de oligossacarídeos (TOMOMATSU, 1994). A ingestão de 2-10g/dia por várias semanas aumentou efetivamente a população de bifidobactérias no intestino humano em cerca de 7,5 vezes e diminuiu a população de *C. perfringens* em 81%. A ingestão de 6-8 g/dia de oligossacarídeos por 2 semanas a 3 meses reduziu o colesterol total em 20-50 dL. Segundo o autor, a dose diária efetiva do oligossacarídeo de soja é de 20,0 g e a dose máxima para não causar diarreia é de 0,64g/kg para o homem, e 0,96g/kg para a mulher.

1.2.3. Isoflavonas de soja - agentes anti-aterogênicos

Isoflavonas são um grupo de fenóis heterocíclicos encontrados naturalmente principalmente em soja e vem sendo associadas com várias funções promotoras da saúde. Doze componentes isoflavonóides foram isolados em soja;

três agliconas (daidzeína, genisteína e gliciteína) e seus respectivos nove glicosídicos conjugados (JACKSON et al., 2002).

Os benefícios associados à redução de colesterol, riscos de doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer estão associados, em parte, a ingestão de isoflavonas presentes na soja (MAHUNGU et al., 1999).

As isoflavonas, presentes em elevada concentração, são componentes biologicamente ativos de grande interesse em razão de suas atividades estrogênicas, anti-hemolíticas e antioxidantes, fungistáticas e bactericidas, e anti-carcinogênicas, além do intenso sabor amargo e adstringente. O grão de soja contém em torno de 2% de glicosídeos compostos de diversos tipos de saponinas e isoflavonóides. A quantidade de isoflavonas varia consideravelmente de acordo com a variedade e local e ano de cultivo (ARAÚJO; CARLOS; SEDYAMA, 1997). Nakamura, Tsuji e Tonogai (2000) mostraram que o nível e composição de isoflavonóides variam com a espécie e país de origem do grão. Em alimentos processados derivados de soja o teor de isoflavonóides varia de acordo com o tipo de processamento ou ingredientes (*Tabela 7*). A porcentagem de formas agliconas tende a ser maior nos produtos processados como molhos e missô, os quais são aquecidos e fermentados durante o processo de manufatura. No entanto, algumas isoflavonas são perdidas no processamento de bebidas e tofu, os quais envolvem aquecimento, quebra e vários fracionamentos (JACKSON et al., 2002).

A genisteína, a principal isoflavona da soja, é um importante fitoquímico estudado em humanos e animais (ratos), por suas possíveis propriedades benéficas incluindo efeitos endócrinos (alívio dos sintomas da menopausa), prevenção do câncer (mama e próstata) e efeitos cardiovasculares (CHANG et al., 2000).

Numerosas atividades biológicas “in vitro” referentes a daidzeína e genisteína incluem inibição da proteína tirosina quinase, inibição da topoisomerase II, inibição da proliferação celular, e interações com receptores estrógenos. Efeitos biológicos em estudos incluem ações estrogênicas em animais e humanos;

indicações significantes da prevenção de câncer em tecidos reprodutores em ratos (HOLDER; CHURCHWELL; DOERGE, 1999).

TABELA 7. Teor de isoflavonas nos grãos de soja, farinha integral, isolado protéico e bebida à base de extrato solúvel de soja e polpa de pêssegos

	Cultivar UFV-5 ^a	Cultivar Paraná ^a	GTS 40-3-2 ^{b*}	GTS 61-67-1 ^{b*}	Farinha integral ^c	Isolado protéico ^c	Bebida ^c
	<i>mg / 100g matéria liofilizada</i>	<i>mg / 100g matéria liofilizada</i>	<i>µg / g matéria seca</i>	<i>µg / g matéria seca</i>	<i>mg / 100g matéria seca</i>	<i>mg / 100g matéria seca</i>	<i>mg / 100g matéria seca</i>
Daidzina	159,3	67,7			46,12	23,24	8,96
Genistina	239,0	111,5			60,44	49,16	15,8
Daidzeína	2,2	2,6	721	748	5,42	7,62	1,30
Genisteína	8,7	7,0	830	857	3,36	8,62	2,50
Malonil-daidzina	-	-	-	-	66,48	57,66	1,90
Malonil-genistina	-	-	-	-	87,96	108,28	13,90
Total	409,2	188,8	-	-	269,78	254,58	44,36

^a Araújo, Carlos e Sedyama (1997)

^b Padgett et al. (1996)

^c Rodrigues (2003)

*Soja geneticamente modificada: GTS = glyphosate-tolerant soybean.

Segundo Yamakoshi e outros (2000), isoflavonas de soja têm mostrado exercer efeitos que podem prevenir o desenvolvimento de aterosclerose e subseqüentes doenças cardiovasculares. As isoflavonas genisteína e daidzeína possuem atividade limpadora e propriedades antioxidantes em ambas as fases

aquosas e lipofílicas e podem inibir a oxidação de lipoproteínas no plasma e a oxidação de LDL. Yamakoshi e outros (2000) investigaram os efeitos anti-aterogênicos de um extrato rico em isoflavonas (contendo 429,4mg/g de isoflavona agliconas) sem proteína de soja em coelhos machos alimentados com dietas contendo 1g/100g de colesterol por 8 semanas. Dois grupos foram alimentados com dietas contendo 0,78g/100g e 2,33g/100g de extrato rico em isoflavonas. Colesterol total, LDL, VLDL e HDL colesterol, e lipoperóxidos medidos como substâncias reagentes ao ácido tiobarbitúrico (TBARS níveis) nos grupos de isoflavonas, não diferiram do grupo controle. A área de lesões ateroscleróticas no arco aórtico foram significativamente menor nos grupos de isoflavona (26,3% no grupo de menor conteúdo e 36,9% no grupo de maior conteúdo de isoflavonas). Análises imunohistoquímicas revelaram menor LDL oxidado derivado de macrófagos nas células espumosas das lesões nos grupos de isoflavonas. Estes resultados sugerem que a ação antioxidante de isoflavonas e seus metabólitos antioxidativos inibem a oxidação de LDL, exercendo um efeito anti-aterogênico.

O efeito anti-aterogênico das isoflavonas também foi demonstrado segundo o estudo realizado por Rodrigues (2003) no qual a administração de uma bebida formulada com extrato solúvel de soja controlou sensivelmente o aumento da concentração de colesterol total (58% num período de 105 dias), da fração HDL e de triacilglicerídeos em animais em dietas hipercolesterolêmicas. A bebida também evitou a formação de placas lipídicas na aorta, num modelo de aterosclerose induzida pela dieta.

Para distinguir a relação entre proteína de soja versus fitoestrogênios na proteção cardiovascular, Anthony e colaboradores (1997) estudaram em macacos alimentados com dietas moderadamente aterogênicas três grupos diferindo na fonte de proteína: caseína/lactoalbumina; proteína de soja com fitoestrogênios intactos (soy+); e proteína de soja com fitoestrogênios extraídos em sua maior parte (soy-). As dietas foram administradas por 14 semanas e os animais alimentados com soy+ tiveram redução significativa nos níveis de LDL + VLDL que os outros dois grupos (10,78 e 10,01mmol/L para 6,47mmol/L). Lesões

ateroscleróticas na artéria foram menores no grupo soy+ (90% menos aterosclerose coronária que o grupo caseína e 50% menos que o grupo soy-).

O efeito da suplementação com isoflavonas nos lipídios plasmáticos e oxidizabilidade do LDL em mulheres em pré-menopausa foi estudado por Samman et al. (1999). Elas receberam 86 mg de isoflavonas diariamente por dois ciclos menstruais e nenhuma mudança na oxidizabilidade do LDL e concentração plasmática de colesterol total ou triacilglicerol foi observada. O autor atribui o resultado à administração de pequena quantidade de isoflavonas (1,4mg/kg corpóreo) por 2 meses.

1.3. LECITINA DE SOJA

1.3.1. Características da matéria prima

A lecitina de soja comercial é um complexo contendo 65-75% de fosfolipídeos juntamente com triglicerídeos e pequenas quantidades de outras substâncias. Os principais fosfolipídeos incluem fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina e inositol contendo fosfatídeos. As outras substâncias são carboidratos, pigmentos, esteróis e esteróis glicosídeos (SCHOLFIELD, 1981).

As quantidades relatadas para seus componentes principais estão descritas na *Tabela 8*, e os valores para os menores componentes estão na *Tabela 9*.

A lecitina de soja natural consiste de um mistura de fosfolipídeos dissolvidos em óleo. As estruturas dos principais fosfolipídeos indicam um balanço entre as partes hidrofóbicas e hidrofílicas nas moléculas resultando nas suas propriedades emulsificantes (NIEUWENHUYZEN, 1981).

TABELA 8. Principais componentes da lecitina de soja

Componentes	%
Fosfatidilcolina	19-21
Fosfatidiletanolamina	8-20
Inositol fosfatídeos	20-21
Outros fosfatídeos	5-11
Óleo de soja	33-35
Esteróis	2-5
Carboidratos	5
Umidade	1

Scholfield (1981).

TABELA 9. Menores componentes da lecitina de soja

Componentes	
Tocoferol	1,3 mg/g
Biotina	0,42 µg/g
Ácido fólico	0,60 µg/g
Tiamina	0,115 µg/g
Riboflavina	0,33 µg/g
Ácido pantotênico	5,59 µg/g
Piridoxina	0,29 µg/g
Niacina	0,12 µg/g

Scholfield (1981).

1.3.2. Lecitina - agente hipocolesterolêmico e anti-aterogênico

Lecitina de soja vem sendo consumida por duas principais razões salutaras: elas são consideradas por ter efeitos favoráveis no metabolismo do colesterol, funcionamento do cérebro, e outros processos (KNUIMAN; BEYNEN; KATAN, 1989).

Wilson, Meservey e Nicolosi (1998) realizaram um estudo para investigar as propriedades hipocolesterolêmica e anti-aterogênica da lecitina de soja. No experimento, macacos foram alimentados com dieta contendo 3,4% de lecitina de soja por 8 semanas. Os grupos de comparação revelaram que os animais alimentados com lecitina de soja tiveram significativas reduções nos níveis de colesterol total no plasma e de não-HDL (“very low-“ e “low-density lipoprotein cholesterol”), em 46 e 55%, respectivamente.

Dados que mostram seu efeito hipocolesterolêmico nem sempre ocorrem da mesma maneira, possivelmente por diferenças no grau de hipercolesterolemia inicial da população estudada, e tipo e nível de lecitina utilizada. Os mecanismos para as propriedades hipocolesterolêmicas da lecitina ainda não estão elucidados (WILSON; MESERVEY; NICOLOSI, 1998).

Rinse [s.d.] explica que aterosclerose é um distúrbio metabólico pelo qual o depósito de colesterol e derivados nas paredes arteriais causam complicações ateroscleróticas, tais como enfarte cardíaco, trombose cerebral, alta pressão sanguínea, e outras. É aparente que alguns fenômenos físico-químicos são significantes para a ocorrência e causa da aterosclerose: (a) lubrificação das artérias por cristais líquidos de derivados de colesterol; (b) solubilidade do colesterol no plasma sanguíneo e solubilização dos depósitos de colesterol; (c) oxidação de ácidos graxos polinsaturados e formação de radicais livres (que pode ser prevenida por antioxidantes). Assumindo que o maior problema da aterosclerose é manter o colesterol em solução e dissolver seus depósitos nas paredes venosas, a lecitina de soja pode ser usada em dietas uma vez que a lecitina polinsaturada dissolve depósitos de colesterol nas paredes arteriais.

Segundo Rinse [s.d.], o colesterol é um álcool aromático, com um ponto de fusão de 149°C. Ele esterifica com ácidos graxos e forma complexos com fosfolipídeos, em particular, lecitina. O complexo de colesterol com lecitina ocorre na relação molecular 1:1 e é encontrado em várias partes do corpo. O ponto de transição do complexo colesterol-lecitina do estado sólido para o líquido cristalino varia com o grau de saturação dos ácidos graxos, sendo 70°C com estearato e 0°C com linoleato. Os pontos de transição são mais baixos com ácidos graxos de cadeia menor. O autor correlaciona a incidência de aterosclerose com o ponto de fusão dos derivados do colesterol. Pouca lecitina ou pouco linoleato causam depósitos sólidos na temperatura do corpo. Small (1968) investigou a fase de equilíbrio no sistema colesterol - lecitina - sais biliares - água. Ele relata que o colesterol é solúvel nas fases homogêneas somente se existe quantidades suficientes de lecitina, e esta se contém quantidades suficientes de linoleato, de tal maneira a fazer com que o complexo com colesterol se funda na temperatura do corpo ou abaixo.

As experiências pessoais de um grande número de químicos, médicos e outros, assim como Rinse [s.d.], sugerem que a aterosclerose é uma doença de deficiência, que pode ser combatida eficientemente com o uso de suplementos alimentares, em particular, lecitina e óleos essenciais.

A *Tabela 10* reúne estudos sobre os efeitos da lecitina no colesterol sanguíneo. Estudos que tiveram menos que uma semana de duração e aqueles em que a lecitina foi administrada de maneira intravenosa não foram incluídos.

TABELA 10. Sumário de estudos sobre os efeitos da lecitina de soja no nível de colesterol total

Referência	Número de sujeitos	Quantidade de lecitina	Duração	Colesterol inicial	Efeito no Colesterol
		<i>g/dia</i>	<i>semanas</i>	<i>Mmol/L</i>	<i>%</i>
<i>Aldersberg & Sobotka</i>	5	12-15	4-11	19,0	-58
<i>Steiner & Domanski</i>	8	25	6-10	9,2	-20
<i>Delevett & Bruger</i>	4	18-54	8-15	11,2	-3,9
<i>Morrison</i>	15	36	13	9,8	-30
<i>Davies & Murdock</i>	8	0,7-1,9	13	9,1	-11
<i>Varkoni</i>	19	?	4-38	8,9	-27
<i>Funatzu</i>	29	?	61	7,5	-31
<i>Ter Welle & Van Gent</i>	12	1,2-2,4	10-20	11,0	-3,3
<i>Svandberg et al.</i>	5	?	9	7,7	+3,5
<i>Skorepa et al.</i>	12	1,8	8	8,3	-12
<i>Blaton et al.</i>	69	1,8	7,5	7,9	-8,0
<i>Simons et al.</i>	10	4,5-30	9-39	8,8	-6,8
<i>Simons</i>	5	4,5-30	9-19	8,4	-4,1
<i>Greten et al.</i>	8	18	1,5	7,7	-6,1
<i>Tmpikins & Parkin</i>	5	48	104	6,1	-15
<i>Cobb et al.</i>	10	22,5	4	4,2	-3,7
<i>Childs et al.</i>	18	36	9	5,8	+5,4
<i>Hawthorne et al.</i>	6	6	2	5,9	-2,6
<i>Vroulis et al.</i>	8	6	4	4,9	-5,8
<i>Wirthis et al.</i>	10	35	9-13	5,5	-6,3
<i>Prack et al.</i>	34	45	4	6,9	-7,4
<i>Leotta & Fusco</i>	9	6,6	6	4,5	+17
<i>Kesäniemi & Grundy</i>	100	18	4	7,6	-17,8
<i>Keys et al.</i>	10	5	5	6,1	0,0

Knuiman, Beynen e Katan (1989).

1.4. SUBPRODUTOS DA MOAGEM DE TRIGO

Maior atenção deve ser dada aos subprodutos das fábricas de farinha de trigo, os quais incluem várias formas de fibras (ou farelo), o gérmen, e os resíduos da etapa de limpeza (“cleaning house” ou “screen room”). Estes produtos representam cerca de 25% do grão e são considerados economicamente importantes. Variam no tamanho desde grandes flocos de farelo separados no final do sistema de quebra, até um fino material fibroso obtido no último estágio do sistema de redução. Os três subprodutos fibrosos, farelo, gérmen e “screenings” (peneirado) geralmente são coletados em três etapas diferentes, resultando em diferenças na composição química e variando no nome de país para país (POMERANZ, 1988).

A composição do grão de trigo é a seguinte: 85% de endosperma, 13% de casca e 2% de gérmen ou embrião. Tradicionalmente, as camadas externas do grão têm sido destinadas para a alimentação animal. Isso pode ser explicado pelo elevado teor de fibras de sabor amargo, e pela susceptibilidade à rancidez (WASZCZNSKY, 1979).

A camada externa denomina-se farelo, fazendo parte a casca, o gérmen e parte da farinha, somando-se um total de 20% do trigo, dos quais 16 a 17% são proteínas (WASZCZNSKY, 1979).

O valor nutritivo das proteínas do farelo é superior ao da proteína do endosperma. As gorduras são altamente insaturadas, e o teor de minerais e vitaminas é elevado (POMERANZ, 1971).

1.4.1. Proteínas

Os cereais contribuem com 50% da ingestão calórica e com 45% de proteínas ingeridas no mundo; e o trigo, um pouco menos que 20% do total de calorias e proteínas. Em geral, o conteúdo de proteínas das frações do trigo é maior no gérmen, seguido pelos farelos, farinha integral e farinha branca. A qualidade nutricional das proteínas depende da digestibilidade e utilização dos

aminoácidos. Dados importantes destas fontes estão apresentadas na *Tabela 11* para ilustrar a variação de amostras específicas e as diferenças nos tipos e frações do trigo.

TABELA 11. Conteúdo de proteínas e dados biológicos - trigo, farinhas, frações

Amostra	Proteína (%)	Nitrogênio (%)	N Digestibilidade (%)	RNV*	Referência
Trigo	8,0-21,9				Miller's National Federation (1972)
Trigo Durum	11,5-21,5				
Farelo	11,9-22,9				
Far. Integral	16,7		91	39	Miladi et al. (1972)
Far. Branca	14,4		99	24	
Farelo	17,2		69	51	
Gérmen	25,2		92	79	
Far. Integral	12,2	2,09			FAO (1970)
Gérmen	22,9	3,95			
Farelo	13,6	2,16			

Adaptado de Pomeranz (1988)

* RNV: relative nutritional value.

1.4.2. Vitaminas e Minerais

O conteúdo de vitaminas e minerais não está uniformemente distribuído através da cariópse do trigo, sofrendo influência da variedade, fração e métodos de moagem, conforme *Tabela 12*.

TABELA 12. Conteúdo de minerais e vitaminas (mg/kg) - trigo, farinha e frações

Conteúdo	Trigo ^a	Farinha ^a	Farelo ^a	Gérmen ⁴	Gérmen Tostado ⁵
Fe	18 - 31	3,5 - 9,1	74 - 103	41 - 58	85
Zn	21 - 63	3,4 - 10,5	56 - 141	100 - 144	145
Cu	1,8 - 6,2	0,62 - 0,63	8,4 - 16,2	7,2 - 11,8	
Mn	24 - 37	2,1 - 3,5	72 - 144	101 - 129	
Se	0,04 - 0,71	0,01 - 0,45	0,10 - 0,75	0,01 - 0,77	
Ca				400	625
P				10.710	
Mg				3.430	2.600
K				9.300	
Niacina				89	98
Ácido fólico					425,5*
Vitamina B1				16,0	20
Vitamina B2				7,0	7,0
Vitamina B6					33
Vitamina E				455	117

* conteúdo em µg/100g

^a Pomeranz (1988)

⁴ Natus Alimentos Naturais S.A.

⁵ Sanaví Fabricantes de Alimentos Dietéticos.

⁴ Natus Alimentos Naturais S.A.- Hortolândia, SP. Disponível em:<www.natus.com.br>. Acesso em 05/10/2003

⁵ Sanaví Fabricantes de Alimentos Dietéticos – Láchar, Granada. Disponível em:<www.sanavi.com>. Acesso em 05/10/2003

1.4.3. Enzimas

A presença de enzimas hidrolisadoras de gorduras, ou lipases, em farinhas de trigo tem sido reconhecida por muitos anos. A atividade da lipase é importante tendo em vista a estabilidade da farinha em período prolongado de estocagem ou condições adversas. A lipase converte a gordura presente em ácidos graxos, os quais são associados a “off flavor” ou odores de rancidez na farinha. Sua atividade é alta em farinhas com alto conteúdo de gordura (POMERANZ, 1988).

A lipoxigenase pode reagir cataliticamente ativa com linoleato e hidroperóxidos de linoleato tanto na presença ou ausência de oxigênio. Esta enzima contém 1 mol de Fe por mole de enzima. Sua forma natural é na forma Fe (II), e é inerte. Reação com hidroperóxidos de linoleato resulta na forma Fe (III), chamada enzima amarela, devido a sua absorvância a 330nm. A enzima amarela reage com o linoleato, liberando um próton, reduzindo o Fe (III), e formando uma ligação de radicais livres (KRUGER; LINEBACK ;STAUFFER, 1987).

1.5. VITAMINAS

1.5.1. Agentes anti-aterogênicos e anti-carcinogênicos

A hipótese entre oxidação e aterosclerose implica que antioxidantes são capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas na parede arterial e então retardar a aterogênese. Muitos estudos animais vem usando, na maioria, altas doses de antioxidantes, mostrando ser efetivos agentes antiateroscleróticos quando administrados em doses farmacológicas (DJAHANSOUZI et al., 2001; VEINBERGS et al., 2000; KHOR e NG, 2000; ISMAIL et al., 2000).

LDL (“low density lipoproteins”) oxidadas (Ox-LDL) são consideradas as principais formas aterogênicas do LDL (CATAPANO; MAGGI; TRAGNI, 2000). Sob influência oxidativa, o qual está associada com aterosclerose, modificações oxidativas do LDL ocorrem. O principal efeito de antioxidantes no meio LDL é

prevenir a formação de LDL oxidado durante a aterogênese. A questão que surge é quais são as habilidades do corpo para inibir a oxidação do LDL e remover e/ou neutralizar o Ox-LDL aterogênico quando formado. A aterosclerose é uma doença multifatorial e LDL é oxidado em todas as principais células da parede arterial durante o desenvolvimento da aterosclerose através de mais de um mecanismo. Várias vias de oxidação do LDL produzem vários produtos de peroxidação lipídica, tais como isoprostanas, hidróxi ácidos graxos, peróxidos lipídicos e aldeídos. Estratégias para reduzir a oxidação do LDL e aterogênese pode envolver o enriquecimento do LDL e células arteriais com potentes oxidantes que podem prevenir os danos oxidativos à parede arterial (AVIRAM, 2000).

Um grande número de estudos epidemiológicos e experimentais tem contribuído para a hipótese de que modificações oxidativas no LDL (“low-density lipoprotein”) colesterol são cruciais na iniciação da aterogênese. O LDL modificado é mais prontamente envolvido por macrófagos, aumentando a formação de células espumosas e camadas de gordura (D'ODORICO et al., 2000).

A principal evidência para o papel do LDL oxidado na aterogênese vem de estudos animais, os quais vem mostrando que tratamentos com antioxidantes tais como probucol, BHT, podem reduzir o grau das lesões aterogênicas. Cada um desses agentes possuem efeitos colaterais que limitam sua utilização em humanos. Dados estes efeitos adversos, o possível uso de nutrientes antioxidantes α -tocoferol, β -caroteno e ascorbato para prevenir aterosclerose assumem grande importância. Suplementação com estes nutrientes acima da ingestão diária recomendada é aparentemente tolerada sem efeitos adversos (FULLER et al., 1996).

Substâncias antioxidantes dissolvidas no LDL colesterol podem ser esperadas para contrabalancear a peroxidação lipídica e desacelerar a progressão da aterosclerose. Fortes suportes para este conceito em modelos animais são aqueles em que grandes quantidades de carotenóides na dieta protegeram contra o desenvolvimento da aterosclerose (D'ODORICO et al., 2000).

Fatores estabelecidos tais como hipertensão, tabagismo e diabetes estão todos associados com o aumento da influência oxidativa devido ao excesso de atividade de radicais livres na parede vascular. Isto pode facilitar o desenvolvimento de doenças cardiovasculares por causa (1) do aumento da oxidação do LDL o que aumenta a propensão de deposição na parede vascular; (2) inativação do endotélio-derivado do óxido nítrico, e (3) citotoxicidade direta às células endoteliais. Moléculas protetoras antioxidantes incluem vitamina C e vitamina E, que é um lipossolúvel e é o principal antioxidante de defesa na circulação de partículas LDL (MAXWELL, 2000).

Vitamina E e vitamina C são considerados os mais importantes nutrientes antioxidantes. A vitamina E pode ter também outras propriedades anti-aterogênicas. Quando a vitamina E trabalha como um antioxidante, ela é oxidada até o radical prejudicial α -tocoferoxil, que necessita ser reduzido de volta à α -tocoferol. Vitamina C pode regenerar o radical α -tocoferoxil à α -tocoferol. Teoricamente, suplementando indivíduos de alto risco com altas doses de vitamina E somente, poderiam tanto promover quanto reduzir a peroxidação lipídica. A deficiência de vitamina C também é associada com o aumento de riscos de doenças coronárias (SALONEN et al., 2000).

A vitamina E (tocoferol) é o principal antioxidante lipossolúvel nas membranas celulares. Protege contra a oxidação lipídica por atuar diretamente sobre radicais livres derivados do oxigênio, oxigênio "singlet", produtos de lipoperóxidos, e radical superóxido, formando radical tocoferol inócuo. A vitamina C interage com o tocoferol, regenerando o tocoferol reduzido, e desta forma, a relação vitamina C:vitamina E pode ser biologicamente mais importante que os níveis absolutos de vitamina C (STAVRIC, 1994; CLARKSON, 1995).

Os epidemiologistas estão muito interessados em avaliar a relação entre a ingestão de alimentos ricos em antioxidantes e a incidência de câncer e doenças cardiovasculares, especialmente no que se refere à vitamina C, vitamina E, β -caroteno e selênio (CÂNDIDO e CAMPOS, 1996).

Alguns mecanismos para explicar a ação dos antioxidantes na prevenção do câncer são: inibição da cadeia de propagação de radicais livres, por formar produtos estáveis; interação direta do carcinógeno ou de seus metabólitos ativos com o antioxidante; decréscimo da atividade ou alteração das vias enzimáticas responsáveis pela ativação do carcinógeno; aumento da atividade das enzimas responsáveis pela detoxificação; ou dois ou mais mecanismos citados (SALONEN et al., 1995).

1.5.2. Vitamina E - efetiva prevenção da aterosclerose

Vitamina E, o principal antioxidante lipossolúvel, contribui para a prevenção da aterosclerose através da inibição da oxidação do LDL colesterol. Uma correlação inversa tem sido mostrada entre as concentrações de Vitamina E no plasma e a taxa de mortalidade coronária em vários países europeus, sugerindo um efeito protetor da vitamina E contra a aterosclerose (FEKI et al., 2000). Os autores realizaram um estudo para avaliar o grau de associação entre a vitamina E e doenças coronárias em 62 pacientes ateroscleróticos angiograficamente confirmados. Vitamina E no plasma e a fração LDL foram medidos por HPLC. A susceptibilidade do LDL à oxidação foi testada pela formação de substâncias reagentes ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). Nos pacientes ateroscleróticos, um menor teor de vitamina E no plasma foi associado ao aumento na susceptibilidade do LDL à oxidação. Estes resultados corroboram a hipótese que a vitamina E exerce um importante papel na prevenção da aterosclerose.

Um estudo para avaliar a suplementação de antioxidantes na prevenção da aterosclerose foi realizado por Salonen et al. (2000) em homens (fumantes e não fumantes), e mulheres (pós-menopausa). A formulação continha 91mg de d- α -tocoferol (correspondendo a 200mg de α -tocoferil acetato e 272 IU de vitamina E por dia), ou 250mg de vitamina C ou ambas as vitaminas para retardar a progressão da aterosclerose, duas vezes ao dia. Um maior efeito foi observado a priori em homens e em fumantes que em mulheres e não fumantes, uma vez que homens e fumantes possuem aumento no "stress" oxidativo e peroxidação lipídica.

Devido ao sinergismo entre as vitaminas C e E no corpo humano, o maior efeito protetor foi observado pela suplementação combinada. As doses dos suplementos foram escolhidas para manter a concentração da razão vitamina C e E no plasma similar às pessoas não suplementadas.

Resultados de um estudo realizado por Porkkala-Sarataho et al. (1998) sugeriram que 200mg de α -tocoferol acetato / dia, via oral, teve um efeito evidente na oxidação "in vitro" de VLDL+LDL em homens fumantes.

1.5.3. Vitamina C - efeito antioxidante

Vitaminas antioxidantes protegem a membrana plasmática reagindo com e removendo radicais livres, e então interrompendo a reação em cadeia. Mantendo-se uma dieta que supre apropriados níveis de vitaminas antioxidantes, especialmente vitamina C e β -caroteno, pode-se conseguir uma redução dos riscos de vários tipos de doenças. O ácido ascórbico reage com radicais livres que aparecem nos compartimentos aquosos dos tecidos, formando o inócuo ascorbato semiquinona (GÖNÜL e KAPLAN, 1999).

Segundo Fuller et al. (1996), o ascorbato (vitamina C) é o nutriente antioxidante aquoso predominante no plasma. Ele é capaz de regenerar o α -tocoferol de sua forma radical. Deficiência de ascorbato causaram lesões ateroscleróticas em porcos, as quais puderam ser revertidas com suplementação de ascorbato.

Estudos vêm mostrando que concentrações fisiológicas de ascorbato podem reduzir a oxidação do LDL "in vitro" e prevenir seu subsequente ataque pelos macrófagos (JIALAL; VEJA; GRUNDY, 1990; FREI, 1991), e podem preservar os antioxidantes endógenos do LDL, tais como α -tocoferol. A suplementação com ascorbato vem mostrando reduzir a oxidação de lipoproteínas em ratos e em indivíduos não fumantes (KIMURA et al., 1992).

Dado o potente efeito antioxidante do ascorbato e sua hidrofobicidade, há três possíveis meios os quais podem reduzir a susceptibilidade de oxidação do

LDL: (1) pela redução de lipídios hidroperóxidos pré-formados; (2) pela proteção de antioxidantes endógenos (α -tocoferol, β -caroteno) da oxidação; (3) pelo dehidroascorbato ou outro produto da oxidação ligado à posição de transição (FULLER, et al., 1996).

A ingestão recomendada diária da vitamina C é de 60mg, e o excesso de vitamina C é relativamente não tóxico (GÖNÜL e KAPLAN, 1999).

Fuller et al. (1996) realizaram um estudo para examinar o efeito do esgotamento e suplementação do ascorbato na propensão à oxidação do LDL em fumantes num período de 6 semanas. A suplementação foi de 1000mg de ascorbato por dia e uma significativa redução na susceptibilidade à oxidação do LDL foi medida através de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).

Carr e Frei (1999) revisaram evidências bioquímicas, clínicas e epidemiológicas para o papel da vitamina C na prevenção de doenças como câncer, doenças cardiovasculares, e catarata, provavelmente através de mecanismos antioxidantes. A totalidade dos dados revisados sugere que uma ingestão de 90 - 100mg de vitamina C / dia é requerido para a redução do risco de doenças crônicas em homens e mulheres não fumantes.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIS, R.C. Novos conceitos em nutrição - reflexões a respeito do elo dieta e saúde. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 38, n.4, São Paulo, out./dez. 2001.

ANTHONY, M. S.; CLARKSON, T. B.; BULLOCK B. C.; WAGNER, J. D. Soy protein versus soy phytoestrogens in the prevention of diet-induced coronary artery atherosclerosis of male cynomolgus monkeys. **Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology**, v. 17, n. 11, p. 2524-2531, nov., 1997.

ARAÚJO, J. M. A.; CARLOS, J. C. S.; SEDYAMA, C. S. Isoflavonas em grãos de soja; importância da atividade de β -glicosidase na formação do sabor amargo e adstringente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 2, p. 137-141, maio, 1997.

ARKCOLL, D. B. Inibidores nutricionais da soja. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, n. 48, dez., p. 31-51, 1976.

AVIRAM, M. Review of human studies on oxidative damage and antioxidant protection related to cardiovascular diseases. **Free Radical Research**, v. 33, p. 85-97, 2000.

BARBOSA, M. **Na onda da barra. Com uma gestão alternativa e um produto campeão de vendas, Nutrimental afasta a crise e volta a ser uma empresa saudável.** Disponível em: www.terra.com.br/istoedinheiro. Acesso em: 16 set. 2003.

BOUSTANI, P.; MITCHELL, V.-W. Cereal bars: A perceptual, chemical and sensory analysis. **British Food Journal**, v. 92, n. 5, p.17-22, 1992.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para Fins Especiais: Dietéticos.** São Paulo: Livraria Varela Ltda, 1996. 411p.

CARR, A. C.; FREI, B. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 69, n. 6, p. 1086-1107, jun., 1999.

CATAPANO, A. L.; MAGGI, F. M.; TRAGNI, E. Low density lipoprotein oxidation, antioxidants and atherosclerosis. **Current Opinion in Cardiology**, v. 15, n. 5, p. 355-363, sep, 2000.

CHANG, H. C.; CHURCHWELL, M. I.; DELCLOS, K. B.; NEWBOLD, N. N.; DOERGE, D. R. Mass spectrometric determination of genistein tissue distribution in diet-exposed sprague-dawley rats. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1963-1970, 2000.

CLARKSON, P. M. Antioxidants and physical performance, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n. 1/2, p. 131-141, jan., 1995.

CITTENDEN, R. G.; PLAYNE, M. J. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n.11, p.353-361, nov., 1996.

DJAHANSOUZI, S.; BRAESEN, J. H.; KOENING, K.; BEISIEGEL, U.; KONTUSH, A. The effect of pharmacological doses of different oxidants on oxidation parameters and atherogenesis in hyperlipidaemic rabbits. **Atherosclerosis**, v. 154, n. 2, p. 387-398, feb., 2001.

D'ODORICO, A.; MARTINES, D.; KIECHL, S.; EGGER, G.; OBERHOLLENZER, F.; BONVICINI, P.; STURNIOLO, G. C.; NACCARATO, R.; WILLEIT, J. High plasma levels of α - and β -carotene are associated with a lower risk of atherosclerosis. Results from the Bruneck study. **Atherosclerosis**, v. 153, p. 231 - 239, jan., 2000.

EFING, L. C.; AKUTAGAWA, P. S.; DUTCOSKY, S. D.; CAMPOS, A. M. Desenvolvimento de barra de cereais com alto teor protéico e sem adição de açúcar à base de proteína de soja. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES 4, 2002, Campinas. **Resumos**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2002. CD ROM.

FEKI, M.; SOUISSI, M.; MOKHTAR, E.; HSAIRI, M.; KAABACHI, N.; ANTEBI, H.; ALCINDER, L. G.; MECHMECH, R.; MEBAZAA, A. Vitamin E and coronary heart disease in Tunisians. **Clinical Chemistry**, v. 46, n. 9, p. 1401 - 1405, 2000.

FRANCAL FEIRAS. **Barra de cereais: grande filão para comércio com EUA.** Disponível em: www.francal.com.br/codigo/p-noticias-conteudo.asp?noticias_ID=758. Acesso em: 16 set. 2003.

FREI, B. Ascorbic acid protects lipids in human plasma and low density lipoprotein against oxidative damage. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 1113 S, 1991.

FULLER, C. J.; GRUNDY, S. M.; NORKUS, E. P.; JIALAL, I. Effect of ascorbate on low density lipoprotein oxidation in smokers. **Atherosclerosis**, v. 119, p. 139 - 150, 1996.

GÖNÜL, B.; KAPLAN, B. Effects of vitamin C supplementation on plasma antioxidant status in unfed periods. **General Pharmacology**, v. 32, p. 195 - 199, 1999.

HOLDER, C. L.; CHURCHWELL, M. I.; DOERGE, D. R. Quantification of soy isoflavones, genistein and daidzein, and conjugates in rat blood using LC/ES-MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 3764-3770, 1999.

ISMAIL, N. M.; GHAFAR, N. A.; JAARIN, K.; KHINE, J. H.; TOP, G. M. Vitamin E and factors affecting atherosclerosis in rabbits fed a cholesterol-rich diet. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 51, suppl. 1, p. 79-94, dec., 2000.

JACKSON, C.J.C.; DINI, J. P.; LAVANDIER, C.; RUPASINGHE, H. P. V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; DeGRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, n. 37, p. 1117-1123, 2002.

JILIAL, I.; VEJA, G. L.; GRUNDY, S. M. Physiologic levels ascorbate inhibit the oxidative modification of low density lipoprotein. **Atherosclerosis**, v. 82, p. 185, 1990.

KHOR, H. T.; NG, T. T. Effects of administration of alpha-tocopherol and tocotrienols on serum lipids and liver HMG CoA reductase activity. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 51, suppl. 1, p. 3-11, dec, 2000.

KIMURA, H.; YAMADA, Y.; MORITA, Y.; IKEDA, H.; MATSUO, T. Dietary ascorbic acid depresses plasma and low density lipoprotein lipid peroxidation in genetically scorbutic rats. **Journal of Nutrition**, v. 122, p. 1904, 1992.

KNUIMAN, J. T.; BEYNEN, A. C.; KATAN, M. B. Lecithin intake and serum cholesterol. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 49, p. 266 - 268, 1989.

KRUGER J. E.; LINEBACK, D.;STAUFFER, C. D. E. **Enzymes and Their Role in Cereal Technology**. American Association of Cereal Chemistry, Inc. St. Paul, Minnesota, 1987.

KU, K. H.; PARK, D. J.; MOK, C. K. Ion exchange of ultrafiltered soybean cooking water for the production of soy-oligosaccharides. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 27, n. 3, p. 313-317, 1995.

LOO, J. V.; CUMMINGS, J.; DELZENNE, N.; ENGLYST, H.; FRANCK, A.; HOPKINS, M.; KOK, N.; MACFARLANE, G.; NEWTON, D.; QUIGLEY, M.; ROBERFROID, M.; VLIET, T.; HEUVEL, E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII AIRII-CT94-1095). **British Journal of Nutrition**, v. 81, p. 1-12, jan., 1999.

MAHUNGU, S. M.; DIAZ-MERCADO, S.; LI, J.; SCHWENK, M.; SINGLETARY, K.; FALLER, J. Stability of isoflavones during extrusion processing of corn/soy mixture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 279-284, 1999.

MAXWELL, S. R. J. Coronary artery disease - free radical damage, antioxidant protection and the role of homocysteine. **Basic Research in Cardiology**, v. 95, suppl. 1, p. 65-71, 2000.

MIURA, E. M. Y.; BINOTTI, M. A. R.; CAMARGO, D. S. Avaliação biológica de linhagem de soja com baixas atividades de inibidores de tripsina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p. 1754-1758, dez., 2000

MIZOTA, T. Functional and Nutritional Foods Containing Bifidogenic Factors. **Bulletin of the International Dairy Federation**, n. 313, p. 31-35, 1996.

MOTT, S. Soy protein in sports nutrition. **International Food Marketing e Technology**, vol.11, n.6, p.10-13, 1997

NAKAMURA, Y.; TSUJI, S.; TONOGAI, Y. Determination of the levels of isoflavonoids in soybeans and soy-derived foods and estimation of isoflavonoids in the Japanese daily intake. **Journal of the AOAC International**, n. 3, v. 83, p. 635-650, 2000.

NIEUWENHUYZEN, W. V. The industrial uses of special lecithins: a review. **Journal of the American Oil Chemistry Society**, p. 886-888, oct., 1981.

O'SULLIVAN, M. G. Metabolism of bifidogenic factors by gut flora - an overview. **Bulletin of the International Dairy Federation**, n. 313, p. 23-30, 1996.

PADGETTE, S. R.; TAYLOR, N. B.; NIDA, D. L.; BAILEY, M. R.; MacDONALD, J.; HOLDEN, L. R.; FUCHS, R. L. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. **Journal of Nutrition**, v. 126, p. 702-716, 1996.

PALAZZOLO, G. Cereal bars: They're not just for breakfast anymore. **Cereal Foods World**, v. 48, n. 2, mar-abr, p. 70-72, 2003.

PEHANICH, M. No holds barred. **Prepared Foods**, v. 172, n. 3, mar., p. 79-80, 2003.

PLAYNE, M. J.; CITTENDEN, R. Commercially available oligosaccharides. **Bulletin of the International Dairy Federation**, N 313, p. 10-22, 1995.

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. 3 ed. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.2

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1971. v.3

PORKKALA-SARATAHO, E. K.; NYSSONEN, M. K.; KAIKKONEN, J. E., POULSEN, H. E.; HAYN E. M.; SALONEN, R. M.; SALONEN, J. T. A randomized, single-blind, placebo-controlled trial of the effects of 200 mg alpha-tocopherol on the oxidation resistance of atherogenic lipoproteins. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, n. 5, p. 1034-1041, 1998.

RINSE, J. **Arteriosclerose, química e nutrição: algumas observações, experiências e uma hipótese**. Tradução Roberto H. Moretti. American Laboratory: 37. p. 19.

RODRIGUES, R. S. **Caracterização de extratos de soja obtidos de grãos, farinha integral e isolado protéico visando a formulação e avaliação biológica (em coelhos) de bebida funcional à base de extrato de soja e polpa de pêssegos**. 2003. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RUPÉREZ, P. Oligosacáridos bifidogénicos. **Food Science and Technology International**, v. 4, n. 4, p. 237-243, 1998.

SALONEN J. T.; NYSSÖNEN, K.; SALONEN, R.; LAKKA, H.- M.; KAIKKONEN, J.; PORKKALA-SARATAHO, E.; VOUTILAINEN, S.; LAKKA, T. A.; RISSANEN, T.; LESKINEN, L.; TUOMAINEN, T. -P.; VALKONEN, V. -P.; RISTONMAA, U.; POULSEN, H. E. Antioxidant supplementation in atherosclerosis prevention (ASAP) study: a randomized trial of the effect of vitamins E and C on 3-year

progression of carotid atherosclerosis. **Journal of Internal Medicine**, v. 248, p. 377 - 386, 2000.

SALONEN R.; NYYSÖNEN, K.; PORKKALA, E.; RUMMUKAINEN, J.; BELDER, N.; PARK, J-S.; SALONEN, J. T. Kuopio Atherosclerosis Prevention Study (KAPS) - A population based primary preventive trial of the effect of LDL lowering on atherosclerotic progression in carotid and femoral arteries. **Circulation**, v. 92, p. 1758-1764, 1995.

SAMMAM, S.; LYONS WALL, P. M.; CHAN, G. S. M.; SMITH, S. J.; PETOCZ, P. The effect of supplementation with isoflavones on plasma lipids and oxidizability of low density lipoprotein in premenopausal women. **Atherosclerosis**, v. 147, p. 277-283, 1999.

SCHOLFIELD, C. R. Composition of soybean lecithin. **Journal of the American Oil Chemistry Society**, p. 888-891, oct., 1981.

SMALL, D. M. A classification of biologic lipids based upon their interaction in aqueous systems. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v. 45, n. 3, p. 108, 1968.

SNYDER, H. E.; KWON, T.W. **Soybean Utilization**. New York: An AVI book, 1987. 346 p.

STAVRIC, B. Antimutagens and anticarcinogens in foods. **Food and Chemical Toxicology**, v. 32, n. 1, p. 79-90, jan., 1994.

TOMOMATSU, H. Health Effects of Oligosacharides. **Food Technology**, Chicago, v.48, n.10, p. 61-65, oct., 1994.

VEINBERGS, I.; MALLORY, M.; SAGARA, Y.; MASLIHA, E. Vitamin E supplementation prevents spatial learning deficits and dendritic alterations in aged apolipoprotein E - deficient mice. **European Journal of Neurosciense**, v. 12, n. 12, p. 4541-4546, dec, 2000.

WANG, S. H.; FERNANDEZ, S. M.; CABRAL, L. C. Solubilidade de nitrogênio, dispersibilidade de proteína e propriedades emulsificantes dos extratos hidrosolúveis desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 12-17, jan./abr., 2000.

WASZCZYNSKY, N. J. **Extração de proteínas do farelo de trigo com aplicação de enzimas**. Londrina. 1979. Tese (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1979.

WILSON, T. A.; MESERVEY, C. M.; NICOLOSI, R. J. Soy lecithin reduces plasma lipoprotein cholesterol and early atherogenesis in hypercholesterolemic monkeys and hamsters: beyond linoleate. **Atherosclerosis**, v. 140, n. 1, p. 147-153, sep., 1998.

YAMAKOSHI, J.; PISKULA M. K.; IZUMI, T.; TOBE, K.; SAITO, M.; KATAOKA, S.; OBATA, A.; KIKUCHI, M. Isoflavone aglicone-rich extract without soy protein attenuates atherosclerosis development in cholesterol-fed rabbits. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1887-1893, 2000.

CAPÍTULO II

ESTUDO DA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA DE LIPASE E PEROXIDASE EM GÉRMEN DE TRIGO

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

Artigo submetido à revista Brazilian Journal of Chemical Engineering

ESTUDO DA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA DE LIPASE E PEROXIDASE EM GÉRMEN DE TRIGO

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

¹ Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Rua Monteiro Lobato, s/n, Campinas-SP, CP 6121, CEP 13083-862, degrandi@fea.unicamp.br

RESUMO

Tradicionalmente, as camadas externas do grão de trigo têm sido destinadas para a alimentação animal devido ao elevado teor de fibras de sabor amargo, e pela susceptibilidade à rancidez, fator adverso de qualidade de cereais desidratados. A atividade da lipase em grãos é alta desde estágios iniciais de desenvolvimento e a peroxidase é a enzima capaz de decompor hidroperóxidos em compostos hidroxilados, responsáveis pelo sabor amargo. Amostras de aveia laminada integral e gérmen de trigo (produto natural inalterado da moagem do grão) foram caracterizadas e a atividade da lipase e peroxidase medidas. Foi utilizado um delineamento fatorial completo, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta, para estudar os efeitos dos fatores “temperatura” e “tempo” na inativação das enzimas e para a determinação das condições ótimas de redução de atividade de lipase e peroxidase no gérmen de trigo. Foram determinadas como condições ótimas tratamentos térmicos à temperatura na faixa de 180 a 190°C, com duração de 4,8 a 8,0 minutos e obtidas reduções significativas ($p \leq 0,05$) na atividade residual da lipase e peroxidase, resultando numa redução de 20,11 para 12,98% de hidrólise na atividade de lipase e 17.283,78 para 30,40 (abs/g.min) na atividade de peroxidase.

Palavras-chave: gérmen de trigo; lipase; peroxidase; aveia.

SUMMARY

Traditionally the external layers of the wheat grain have been used for animal feeding due to their high fibre content and bitter taste as well as their susceptibility to rancidity, a negative quality factor in dried cereals. Lipase activity is high from the early stages of development and peroxidase is an enzyme capable of decomposing hydroperoxides to hydroxylated compounds, which are responsible for the bitter taste. Samples of whole laminated oats and of wheat germ (natural unaltered product from the wheat mill) were characterised and their lipase and peroxidase activities measured. A complete factorial experimental design was used based on Response Surface methodology, to study the effects of the factors “temperature” and “time” on the activity of the enzymes, and to determine the optimal conditions for the reduction of the lipase and peroxidase activities of wheat germ. The optimal conditions determined were a heat treatment in the range between 180 and 190°C for between 4.8 and 8.0 minutes, obtaining significant reductions in the residual lipase and peroxidase activities, resulting in a reduction in lipase activity from 20.11 to 12.98% of hydrolysis and in peroxidase activity from 17,283.78 to 30.40 abs/g.min.

Key words: **wheat germ; lipase; peroxidase; oats.**

1. INTRODUÇÃO

A rancidez, segundo Galliard (1983), é definida como fator adverso de qualidade, produz sabor e aroma indesejáveis e pode ser hidrolítica ou oxidativa. Na rancidez hidrolítica, os ácidos graxos são liberados dos triglicerídeos pela ação de enzimas presentes naturalmente no grão, adicionadas intencionalmente, ou produzidas por microrganismos contaminantes. A rancidez oxidativa é resultante da reação entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio, sendo catalisada por um grande número de agentes enzimáticos ou químicos.

A estabilidade de cereais desidratados pode ser afetada pelo ganho de umidade, perda de vitaminas e danificações mecânicas, e pela rancidez oxidativa. A rancidez oxidativa é citada como a mais importante, pois: (1) a atividade de água dos cereais desidratados está abaixo da camada monomolecular, paralisando todos os outros tipos de reações deteriorativas; (2) os grãos usados para o preparo destes produtos normalmente apresentam alta proporção de ácidos graxos insaturados, requeridos para a ocorrência da rancidez (LABUZA, 1982).

Segundo Shahidi (1995), na rancidez oxidativa enzimática, enzimas como a lipoxigenase catalisam a reação entre ácidos graxos insaturados e oxigênio molecular, produzindo hidroperóxidos. Enquanto os hidroperóxidos são inodoros e insípidos, seus produtos de decomposição como aldeídos, cetonas álcoois e hidrocarbonetos, que são compostos de baixo peso molecular, normalmente contribuem para o desenvolvimento de sabor desagradável, destruição de ácidos graxos essenciais e vitaminas lipossolúveis.

O conteúdo lipídico na aveia (*Avena sativa L.*) é relativamente alto (3-9%) e sua composição é similar a de outros cereais (*Tabela 1*).

TABELA 1. Composição aproximada do gérmen de trigo, gérmen de trigo tostado e cariopse de aveia, cultivar UPF18 (análise nutricional por 100g de produto)

	Gérmen de trigo ^b	Gérmen de trigo tostado ^a	Cariopse de aveia ^c
Proteínas (g)	27,88	26,6	15,07
Carboidratos (g)		23,3	50,73
Lipídios (g)	9,86	9,2	7,04
saturadas		1,2	1,34
monoinsaturadas		1,4	5,69
polinsaturadas		6,2	
Fibra total(g)	12,52	24,7	13,32
Fibra solúvel			5,59
Fibra insolúvel			7,73
Cinzas (g)	4,33		1,95

^a Sanaví Fabricante de Alimentos Dietéticos¹

^b Sidhu, Al-Hoot, e Al-Saqer (1999)

^c Hart (2001).

A atividade da lipase na aveia é alta desde estágios iniciais de desenvolvimento aumentando durante a maturação. Na produção de aveia para o consumo humano, é geralmente necessária a inativação da atividade da lipase por meio de tratamentos hidrotérmicos antes do processamento. A degradação dos lipídeos devido à hidrólise e oxidação leva a rancidez, principal fator limitante para a estocagem e manuseio dos produtos de aveia (EKSTRAND, GANGBY e AKESSON, 1992). De acordo com Shukla (1975), além da lipase e lipoxigenase, peroxidase, catalase, tirosinase e outras enzimas também estão presentes na aveia.

¹Sanaví Fabricante de Alimentos Dietéticos - Láchar, Granada. Disponível em: <www.sanavi.com>. Acesso em 5/10/2003

Há várias enzimas responsáveis pela mudança de qualidade em vegetais estocados. A lipoxigenase, lipase e protease estão relacionadas a defeitos de qualidade desenvolvendo “off-flavors”; enzimas pécticas e celulase provocam variações na textura; polifenol-oxidase e peroxidase variações na cor; e ácido ascórbico-oxidase variações nutricionais. A enzima destinada para ser um indicador de um processo para inativação enzimática deve estar diretamente envolvida com a principal mudança deteriorativa durante a estocagem (BARRET e THEERAKULKAIT, 1995).

Maior atenção deve ser dada aos subprodutos das fábricas de farinha de trigo, os quais incluem várias formas de fibras (ou farelo), o gérmen, e os resíduos da etapa de limpeza (“cleaning house” ou “screen room”). Estes produtos representam cerca de 25% do grão e são considerados economicamente importantes (POMERANZ, 1988). Tradicionalmente, as camadas externas do grão de trigo têm sido destinadas para a alimentação animal. Isso pode ser explicado pelo elevado teor de fibras de sabor amargo, e pela susceptibilidade a rancidez (WASZCZNSKY, 1979). A camada externa denomina-se farelo, fazendo parte a casca, o gérmen e parte da farinha. As gorduras são altamente insaturadas, e o teor de minerais e vitaminas é elevado (POMERANZ, 1971). A presença de enzimas hidrolisadoras de gorduras, ou lipases, em farinhas de trigo ou suas frações tem sido reconhecida por muitos anos. A atividade da lipase é importante tendo em vista a estabilidade em período prolongado de estocagem ou condições adversas (POMERANZ, 1988).

Segundo Youngs (1986), a peroxidase é capaz de decompor hidroperóxidos em compostos hidroxilados de baixo peso molecular, responsáveis pelo sabor amargo. É uma enzima excepcionalmente estável ao calor e sua ausência, após tratamento térmico em alimentos, é freqüentemente utilizada como indicador de desnaturação das demais enzimas (ADAMS, 1991).

Barret e Theerakulkait (1995) relatam as vantagens e desvantagens da utilização da peroxidase como indicador: ampla distribuição em tecidos vegetais, resistente ao calor e de determinação quantitativa simples e rápida; embora sua

correlação com qualidade possa ser questionável e sua regeneração possível. A lipoxigenase é uma boa evidência para suportar o desenvolvimento de “off-flavor” e perda de cor, no entanto métodos rápidos são inviáveis ou não utilizados, métodos espectrofotométricos sofrem interferências, polarográficos podem não ser sensíveis e a oxidação lipídica também pode ocorrer não enzimaticamente.

Adams (1991) discute três aspectos fundamentais da inativação enzimática durante processamentos térmicos: considerações estruturais e de termodinâmica e cinéticas de inativações. A relação entre atividade enzimática e variações específicas de qualidade são conhecidas em vários alimentos. Rápidas mudanças na qualidade podem ocorrer quando o tratamento térmico empregado ao alimento é insuficiente para causar completa inativação de todas as enzimas. Com base nestas ponderações, amostras de aveia laminada integral e gérmen de trigo foram caracterizadas e a atividade da lipase e peroxidase medidas. Foi utilizado um delineamento fatorial completo, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta, para estudar os efeitos dos fatores “temperatura” e “tempo” na inativação das enzimas e para a determinação das condições ótimas de redução de atividade da lipase e peroxidase no gérmen de trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Matéria-prima

Amostras de aveia laminada integral e gérmen (produto natural inalterado da moedura do trigo) foram obtidas de uma distribuidora de alimentos naturais (Natu's Alimentos Naturais - Hortolândia, Brasil).

2.2. Métodos

2.2.1. Composição centesimal aproximada

Foram realizadas as seguintes análises químicas nas matérias-primas utilizadas: umidade, extrato etéreo, proteína, cinzas, segundo AOAC (1997); e fibra dietética total, pelo método enzimático Sigma TDF-100A Kit (2000).

2.2.3. Atividade de lipase

As amostras de aveia integral laminada e gérmen de trigo foram desintegradas em moinho A 10 Analysenmuhle (Janke & Kunkel-IKA Labortechnik). Atividade de lipase foi medida através de método usado por Kaur, Ramamurthy e Kothari (1993). Um grama de amostra foi diluída em 6 mililitros de substrato, solução 33,33% de óleo de oliva em tampão fosfato 0,2M, pH 7,4 adicionada de 2,0g de álcool polivinílico (Sigma Chemical Co. - St. Louis, Missouri) e 0,4g de desoxilato de sódio (Sigma Chemical Co. - St. Louis, Missouri), misturados em liquidificador por 2,5 minutos. A reação se deu durante incubação a 38°C por 24 horas e foi paralisada com adição de 20 mililitros de solução acetona:álcool etílico (1:1) neutralizada. A quantidade de ácidos graxos liberados como resultado da lipólise foi estimado, em triplicata, pela titulação da mistura da reação contra solução padronizada de NaOH 0,1N. Lipólise foi calculada com base no índice de saponificação (conteúdo total de gordura ionizável).

2.2.4. Atividade de peroxidase

A atividade da peroxidase foi medida por espectrofotometria de acordo com Ekstrand, Gangby e Akesson (1992), com algumas modificações. 0,25 miligramas de amostra desintegrada foram dissolvidas em 25 mililitros de solução tampão Tris (hidroximetil) aminometano - HCl, 0,2M, pH 8,5, seguido de agitação por 10 minutos com agitador magnético e centrifugação a 3000rpm por 15 minutos. 0,5 mililitros do sobrenadante foram misturados com 3,0 mililitros de substrato (guaiacol 50mM + 5% de etanol em solução tampão acetato de sódio 0,05M, pH 5,0) e a reação iniciada com 7,0 microlitros de 2,5mM de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) na própria cubeta. Depois de inversão rápida da cubeta, fez-se a leitura a 420nm. Foram realizadas triplicatas de cada amostra em leituras a intervalos de 5 minutos.

2.2.5. Tratamento térmico

As amostras de gérmen de trigo tiveram seus teores de umidade aumentados a 28%. Para tanto, foi determinado o teor inicial de umidade do gérmen e aspergido água sobre as amostras até o peso correspondente. As amostras umedecidas foram distribuídas em bandejas numa proporção de 0,1 g/cm² e então submetidas aos tratamentos térmicos em estufa. As determinações de umidade foram realizadas analisador de umidade por Infra-vermelho IV 2000 (Gehaka - São Paulo, Brasil).

Foi utilizado um delineamento fatorial completo, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis independentes foram: 1-temperatura; 2-tempo, resultando num experimento composto de 11 ensaios, cujas condições (níveis codificados) estão apresentados na *Tabela 2*. Os níveis decodificados de cada variável apresentam-se na *Tabela 3*; a escolha das faixas experimentais utilizadas baseou-se em resultados obtidos de ensaios preliminares. Realizaram-se as determinações da atividade da lipase e peroxidase nas amostras *in natura* e após os tratamentos.

2.2.6. Análise dos dados

O tratamento térmico mais eficiente na inativação das enzimas foi determinado através dos gráficos de contorno e da descrição matemática do processo obtidos do programa Statistica 5.0 (Statsoft Inc., 1995). Para a comparação entre os tratamentos e o produto *in natura*, foi utilizado o método de análise de variância (ANOVA) e aplicados o teste F, e teste Tukey de comparação de médias ($p \leq 0,05$), através do sistema estatístico SAS (1993).

TABELA 3. Níveis codificados das variáveis independentes para os ensaios de inativação enzimática em gérmen de trigo

Nºdo Ensaio	Tempo	Temperatura
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	-1,41	0
9	+1,41	0
10	0	-1,41
11	0	+1,41

TABELA 4. Níveis decodificados das variáveis independentes para os ensaios de inativação enzimática em gérmen de trigo

Níveis codificados	Níveis decodificados	
	Tempo (min)	Temperatura (°C)
-1,41	6	144
-1	8	150
0	12	165
1	16	180
+1,41	18	186

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Tabela 4* mostra a composição centesimal aproximada do gérmen de trigo e aveia laminada integral.

TABELA 4. Composição centesimal aproximada de gérmen de trigo e aveia laminada integr

Composição (%)	Gérmen de trigo	Aveia integral
Proteína	35,320 ± 0,178*	14,507 ± 0,097**
Extrato etéreo	10,571 ± 0,029	7,847 ± 0,069
Cinzas	4,582 ± 0,186	1,805 ± 0,001
Fibras totais	12,778 ± 0,003	10,387 ± 0,001
Fibras insolúveis	10,409 ± 0,004	7,780 ± 0,001
Fibras solúveis	2,369 ± 0,006	2,607 ± 0,002
Umidade	10,997 ± 0,192	9,421 ± 0,091
Carboidratos [†]	25,752 ± 0,192	56,033 ± 0,097

Dados representam média de três replicatas ± estimativa do desvio padrão

*Proteína, % (N x 5,7)

**Proteína, % (N x 6,25)

[†] Calculado por diferença (100 – proteínas – extrato etéreo – cinzas – fibras totais – umidade).

Verificou-se que os valores encontrados para a composição centesimal aproximada do gérmen de trigo e aveia são semelhantes aos dados encontrados por Sidhu, Al-Hoot e Al-Saqer (1999) e Hart (2001) (*Tabela 1*), respectivamente. A amostra de gérmen de trigo apresentou maior teor protéico e a aveia laminada integral apresentou menor teor de fibras totais e solúveis que a cariopse de aveia. O valor para fibras insolúveis da aveia se mostrou semelhante ao encontrado pelo mesmo autor.

A atividade enzimática de lipase e peroxidase foi determinada na matéria-prima e está apresentada na *Tabela 5*.

TABELA 5. Atividade de lipase e peroxidase de amostras de gérmen de trigo e aveia laminada integral

	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (abs/min.g)
Gérmen de trigo	20,117	17.283,78
Aveia laminada integral	2,079	9,066

Dados representam média de duas replicatas.

Hart (2001), observou valores de 16,68% de hidrólise na atividade da lipase e de 5.630,0 abs/min.g na atividade da peroxidase para cariopses de aveia *in natura*. Após tratamentos hidrotérmicos de temperaturas entre 70 e 100°C, a atividade residual da lipase variou entre 0,81 e 1,48% e a atividade residual da peroxidase entre 0,84 e 6,04 abs/min.g. Os resultados obtidos (*Tabela 5*) mostram atividades de lipase e peroxidase na aveia laminada compatíveis à cariopse de aveia tratada hidrotermicamente, indicando que no processo de obtenção da aveia laminada integral foram realizadas as etapas de limpeza, descascamento, corte e tratamento térmico antes do embalamento, segundo fluxograma sugerido por Gutkoski e Pedó (2000). Para as amostras de gérmen de trigo *in natura*, porém, os resultados da atividade da lipase e peroxidase se mostraram elevados.

Considerando a elevada atividade da lipase e peroxidase no gérmen de trigo, foi utilizado um delineamento fatorial completo para o estudo da inativação das enzimas lipase e peroxidase no gérmen de trigo. As respostas experimentais dos tratamentos estão apresentadas na *Tabela 6*. A partir das respostas, foram construídos os gráficos de contorno e de superfície de resposta (*Figura 1*) que ilustram os modelos para determinação de um tratamento térmico eficiente na inativação das enzimas lipase e peroxidase.

TABELA 6. Atividade de lipase e peroxidase em amostras de gérmen de trigo submetidas a diferentes tratamentos térmicos (tempo x temperatura) em estufa

Nº do Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (abs/min.g)
1	8	150	16,533 ^c	5480,620 ^b
2	16	150	16,481 ^{ca}	831,250 ^d
3	8	180	12,980 ^e	30,400 ^e
4	16	180	13,157 ^{de}	65,873 ^e
5	12	165	16,752 ^c	134,285 ^e
6	12	165	16,353 ^c	136,965 ^e
7	12	165	16,889 ^c	124,242 ^e
8	6	165	18,635 ^{ab}	120,622 ^e
9	18	165	15,778 ^c	163,385 ^e
10	12	144	17,254 ^{cab}	3582,470 ^c
11	12	186	16,272 ^{cd}	26,254 ^e
Matéria-prima			20,117 ^a	17.283,78 ^a

Dados representam média de três replicatas

Médias seguidas de letras diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre si, ao nível de 95% confiança ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos na determinação da atividade residual da lipase (*Tabela 6*) mostram que os tratamentos 2 (150°C/16 min), 8 (165°C/6 min) e 10 (144°C/12 min) não diferiram estatisticamente da amostra *in natura*, enquanto que os tratamentos que aplicaram maiores temperaturas (180 e 186°C) diferiram ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos apresentando uma redução de 20,117% para a faixa de 12,98 a 15,77% de hidrólise.

Observando os valores da atividade residual de peroxidase (*Tabela 6*), verificou-se que todos os tratamentos diferiram da matéria-prima, porém, somente os tratamentos 1, 2 e 10, que aplicaram temperaturas de 150 e 144°C, diferiram das demais apresentando maiores médias. As menores médias obtidas pelos tratamentos intermediários e mais severos não diferiram entre si, mas os menores valores de atividade de peroxidase foram conseguidos com tratamentos que utilizaram temperaturas de 180 e 186°C variando de 8,0 a 16,0 minutos.

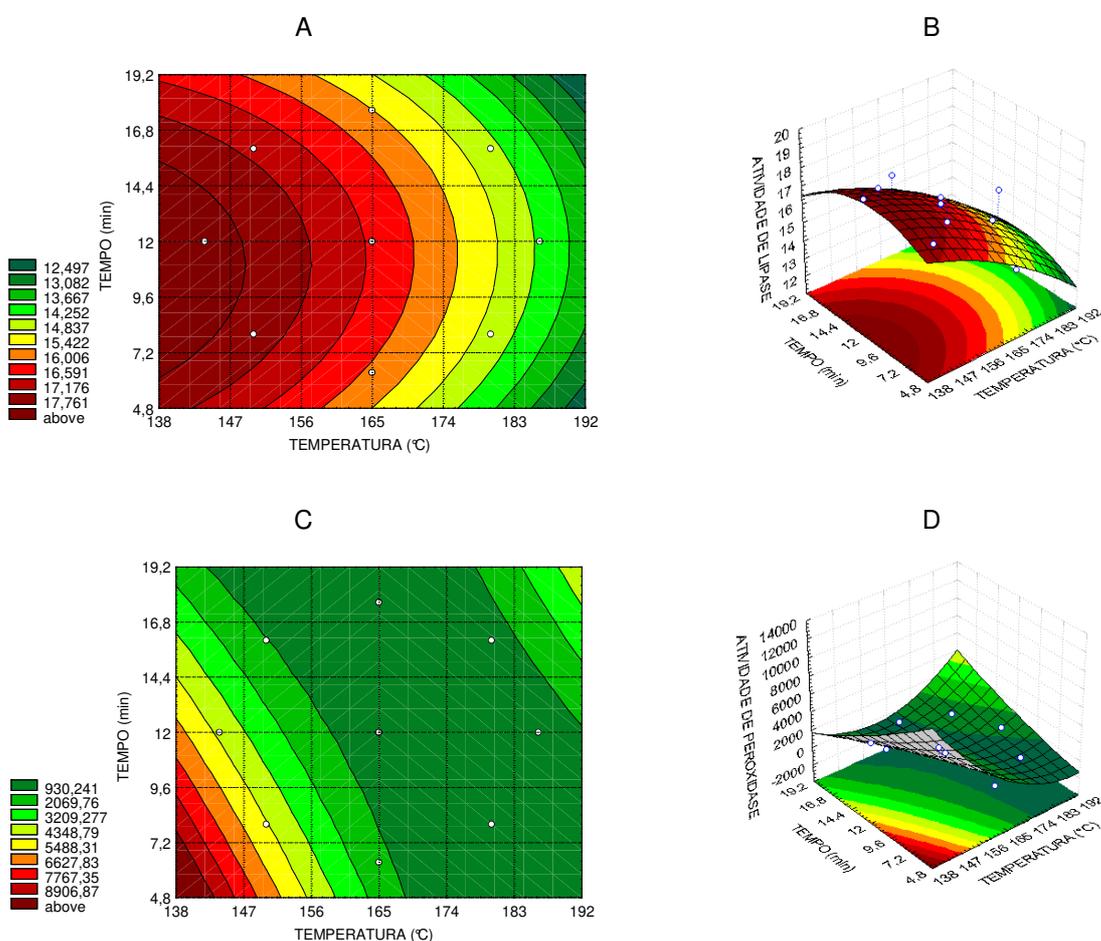


Figura 1. Gráfico de contorno (A) e superfície de resposta (B) referentes à atividade de lipase; gráfico de contorno (C) e superfície de resposta (D) referentes à atividade de peroxidase em amostras de gérmen de trigo submetidas a diferentes tratamentos térmicos.

Os efeitos dos fatores tempo e temperatura do tratamento térmico no gérmen de trigo, lineares, quadráticos e interação entre eles na atividade de lipase e peroxidase podem ser observados nas *Tabela 7* e *Tabela 8*, respectivamente.

TABELA 7. Efeito estimado, erro puro e grau de significância das variáveis tempo e temperatura na atividade residual de lipase em gérmen de trigo

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística (p)
Temperatura (L)	-2,7311*	0,1496	0,0029
Temperatura (Q)	-0,4075	0,1781	0,1494
Tempo (L)	-0,3164	0,1496	0,1587
Tempo (Q)	-0,8475*	0,1781	0,0414
Interação (L)	0,11	0,2116	0,6550

*Valores significativos ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$)

L: termo linear

Q: termo quadrático.

TABELA 8. Efeito estimado, erro puro e grau de significância das variáveis tempo e temperatura na atividade residual de peroxidase em gérmen de trigo

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística (p)
Temperatura (L)	-1538,7820*	4,5473	$8,73 \times 10^{-6}$
Temperatura (Q)	325,2775*	5,4124	0,000277
Tempo (L)	-2410,7886*	4,5473	$3,55 \times 10^{-5}$
Tempo (Q)	1987,6375*	5,4124	$7,41 \times 10^{-6}$
Interação (L)	2342,42*	6,4309	$7,53 \times 10^{-6}$

*Valores significativos ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$)

L: termo linear

Q: termo quadrático.

Na análise de variância, através do teste F, verificou-se a significância da regressão dos modelos em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Na *Tabela 9* e *Tabela 10* encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

TABELA 9. Análise de variância do modelo para atividade residual de lipase em gérmen de trigo ($R^2 = 0,77$)

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	24,73677	2	12,3683	40,21*	4,46
Resíduo	2,46088	8	0,3076		
Falta de Ajuste	2,37128	6	0,3952		
Erro Puro	0,0896	2	0,0448		
Total	27,19765	10			

*Valores significativos ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$)

**Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$

SQ: Soma Quadrática

GL: Grau de Liberdade

MQ: Média Quadrática.

TABELA 10. Análise de variância do modelo para atividade residual de peroxidase em gérmen de trigo ($R^2 = 0,82$)

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	32573270,84	5	6514654,16	44,24*	5,05
Resíduo	736199,47	5	147239,89		
Falta de Ajuste	736116,75	3	245372,25		
Erro Puro	82,7142	2	41,3571		
Total	33309470,31	10			

*Valores significativos ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$)

**Valores tabelados de F a $p \leq 0,05$

SQ: Soma Quadrática

GL: Grau de Liberdade

MQ: Média Quadrática.

Os valores na coluna dos efeitos (*Tabela 8*) indicam quanto cada fator influi na atividade residual das enzimas lipase e peroxidase. Observou-se que na atividade residual da lipase os termos temperatura (L) e tempo (Q) se mostraram significativos ($p \leq 0,05$), sendo a temperatura o fator de maior importância. Já na atividade residual da peroxidase (*Tabela 9*), todos os fatores lineares e quadráticos de temperatura e tempo tiveram efeitos significativos, sendo a temperatura e tempo (Q) os fatores que melhor explicam o comportamento dos resultados. Segundo Ekstrand, Gangby e Akesson (1992), que realizaram um estudo com amostras de aveia secas a diferentes temperaturas (ambiente, 40, 60 e 80°C), a atividade de lipase diminui conforme se aumenta a temperatura, mas somente em temperaturas mais elevadas (60-80°C) a mudança é considerável. A atividade de peroxidase também foi medida e permaneceu constante, mostrando maior estabilidade térmica desta enzima em temperaturas inferiores a 80°C.

Dentre os tratamentos, pôde-se observar que os tratamentos 4 e 3, que aplicaram 180°C por 16,0 e 8,0 minutos, proporcionaram os menores valores para a atividade residual de lipase e peroxidase no gérmen de trigo. O tratamento 11 (165°C/18 min), o qual submeteu as amostras a uma temperatura mediana em tempo mais prolongado, também conseguiu significativa ($p \leq 0,05$) redução, porém acrescentou as amostras de gérmen de trigo cor escura e odor ligeiramente queimado.

Para a determinação das condições ótimas foram feitas sobreposições dos gráficos de contorno (*Figura 1*) a fim de se obter uma área em que a resposta (no caso, redução de atividade de lipase e peroxidase) fosse máxima. Assim, uma região entre 170 e 192°C foi descrita como ótima para a redução da atividade de peroxidase, podendo-se variar o tempo em toda faixa trabalhada. Outra área, mais restrita, determinou uma faixa entre 180 e 190°C de 4,8 a 8,0 minutos, sendo esta a de redução máxima na atividade de lipase.

O desenvolvimento de rancidez e o aparecimento de “off flavors” e “off colors” ocorrem durante a estocagem de produtos formulados com cereais como

aveia e gérmen de trigo. A lipase é principalmente destruída por processos de tratamento térmico, mas isto não significa que a concentração de ácidos graxos livres não pode aumentar, mas que os efeitos da lipase terão implicações mais tardias aos processos de produção. A completa inativação da peroxidase não é necessária para prevenir “off flavors” em alimentos, mesmo em longos períodos de estocagem (3-5 anos a 17°C), contanto que grande parte da atividade inicial seja destruída (EKSTRAND, GANGBY e AKESSON, 1992; BURNETTE, 1977).

4. CONCLUSÃO

Tanto para a atividade residual da lipase, como para a da peroxidase, o fator “temperatura” do tratamento térmico se mostrou mais relevante que o fator “tempo”.

Foram obtidas reduções significativas ($p \leq 0,05$) na atividade residual da lipase e peroxidase, principalmente nos tratamentos que aplicaram 180°C por 16,0 e 8,0 minutos, resultando numa redução de 20,11 para 12,98% de hidrólise na atividade de lipase e 17.283,78 para 30,40 (abs/min.g) na atividade de peroxidase, o que indica que a qualidade do produto pode ser mantida durante o armazenamento mesmo detectada alguma atividade residual das enzimas.

Para a inativação das enzimas lipase e peroxidase no gérmen de trigo, foram determinadas como condições ótimas tratamentos térmicos à temperatura de 180 a 190°C, com duração de 4,8 a 8,0 minutos, nas condições de umidade inicial da matéria-prima (28%) e de secagem deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. B. Review: Enzyme inactivation during heat processing of food-stuffs. **International Journal of Food Science and Technology**, v.26, n.1, p.1-20, 1991.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. 1997. v.2

BARRET, D. M.; THEERAKULKAIT, C. Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables. **Food Technology**, v. 49, n.1, p.62-65, jan, 1995.

BURNETTE, F. S. Peroxidase and its relationship to food flavor and quality: a review. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 1, p.1-6, 1977.

EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. Lipase activity in oats – Distribution, pH dependence, and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 4, p. 379-381, 1992.

GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J. C.; HAMILTON, R. J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science Publishers, 1983. p.109-130.

GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia- composição química, valor nutricional e processamento**. 1 ed. São Paulo: Varela, 2000. 96 p.

HART, F. **Caracterização química da cultivar UPF 18 e estudo das farinhas estabilizadas termicamente por vapor e água quente**. 2001. 109 p. Tese (Mestre em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

KAUR, J.; RAMAMAURTHY, V.; KOTHARI, R. M. Characterization of oat lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, v. 15, n. 3, p. 257-262, mar, 1993.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Wesport: Food and Nutrition Press, Inc., 1982.

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. 3 ed. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.2

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1971. v.3

SAS Institute. **SAS User's Guide: statistics**. Cary, USA: SAS Inst., 1993.

SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO LATINO AMERICANO SOBRE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS E GORDURAS, 1995, Campinas. **Anais**. Campinas: R. Vieira, 1995. p.47-54.

SHUKLA, T. P. Chemistry of oats: proteins foods and other industrial products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 4, p. 383-431, 1975

SIDHU, J. S.; AL-HOOT, S. N.; AL-SAQER, J. M. Effect of adding wheat brain and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. **Food Chemistry**, v. 67, p.365-371, 1999.

SIGMA. **Total Dietary Fiber Assay Kit**. Technical Bulletin N^oTDFAB-3, Jun, 2000

StatSoft, Inc. (1995). **STATISTICA for Windows [Computer program manual]**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

WASZCZYNSKY, N. J. **Extração de proteínas do farelo de trigo com aplicação de enzimas**. Londrina. 1979. Tese (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1979.

WILLIAMS, D. C.; LIM, M. H.; CHEN, A. O.; PANGBORN, R. M.; WHITAKER, J. R. Blanching of vegetables for freezing – Which indicator enzyme to choose. **Food Technology**, v. 40, n. 6, p.130-140, 1986.

YOUNGS, V. L. Oat lipids and lipid-related enzymes. In: WEBSTERS, F. H. **Oats chemistry and technology**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1986. p.205-226.

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS DE ALTO TEOR PROTÉICO E VITAMÍNICO À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

Artigo submetido à revista Ciência e Tecnologia de Alimentos

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS DE ALTO TEOR PROTÉICO E VITAMÍNICO À BASE DE PROTEÍNA DE SOJA TEXTURIZADA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

¹ Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Rua Monteiro Lobato, s/n, Campinas-SP, CP 6121, CEP 13083-862, degrandi@fea.unicamp.br

RESUMO

Barras de cereais foram introduzidas no mercado há cerca de uma década como uma alternativa “saudável” de confeito, quando consumidores se mostravam mais interessados em saúde. A soja, a lecitina de soja, o germen de trigo, a aveia e antioxidantes como tocoferol e ácido ascórbico, podem prevenir contra doenças do coração e crônico-degenerativas e vêm recebendo grande aplicação em alimentos funcionais. Considerando-se o crescimento do segmento de barra de cereais no setor de alimentos, teve-se como objetivos desenvolver uma formulação de barra de cereais sabor banana com alto teor protéico, a base de proteína de soja, germen de trigo e aveia, suplementada de vitaminas C (ácido ascórbico) e fortificada com vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%); determinar a sua caracterização e o grau de aceitação sensorial do produto. A barra de cereais e seus principais ingredientes foram submetidos a análises físico-químicas para caracterização e três formulações variando o teor de ácido ascórbico foram avaliadas quanto à aceitação sensorial e intensidade ideal de doçura e acidez. A proteína de soja texturizada utilizada apresentou elevados teores dos oligossacarídeos rafinose e estaquiose (1,92g/100g e 4,66g/100g) e de isoflavonas totais (283,49mg/100g) se comparados ao grão, farinha integral e isolado protéico. A formulação final da barra de cereais apresentou 15,31% de

proteína e elevado teor de vitamina E (118,0mg/100g) e minerais como fósforo (P), cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). A formulação adicionada de 1,1g/100g de ácido ascórbico obteve maior aceitação sensorial diferindo significativamente das demais amostras ($p \leq 0,05$).

Palavras-chave: barra de cereais, proteína de soja, gérmen de trigo, aceitação sensorial.

SUMMARY

Cereal bars were introduced over a decade ago as a “healthy” alternative of confectionery, at a time when consumers were showing increased health. The soybean, the soy lecithin, the wheat germ, oat and antioxidants substances as tocoferol and acid ascorbic, can to prevent against chronic-degenerative illnesses of the heart and come receiving great application in functional foods. Considering the growth of the segment of cereal bars in the food sector, it was had as objective to develop a formulation based on textured soy protein, wheat germ and oat of high-protein cereal bar, supplemented with vitamins C (acid ascorbic) and fortified with vitamin E (acetate of α -tocoferol 50%), to determinate its characterization and the degree of sensorial acceptance of the product. The cereal bar and its main ingredients had been submitted the chemical and physical analyses for characterization and three formulations varying the content of acid ascorbic had been evaluated to the sensorial acceptance and ideal intensity of sweetness and acidity. The textured soy protein used presented high levels of oligosaccharides raffinose and stachiose (1,92g/100g e 4,66g/100g) and of total isoflavones (283,49mg/100g) if compared with the grain, integral flour and isolated protein. The final formulation of the cereal bar presented 15.31% of protein and high vitamin E content (118,0mg/100g) and minerals such as phosphorus (P), calcium (Ca), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). The formulation added of 1,1g/100g of acid ascorbic got greater significantly sensorial acceptance differing from the other samples ($p \leq 0,05$).

Key words: cereal bar, soy protein, wheat germ, sensorial acceptance.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação por uma alimentação saudável que, além de alimentar promova a saúde, coloca a soja na lista de preferência de um número cada vez maior de consumidores brasileiros. Concomitantemente, algumas tendências bem documentadas no setor de alimentos beneficiam o mercado de barra de cereais como, por exemplo, a associação entre barra de cereais e alimentos saudáveis (BOUSTANI e MITCHELL, 1990).

Barra de cereais foram introduzidas há cerca de uma década como uma alternativa “saudável” de confeito, quando consumidores se mostravam mais interessados em saúde e dietas (BOWER e WHITTEN, 2000). Alternativa saudável às barras de chocolate, o produto foi direcionado no Brasil inicialmente aos adeptos de esportes radicais, e com o tempo, conquistou até outros profissionais como executivos. Empresas como a Nutrimental, Gran Mills e Nestlé disputam um mercado de 80 milhões de reais (BARBOSA, 2001). Atualmente, enquanto no Brasil consome-se US\$ 4 milhões de barras de cereais por ano, os Estados Unidos dão conta de US\$ 2,9 bilhões, sendo que o consumo americano cresceu cerca de 40% nos últimos dois anos (FRANCAL FEIRAS, 2003). Segundo Palazzolo (2003), o catalisador para o crescimento no segmento de barra de cereais nos Estados Unidos a partir da última década foram produtos inovadores focados em conveniência e saúde. Pehanich (2003) reportou que barras nutricionais e energéticas vêm ganhando o mercado consumidor nos segmentos “diet”, “para mulheres”, “atletas de fim de semana”, “esportistas”, e outros.

A soja é rica em proteínas, possui isoflavonas e outras substâncias capazes de atuar na prevenção de doenças crônico-degenerativas. Epidemiologistas focalizaram sua atenção na soja e seus derivados porque as taxas de problemas cardiovasculares, sintomas decorrentes da menopausa, câncer de mama, próstata e osteoporose, entre outros, eram muito menores em países orientais do que as taxas de países ocidentais, com baixo consumo de fitoestrógenos (isoflavonas) da soja. A atividade das isoflavonas é semelhante aos hormônios femininos, considerados vitais para a saúde da mulher. Quando ingeridos, os fitoestrógenos

da soja sofrem transformação estrutural no decorrer da digestão e são convertidos numa forma fraca de estrógeno. As isoflavonas tem capacidade de normalizar os níveis de estrógenos circulantes, quer estejam altos ou baixos. Acredita-se que a menor incidência de sintomas da menopausa, osteoporose e cânceres estrógeno-dependentes nessa população esteja relacionada com a ingestão de isoflavonas, contidas principalmente na soja (YAMAKOSHI et al., 2000; HOLDER; CHURCHWELL; DOERGE, 1999; CHANG et al., 2000; MAHUNGU et al., 1999). As isoflavonas podem também agir na redução da incidência de doenças do coração e nas disfunções das taxas colesterolêmicas (RODRIGUES, 2003).

As experiências pessoais de um grande número de químicos, médicos e outros, assim como Rinse [s.d.], sugerem que a aterosclerose é uma doença de deficiência, que pode ser combatida eficientemente com o uso de suplementos alimentares, em particular, lecitina de soja e óleos essenciais. A aterosclerose é um distúrbio metabólico pelo qual o depósito de colesterol e derivados nas paredes arteriais causam complicações arterioscleróticas, tais como enfarte cardíaco, trombose cerebral, alta pressão sanguínea, e outras. O maior problema da aterosclerose é manter o colesterol em solução e dissolver seus depósitos nas paredes venosas e a lecitina polinsaturada dissolve depósitos de colesterol nas paredes arteriais. Small (1968) investigou a fase de equilíbrio no sistema colesterol - lecitina - sais biliares - água. Ele relata que o colesterol é solúvel nas fases homogêneas somente se existem quantidades suficientes de lecitina, e se esta contém quantidades suficientes de linoleato, de tal maneira a fazer com que o complexo com colesterol se funda na temperatura do corpo ou abaixo.

Outro fator importante para o favorecimento da aterosclerose é a oxidação das lipoproteínas do sangue. Lipídios polinsaturados oxidam-se facilmente, especialmente no meio do sangue arterial, rico em oxigênio. A hipótese entre oxidação e aterosclerose implica que antioxidantes são capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas na parede arterial e então retardar a aterogênese. Muitos estudos animais vêm usando altas doses de antioxidantes, mostrando ser efetivos agentes antiateroscleróticos quando dados em doses farmacológicas

(DJAHANSOUZI et al., 2001; VEINBERGS et al., 2000; KHOR e NG, 2000; ISMAIL et al., 2000). Vitamina E e vitamina C são considerados os mais importantes nutrientes antioxidantes e sua deficiência está associada com o aumento de riscos de doenças coronárias (SALONEN et al., 2000). A vitamina E (tocoferol) é o principal antioxidante lipossolúvel nas membranas celulares. Protege contra a oxidação lipídica por atuar diretamente sobre radicais livres derivados do oxigênio, oxigênio "singlet", produtos de lipoperóxidos, e radical superóxido, formando radical tocoferol inócuo. A vitamina C interage com o tocoferol, regenerando o tocoferol reduzido e, desta forma, a relação vitamina C:vitamina E pode ser biologicamente mais importante que os níveis absolutos de vitamina C (STAVRIC, 1994; CLARKSON, 1995).

Os subprodutos das fábricas de farinha de trigo, os quais incluem várias formas de fibras (ou farelo), o gérmen, e os resíduos da etapa de "limpeza" ("cleaning house" ou "screen room"), representam cerca de 25% do grão e são considerados economicamente significantes. Tradicionalmente, as camadas externas do grão têm sido destinadas para a alimentação animal. Isso pode ser explicado pelo elevado teor de fibras de sabor amargo, e pela susceptibilidade à rancidez. No entanto, representam um total de 20% do trigo, dos quais 16 a 17% são proteínas (WASZCZNSKY, 1979). O valor nutritivo das proteínas do farelo é superior ao da proteína do endosperma. As gorduras são altamente insaturadas, e o teor de minerais e vitaminas é elevado (POMERANZ, 1971).

Considerando-se que o consumo de barras de cereais vem ganhando grande espaço no mercado, principalmente por ser um alimento saudável e prático, e visando o aproveitamento de ingredientes cada vez mais usados em alimentos funcionais, este trabalho teve como objetivos: a elaboração e caracterização de uma formulação de barra de cereais sabor banana, com alto teor protéico, à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, incluindo ingredientes como lecitina de soja, vitamina C e vitamina E, e realizar a avaliação sensorial do produto quanto a sua aceitação perante os consumidores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Foram utilizados os seguintes ingredientes para a formulação da barra de cereais: proteína texturizada de soja MAXTEN R-120 (Bunge Alimentos S/A, Esteio – RS); gérmen de trigo torrado e aveia laminada integral (Natu's Alimentos Naturais, Hortolândia – SP); lecitina de soja LECSAM L (Bunge Alimentos S/A, Esteio – RS); banana desidratada (Naturama Produtos Naturais Ltda., Campinas – SP); ácido ascórbico e vitamina E 50% tipo CWS/F (Roche Vitaminas Brasil Ltda., São Paulo – SP); xarope de glicose de milho EXCELL tipo 1040 e Malto-dextrina MOR REX 1910 (Corn Products Brasil, Balsa Nova – PR); gordura vegetal hidrogenada Primor (Bunge Alimentos S/A, São Paulo – SP).

2.2. Métodos

2.2.1. Processamento

A preparação do xarope de aglutinação se deu em recipiente de aço inoxidável, onde os ingredientes pesados foram adicionados e aquecidos sob agitação, com acompanhamento do teor de sólidos solúveis totais em refratômetro digital, até a obtenção de um xarope de 85-89°Brix. Os ingredientes secos foram pesados e misturados ao xarope de aglutinação à temperatura em torno de 95°C, seguida de enformagem e prensagem, para a obtenção de forma. Após resfriamento, as barras de cereais foram desenformadas e cortadas em tamanhos retangulares, de peso constante de 25 gramas cada unidade. As barras de cereais foram então acondicionadas individualmente em embalagens de filme flexível.

2.2.2. Caracterização da matéria-prima e da barra de cereais funcional

Composição centesimal aproximada: As principais matérias-primas utilizadas (proteína de soja texturizada, aveia integral e gérmen de trigo) e a barra de cereais funcional foram submetidas a análises físico-químicas para a determinação de sua composição centesimal aproximada: determinação de

proteínas, método de Kjeldal por AOAC (1997); determinação de matéria graxa, método de Soxhlet por AOAC (1997); determinação de umidade, método descrito pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1976); determinação de cinzas, método descrito por AOAC (1997); determinação de fibras, método enzimático descrito em Sigma Technical Bulletin (2000) e atividade de água em equipamento AQUA Lab CX 2. Foram realizadas as análises de macro e micro minerais da barra de cereais, segundo Sarruge e Haag (1974).

Sacarose e Oligossacarídeos em proteína texturizada de soja: os açúcares sacarose, rafinose e estaquiose foram extraídos e determinados por HPLC segundo Vidal-Valverde, Frias e Valverde (1993). Foi utilizada coluna Shim-Pack CLCNH2 (250mm) e detector de índice de refração. Acetonitrila:água (75:25) foi utilizada como fase móvel num fluxo de 1,0ml/min. Todas as soluções foram filtradas em filtro millex 0,45µm. Foram utilizados padrões sacarose, rafinose e estaquiose Sigma Chemical Co. (St. Louis, Missouri).

Isoflavonas em proteína texturizada de soja: foram extraídas a partir de 100 mg de amostra de proteína moída, colocados em tubos de ensaio com 4,0ml de etanol 70% contendo 0,1% de ácido acético e deixados à temperatura ambiente por 5 horas, com agitação a cada 15 minutos. Após centrifugação de 1,5ml da mistura por 10 minutos a 13.346 g a 10°C, o sobrenadante foi analisado por HPLC. Foi utilizada coluna de fase reversa YMC-Pack ODS-C-18 (4,6 x 250 mm) e o efluente foi monitorado por detector UV a 260nm. A fase móvel foi acetonitrila com 0,1% de ácido acético (A) e água com 0,1% de ácido acético (B). As condições iniciais foram 20% do solvente B, em gradiente linear, passando para 50% depois de 20 minutos. Todas as soluções foram filtradas em filtro millex 0,45µm. Foram utilizados padrões daidzeína, genisteína, daidzina e genistina Sigma Chemical Co. (St. Louis, Missouri).

Determinação de tocoferóis totais (Vitamina E): os tocoferóis totais foram determinados em amostras de gérmen de trigo, gérmen de trigo torrado e lecitina de soja segundo Contreras Guzmán e Strong (1982). O conteúdo de vitamina E na

barra de cereais foi extraído a partir de 2,5g de amostra de barra de cereais previamente congelada e reduzida em moinho em 25,0ml de dimetilsulfóxido (DMSO) em agitação magnética por 20 minutos. Foi adicionado 50,0ml de hexano seguido de agitação por 15 minutos. A fase superior foi transferida e evaporada, dissolvida em 10,0ml de metanol, filtrada em filtro millex de 45,0µm e 20,0µL injetado no HPLC, segundo Leenheer; Lambert e Ruyter (1985). Foi utilizada Coluna ODS 2 (150 x 4,6mm) e detector UV a 280nm . A fase móvel foi metanol HPLC 100% a 2,0ml / min. Foi utilizado padrão vitamina E 50% tipo CWS/F (Roche Vitaminas Brasil Ltda).

2.2.3. Avaliação Sensorial

Amostras de um terço de barra de cereais foram apresentadas aos consumidores à temperatura ambiente em códigos de 3 dígitos. A ordem de apresentação foi balanceada randomicamente através do delineamento de uma tabela de números. A avaliação sensorial foi realizada por uma equipe de 45 indivíduos não treinados, estudantes da Universidade Estadual de Campinas familiarizados com testes sensoriais, de ambos os sexos e idade entre 20 e 40 anos, representativos do público consumidor. O procedimento se deu em uma sala de avaliação sensorial com cabines individuais, sob luz branca equivalente a luz do dia. A sessão foi conduzida apresentando-se três amostras de barra de cereais correspondentes às três diferentes formulações que variaram o teor de ácido ascórbico em 2,0g/100g (amostra A); 1,1g/100g (amostra B); e 0,2g/100g (amostra C), apresentadas monadicamente. Escalas hedônicas não estruturadas de nove pontos que abrangiam “desgostei muitíssimo” a “gostei muitíssimo” foram utilizadas no teste de aceitação das barras de cereais conforme Moraes (1990). A intensidade de ideal de doçura e ideal de acidez foi avaliada através de escala estruturada (-4-extremamente menos doce/ácido que o ideal; +4- extremamente mais doce/ácido que o ideal). A ficha de avaliação está apresentada na *Figura 1*.

NOME: _____ E-MAIL: _____ DATA: _____

Você está recebendo uma amostra codificada de BARRA DE CEREAIS de alto valor protéico SABOR BANANA. Por favor, avalie de acordo com cada atributo apresentado e assinale na escala correspondente, o quanto você GOSTOU ou DESGOSTOU da amostra.

Amostra N° _____

	Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
Em relação à aparência	_____	_____
Em relação à cor	_____	_____
Em relação ao sabor	_____	_____
Em relação à textura	_____	_____
Em relação à impressão global	_____	_____

Agora, prove novamente a amostra e, utilizando a escala abaixo, marque o quão próximo do ideal encontra-se a DOÇURA e a ACIDEZ da amostra.

DOÇURA	ACIDEZ
extremamente - doce que o ideal	extremamente - ácido que o ideal
muito - doce que o ideal	muito - ácido que o ideal
moderadamente - doce que o ideal	moderadamente - ácido que o ideal
ligeiramente - doce que o ideal	ligeiramente - ácido que o ideal
ideal	ideal
ligeiramente + doce que o ideal	ligeiramente + ácido que o ideal
moderadamente + doce que o ideal	moderadamente + ácido que o ideal
muito + doce que o ideal	muito + ácido que o ideal
extremamente + doce que o ideal	extremamente + ácido que o ideal

Comentários: _____

Figura 1. Ficha de avaliação utilizada no teste de aceitação e teste de ideal de doçura e acidez de barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana.

2.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram avaliados pelo método de análise de variância (ANOVA) e aplicados o teste F, com comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), através do programa estatístico SAS (1993).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Formulação da barra de cereais com elevado teor protéico

Após uma seqüência de testes para estabelecer as proporções dos ingredientes, obteve-se a formulação final da barra de cereais sabor banana utilizando-se os ingredientes: proteína texturizada de soja, gérmen de trigo, aveia em flocos, banana desidratada, açúcar integral, glicose de milho, malto-dextrina, lecitina de soja, gordura vegetal hidrogenada, glicerina. O produto foi fortificado com vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%) e suplementado com diferentes concentrações de vitaminas C (ácido ascórbico) (*Tabela 1*).

3.2. Caracterização da matéria-prima e da barra de cereais com elevadoo teor protéico

A formulação final da barra de cereais apresentou atividade de água de $0,63 \pm 0,017$ em média e sua composição centesimal, bem como das principais matérias-primas utilizadas estão apresentadas na *Tabela 2*. Os dados são médias de três replicatas.

TABELA 1. Formulações com diferentes concentrações de vitamina C (ácido ascórbico) de barra de cereais com elevado teor protéico

	<i>Formulação (g/100g)</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Xarope de aglutinação</i>			
Açúcar integral*	25,5	25,5	25,5
Xarope de glicose	12,5	12,5	12,5
Malto-dextrina	6,5	6,5	6,5
Glicerina	1,5	1,5	1,5
Gordura vegetal	1,5	1,5	1,5
Água	2,5	2,5	2,5
<i>Ingredientes secos</i>			
Proteína texturizada de soja	15,4	15,4	15,4
Gérmen de trigo torrado**	10,5	10,5	10,5
Aveia laminada integral	10,5	10,5	10,5
Lecitina de soja	4,5	4,5	4,5
Banana desidratada	6,8	7,7	8,6
Vitamina C (ácido ascórbico)	2,0	1,1	0,2
Vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%)	0,3	0,3	0,3

* mistura de açúcar cristal e melaço de cana na proporção de 95:5

** o gérmen de trigo teve seu teor de umidade ajustado para 28% e a torração foi realizada em estufa a 180°C por 8 minutos.

TABELA 2. Composição centesimal aproximada (% base úmida) das matérias-primas e da barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana

<i>Componente</i>	<i>Proteína texturizada de soja</i>	<i>Aveia</i>	<i>Gérmen de trigo</i>	<i>Barra de cereais</i>
Proteínas (N x 6,25)	53,41±0,127	14,50±0,097	35,32±0,178*	15,31±0,035
Matéria Graxa	0,36±0,005	7,84±0,069	10,57±0,029	5,64±0,05
Fibras Totais	15,30±0,001	10,38±0,001	12,77±0,003	5,17±0,004
Fibras Insolúveis	11,35±0,003	7,78±0,001	10,41±0,004	4,30±0,004
Fibras Solúveis	3,94±0,003	2,60±0,002	2,37±0,006	0,87±0,0007
Cinzas	6,45±0,039	1,80±0,001	4,58±0,186	2,20±0,009
Umidade	2,92±0,054	9,42±0,091	10,99±0,192	10,71±0,25
Carboidratos**	21,56	56,06	22,36	60,97

Dados representam média de três replicatas ± estimativa do desvio padrão

* Proteína, % (N x 5,7)

** teor de carboidratos calculado por diferença.

Verifica-se que os valores encontrados para a composição centesimal aproximada do gérmen de trigo são semelhantes aos dados encontrados por Marques (1992); Sidhu, Al-Hoot e Al-Saqer (1999) e Pomeranz (1988). O gérmen apresentou conteúdo de proteínas superior ao relatados pelos dois últimos autores, que variou em torno de 25 a 28%. A composição centesimal da aveia apresentou-se em concordância com a encontrada por Hart (2001). O conteúdo de proteínas e cinzas no texturizado de soja foi próximo ao encontrado em farinha de soja texturizada por Castellanos Molina (1977), que apresentou 51,0% de proteínas e 6,0% de cinzas.

A formulação final da barra de cereais apresentou em média 15,31% de proteína, teor relativamente superior e desejável em relação aos produtos encontrados no mercado (com valores médios de 4,4% de proteína). Apresentou também menor teor de carboidratos (60,97%) e maior conteúdo de fibras totais (5,17%) que os respectivos valores médios de 74,0% e 4,0% encontrados nos produtos no mercado. O conteúdo de matéria graxa apresentou-se satisfatório (5,64%) em relação aos produtos convencionais, que apresentam teores de 4,0% a 12,0 %. Estévez et al. (1995) manufaturaram barra de cereais contendo gérmen de trigo, aveia e nozes que apresentaram teores de proteínas e cinzas semelhantes (16,5% e 2,2% respectivamente), porém de menor conteúdo de fibras (3,3%). A descrição dos minerais presentes na formulação final da barra de cereais está apresentada na *Tabela 3*.

TABELA 3. Conteúdo (base úmida) de nitrogênio, macro e micro minerais da barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana

	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>g/100g</i>	2,520	0,384	0,497	0,082	0,077	0,090
<i>(%) IDR*</i>	-	48,00	-	10,25	25,66	-
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
<i>mg/100g</i>	0,540	0,365	5,105	3,515	-	2,955
<i>(%) IDR*</i>	-	12,16	36,46	70,3	-	19,70

Dados são médias de duas replicatas

* (%) da Ingestão Diária Recomendada (IDR) para pessoas adultas baseada em uma dieta de 2500kcal, segundo Resolução Mercosul GMC n°18/94 e RDA/NAS (1989).

A formulação da barra de cereais apresentou elevado conteúdo de minerais importantes como fósforo (P) e cálcio (Ca), com teores compatíveis aos encontrados em alimentos ricos em fósforo, como feijão (0,471g/100g) e gema de

ovo (0,5g/100g), e em cálcio como o leite integral (91mg/250ml). Destacou-se também presente os microminerais essenciais cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), com teores consideráveis de manganês (70,3% IDR) e teor de ferro semelhante aos encontrados em alimentos como castanha (5,5mg/100g) e trigo (5,0mg/100g).

Oligossacarídeos e isoflavonas na proteína texturizada de soja utilizada na formulação das barras de cereais estão descritos na *Tabela 4*. Verificou-se que os teores dos açúcares sacarose, rafinose e estaquiose encontrados na proteína texturizada de soja se mostraram marcadamente superiores aos teores relacionados ao grão, farinha integral e, principalmente, ao isolado protéico de soja, encontrados por Rodrigues (2003), que foram de 0,28g/100g de rafinose no grão de soja e 0,3g/100g em farinha integral; 1,68mg/100g de estaquiose no grão, 1,86mg/100g na farinha integral e 0,024mg/100g no isolado protéico de soja. Os teores das isoflavonas daidzina, genistina, daidzeína e genisteína também se mostraram superiores aos determinados no grão, farinha integral e isolado protéico relatados pelo mesmo autor (respectivamente: 17,03, 21,77, 1,02 e 1,36mg/100g de matéria seca em grão de soja; 46,12, 60,44, 5,42 e 3,36mg/100g de matéria seca em farinha integral; e 23,24, 49,16, 7,62 e 8,62mg/100g de matéria seca em isolado protéico). O oposto aconteceu com os teores de mal-daidzina e mal-genistina. Araújo, Carlos e Sedyama (1997) encontraram maiores teores de daidzina e genistina (159,3 e 239,0mg/100g) e menores de genisteína e daidzeína (8,7 e 2,2mg/100g) em matéria liofilizada de grão de soja.

Os teores de tocoferóis totais nos ingredientes e na barra de cereais funcional estão descritos na *Tabela 5*. Verificou-se uma redução no conteúdo de tocoferóis totais no gérmen de trigo após o processo de torração, porém sem comprometimento severo. Os teores de vitamina E no gérmen de trigo estão em concordância com relatos de Marques (1992), que foi de 23,45mg/100g em matéria seca. Houve boa preservação da vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%) após o processamento das barras de cereais, adicionada na formulação em 300mg/100g.

TABELA 4. Conteúdo de oligossacarídeos e isoflavonas em proteína texturizada de soja

<i>Oligossacarídeos</i>	<i>g/100g (base úmida)</i>
Sacarose	9,48
Rafinose	1,92
Estaquiose	4,66
<i>Isoflavonas</i>	<i>mg/100g (base seca)</i>
Daidzina	59,97
Genistina	87,68
Mal-daidzina	46,01
Mal-genistina	69,56
Daidzeína	9,85
Genisteína	10,41
Total	283,49

Dados são médias de duas replicatas.

TABELA 5. Tocoferóis totais (Vitamina E) em gérmen de trigo, gérmen de trigo torrado, lecitina de soja e barra de cereais sabor banana

	<i>mg/100g (base úmida)</i>
Gérmen de trigo	29,95
Gérmen de trigo torrado*	24,05
Lecitina de soja	82,74
Barra de cereais funcional	118,0

Dados são médias de duas replicatas.

* O gérmen de trigo teve seu teor de umidade ajustado para 28% e a torração foi realizada em estufa a 180°C por 8 minutos.

3.3. Avaliação Sensorial

As notas atribuídas pelos consumidores às formulações de barra de cereais quanto à aceitação sensorial estão apresentadas na *Tabela 6*. Os resultados do teste de ideal de doçura e acidez estão representados pela *Figura 2*.

TABELA 6. Médias das notas atribuídas pelos provadores para a aceitação sensorial das formulações de barra de cereais com elevado teor protéico sabor banana

Formulação	Aparência	Cor	Sabor	Textura	Impressão Global
C	6,05 ^a	6,62 ^a	5,32 ^b	4,08 ^{ab}	5,70 ^a
B	6,39 ^a	6,58 ^a	6,42 ^a	5,29 ^a	6,14 ^a
A	4,03 ^b	5,26 ^b	5,11 ^b	4,34 ^b	4,66 ^b

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

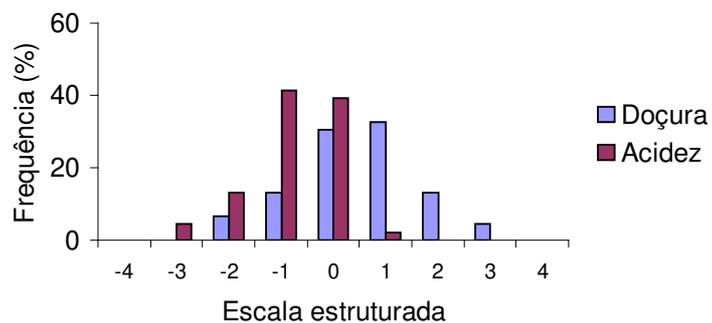
As formulações de barra de cereais com ingredientes funcionais e diferentes teores de ácido ascórbico (vitamina C) apresentaram, de um modo geral, boa aceitação sensorial de sabor e aspectos visuais de cor e aparência. No entanto, a sensação de textura originada da combinação dos ingredientes utilizados resultou em menores médias de aceitação sensorial para este atributo.

Com relação ao atributo sabor, a formulação B, de teor de ácido ascórbico intermediário, obteve maior aceitação apresentando nota média de 6,42, diferindo significativamente das demais formulações ao nível de 5% de significância. As formulações A e C não diferiram estatisticamente entre si, resultados que indicam que a maior e menor acidez conseqüente das adições de ácido ascórbico, respectivamente, interferiram igualmente na diminuição da aceitação do sabor das barras de cereais.

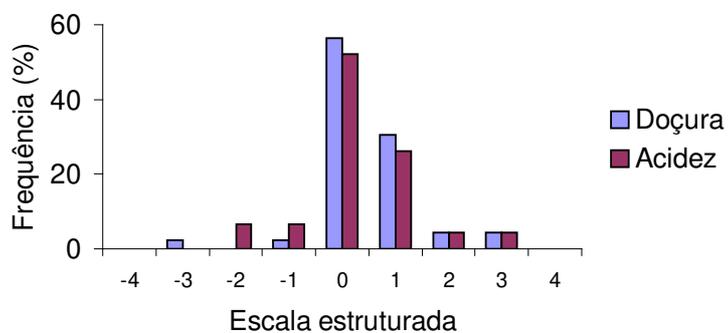
Quanto à aparência, textura e impressão global, a formulação B apresentou maiores médias, não diferindo, porém, significativamente da formulação C, de menor teor de ácido ascórbico. O maior teor de ácido ascórbico na formulação de barra de cereais (A) apresentou notas médias significativamente ($p \leq 0,05$) menores de aceitação que as demais formulações para os atributos aparência, cor e impressão global. Estes resultados indicam que quantidades elevadas de ácido ascórbico levaram a uma rejeição perante os consumidores principalmente nas características visuais. A aparência, cor e impressão global foram prejudicadas nesta formulação provavelmente devido ao escurecimento mais acelerado das barras de cereais provocado pela oxidação da vitamina C. As barras de cereais foram retiradas das embalagens imediatamente antes da avaliação, porém o oxigênio residual no interior das embalagens seria suficiente para catalisar a reação. Segundo Fennema (1993), o ácido ascórbico é altamente sensível a várias formas de degradação e os fatores que podem influenciar a natureza e velocidade do mecanismo de degradação incluem a concentração inicial de ácido ascórbico entre outros, como temperatura, concentração de sal e açúcar, pH, oxigênio, enzimas, catalisadores metálicos e razão entre ácido ascórbico e dehidroascórbico.

No teste de escala do ideal (*Figura 2*), 57,7% dos provadores assinalaram “doçura ideal” e 53,3% “acidez ideal” para a formulação B adicionada de 1,1g/100g de ácido ascórbico. 86,94% dos provadores assinalaram entre “ligeiramente” e “extremamente mais ácido que o ideal” para a formulação adicionada de 2,0 g/100g de ácido ascórbico (A), o que pode estar associado a menor média de aceitação para o atributo sabor desta formulação.

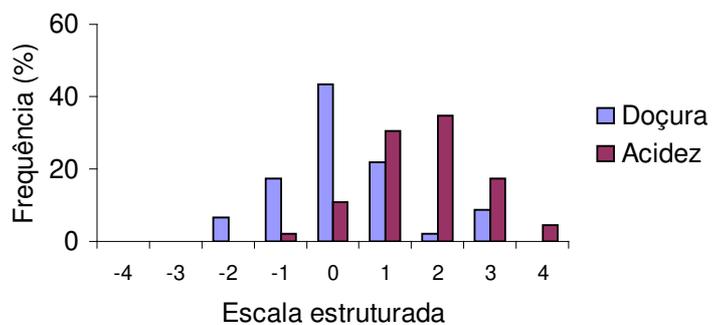
Através da *Figura 2* observa-se também o efeito da concentração de ácido ascórbico e suas respectivas sensações de acidez sobre a doçura das formulações de barras de cereais. O equilíbrio entre a doçura e a acidez foi encontrada na formulação B, adicionada de concentração intermediária de ácido ascórbico (1,1g/100g).



(C)



(B)



(A)

-4: extremamente menos doce/ácido que o ideal; +4: extremamente mais doce/ácido que o ideal

Figura 2. Frequência dos valores atribuídos na escala de ideal de doçura e acidez para as formulações de barra de cereais com elevado teor protéico adicionadas de 2,0g /100g (A); 1,1g /100g (B) e 0,2g /100g (C) de ácido ascórbico.

Para a formulação adicionada de menor teor de ácido ascórbico (C), os provadores perceberam maior sensação de doçura, deslocando a escala de ideal de doçura para a direita, concentrada entre os níveis 0 (ideal) e +4 (extremamente mais doce que o ideal). O oposto aconteceu na formulação de maior teor de ácido ascórbico (A), onde a doçura percebida se concentrou entre os níveis -3 (muito menos doce que o ideal) e 0 (ideal) da escala. Uma vez que a concentração de açúcares das formulações das barras de cereais não variou, estes resultados indicam que a acidez correspondente à variação do teor de ácido ascórbico adicionado teve influência sobre a percepção de doçura dos provadores, apresentando uma relação inversa de quanto maior a acidez, menor a sensação de doçura percebida.

4. CONCLUSÃO

A proteína de soja texturizada, base da formulação da barra de cereais, apresentou elevados teores de oligossacarídeos (rafinose e estaquiose) e de isoflavonas (daidzina, genistina, daidzeína e genisteína) se comparados a teores no grão, farinha integral e isolado protéico encontrados na literatura.

A formulação da barra de cereais com elevado teor protéico apresentou, em média, 15,31% de proteínas, teor desejável em relação aos produtos encontrados no mercado (que apresentam, em média, 4,4% de proteínas). Apresentou também menor teor de carboidratos (60,97%), maior conteúdo de fibras totais (5,17%) e o conteúdo de matéria graxa apresentou-se satisfatório (5,64%) em relação aos produtos convencionais. A formulação da barra de cereais apresentou elevado teor de vitamina E (118,0 mg/100g) e conteúdo de minerais e microminerais essenciais como fósforo (P), cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), com teores compatíveis aos encontrados em alimentos ricos nestes nutrientes.

As diferentes concentrações de ácido ascórbico nas formulações de barras de cereais resultaram em diferenças significativas ($p < 0,05$) na aceitação sensorial

de todos os atributos avaliados. Porém, o maior teor adicionado apresentou menor aceitação principalmente nas características visuais das barras de cereais, devido ao escurecimento resultante da oxidação da vitamina.

Com relação ao sabor, a formulação adicionada de 1,1g/100g de ácido ascórbico obteve maior aceitação, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) das demais formulações. No teste de escala do ideal, cerca de 56,5% dos provadores assinalaram entre “moderadamente” ou “muito” ou “extremamente mais ácido que o ideal” para a formulação de maior teor de ácido ascórbico (2,0g/100g), o que pode estar associado com a menor média de aceitação de sabor desta formulação. A acidez apresentou uma relação inversa a doçura nas barras de cereais, sendo que quanto maior a acidez, menor foi a sensação de doçura percebida pelos provadores.

A textura da barra de cereais à base de proteína texturizada de soja, gérmen de trigo e aveia apresentou menor aceitabilidade entre os atributos avaliados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16 ed. Washington, 1997.

ARAÚJO, J. M. A.; CARLOS, J. C. S.; SEDYAMA, C. S. Isoflavonas em grãos de soja; importância da atividade de β -glicosidase na formação do sabor amargo e adstringente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 2, p. 137-141, maio, 1997.

BARBOSA, M. **Na onda da barra. Com uma gestão alternativa e um produto campeão de vendas, Nutrimental afasta a crise e volta a ser uma empresa saudável**. Disponível em: www.terra.com.br/istoedinheiro. Acesso em: 16 set. 2003.

BOWER, J. A.; WHITTEN, R. Sensory characteristics and consumer linking for cereal bar snack foods. **Journal of Sensory Studies**, v. 15, n. 3, p. 327-345, 2000.

BOUSTANI, P.; MITCHELL, V.-W. Cereal bars: A perceptual, chemical and sensory analysis. **British Food Journal**, v. 92, n. 5, p.17-22, 1990.

CASTELLANOS MOLINA, R. **Contribuição ao estudo de substituição parcial de carne por proteína texturizada de soja na elaboração de “hambúrguer”**. 1977. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1977.

CHANG, H. C.; CHURCHWELL, M. I.; DELCLOS, K. B.; NEWBOLD, N. N.; DOERGE, D. R. Mass spectrometric determination of genistein tissue distribution in diet-exposed sprague-dawley rats. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1963-1970, 2000.

CLARKSON, P. M. Antioxidants and physical performance, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n. 1/2, p. 131-141, jan., 1995.

COMMITTEE ON DIETARY ALLOWANCES, FOOD AND NUTRITION BOARD.

Recommended Dietary Allowances (RDA), 10th revised edition, National Academy of Science (NAS), Washington D.C., 1989.

CONTRERAS GUZMÁN, E.S.; STRONG III, F.C. Determination of tocopherols (Vitamin E) by reduction of cupric ion. **Journal of Association Analytical Chemistry**, n. 65, v. 5, p. 1215-1221, 1982.

CRITTENDEN, R. G.; PLAYNE, M. J. Production, properties and applications of food-grade oligosacharides. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n.11, p.353-361, nov., 1996.

DJAHANSOUZI, S.; BRAESEN, J. H.; KOENING, K.; BEISIEGEL, U.; KONTUSH, A. The effect of pharmacological doses of different oxidants on oxidation parameters and atherogenesis in hyperlipidaemic rabbits. **Atherosclerosis**, v. 154, n. 2, p. 387-398, feb., 2001.

ESTÉVEZ, A. M.; ESCOBAR, B.; VÁZQUEZ, M.; CASTILLO, E.; ARAYA, E.; ZACARÍAS, I. Cereal and nut bars, nutritional quality and storage stability. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 47, n. 4, p. 309-317, 1995.

FRANCAL FEIRAS. **Barra de cereais: grande filão para comércio com EUA.** Disponível em: www.francal.com.br/codigo/p-noticias-conteudo.asp?noticias_ID=758. Acesso em: 16 set. 2003.

FENNEMA, O. R. **Química de los Alimentos.** Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1993. 1095 p.

HART, F. **Caracterização química da cultivar UPF 18 e estudo das farinhas estabilizadas termicamente por vapor e água quente.** 2001. 109 p. Tese (Mestre em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

HOLDER, C. L.; CHURCHWELL, M. I.; DOERGE, D. R. Quantification of soy isoflavones, genistein and daidzein, and conjugates in rat blood using LC/ES-MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 3764-3770, 1999.

ISMAIL, N. M.; GHAFAR, N. A.; JAARIN, K.; KHINE, J. H.; TOP, G. M. Vitamin E and factors affecting atherosclerosis in rabbits fed a cholesterol-rich diet. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 51, suppl. 1, p. 79-94, dec., 2000.

KHOR, H. T.; NG, T. T. Effects of administration of alpha-tocopherol and tocotrienols on serum lipids and liver HMG CoA reductase activity. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 51, suppl. 1, p. 3-11, dec, 2000.

LEENHEER, A. P.; LAMBERT, W. E.; RUYTER, M. G. M. **Modern Chromatographic Analysis of the Vitamins**. New York: Marcel Decker, 1985. v.30, 556 p.

MAHUNGU, S. M.; DIAZ-MERCADO, S.; LI, J.; SCHWENK, M.; SINGLETARY, K.; FALLER, J. Stability of isoflavones during extrusion processing of corn/soy mixture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 279-284, 1999.

MARQUES, L. M. R. **Efeito da temperatura de extrusão , umidade da matéria-prima, teor de amido e sacarose nas características tecnológicas e nutricionais de produtos extrusados de germe de trigo**. 1992. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 2 ed. v. 1, São Paulo, 1976.

PALAZZOLO, G. Cereal bars: They're not just for breakfast anymore. **Cereal Foods World**, v. 48, n. 2, mar-abr, p. 70-72, 2003.

PEHANICH, M. No holds barred. **Prepared Foods**, v. 172, n. 3, mar., p. 79-80, 2003.

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1971. v.3

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. 3 ed. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.2

RINSE, J. **Arteriosclerose, química e nutrição: algumas observações, experiências e uma hipótese**. Tradução Roberto H. Moretti. American Laboratory: 37. p. 19., s.d.

RODRIGUES, R. S. **Caracterização de extratos de soja obtidos de grãos, farinha integral e isolado protéico visando a formulação e avaliação biológica (em coelhos) de bebida funcional à base de extrato de soja e polpa de pêssegos**. 2003. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SALONEN J. T.; NYYSÖNEN, K.; SALONEN, R.; LAKKA, H.- M.; KAIKKONEN, J.; PORKKALA-SARATAHO, E.; VOUTILAINEN, S.; LAKKA, T. A.; RISSANEN, T.; LESKINEN, L.; TUOMAINEN, T. -P.; VALKONEN, V. -P.; RISTONMAA, U.; POULSEN, H. E. Antioxidant supplementation in atherosclerosis prevention (ASAP) study: a randomized trial of the effect of vitamins E and C on 3-year progression of carotid atherosclerosis. **Journal of Internal Medicine**, v. 248, p. 377 - 386, 2000.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H. P. **Análises Químicas em Plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SAS Institute. **SAS User's Guide: statistics**. Cary, USA: SAS Inst., 1993.

SIDHU, J. S.; AL-HOOT, S. N.; AL-SAQER, J. M. Effect of adding wheat brain and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. **Food Chemistry**, v. 67, p.365-371, 1999.

SIGMA. **Total Dietary Fiber Assay Kit**. Technical Bulletin N^oTDFAB-3, Jun, 2000.

SMALL, D. M. A classification of biologic lipids based upon their interaction in aqueous systems. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v. 45, n. 3, p. 108, 1968.

STAVRIC, B. Antimutagens and anticarcinogens in foods. **Food and Chemical Toxicology**, v. 32, n. 1, p. 79-90, jan., 1994.

MORAES, M. A. C. **Métodos para Avaliação Sensorial dos Alimentos**. 7 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1990.

VEINBERGS, I.; MALLORY, M.; SAGARA, Y.; MASLIHA, E. Vitamin E supplementation prevents spatial learning deficits and dendritic alterations in aged apolipoprotein E - deficient mice. **European Journal of Neurosciense**, v. 12, n. 12, p. 4541-4546, dec, 2000.

VIDAL-VALVERDE, C.; FRÍAS, J.; VALVERDE, S. Changes in carbohydrate composition of legumes after soaking and cooking. **Journal of the American Dietetic Association**, n. 5, v. 93, may, p. 547-550, 1993.

WASZCZYNSKY, N. J. **Extração de proteínas do farelo de trigo com aplicação de enzimas**. Londrina. 1979. Tese (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1979.

YAMAKOSHI, J.; PISKULA M. K.; IZUMI, T.; TOBE, K.; SAITO, M.; KATAOKA, S.; OBATA, A.; KIKUCHI, M. Isoflavone aglicone-rich extract without soy protein attenuates atherosclerosis development in cholesterol-fed rabbits. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1887-1893, 2000.

CAPÍTULO IV

BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE DE VITAMINAS E ENZIMÁTICA DURANTE ARMAZENAMENTO

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

Artigo submetido à revista Plant Foods for Human Nutrition

CAPÍTULO IV**BARRA DE CEREAIS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA,
GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE DE VITAMINAS E ENZIMÁTICA
DURANTE ARMAZENAMENTO**FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

¹ Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Rua Monteiro Lobato, s/n, Campinas-SP, CP 6121, CEP 13083-862, degrandi@fea.unicamp.br

RESUMO

Produtos a base de cereais vêm se tornando um excelente veículo para se incluir ingredientes com alegação funcional no mercado consumidor. Uma tendência emergente são os produtos formulados com proteína de soja, por providenciarem benefícios à saúde. Devido ao grande potencial de produtos à base de cereais, como os de alto valor energético e “snacks” de alto valor protéico, foi considerado de interesse determinar a estabilidade de vitaminas e enzimas em barra de cereais à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, suplementada de vitamina C (ácido ascórbico) e fortificada de vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%), durante o armazenamento. Foram utilizados como embalagens três filmes (A: PET/PEBD; B: PETMET/PEBD; C: PET/PEBD/AL/PEBD) em condições de temperatura e umidade relativa ambiente por um período de 180 dias. Durante o armazenamento das barras de cereais, verificou-se a estabilidade das vitaminas C, vitamina E, além do acompanhamento da atividade de lipase e peroxidase. No período de 180 dias, as barras de cereais embaladas nos três filmes testados apresentaram uma retenção de vitamina C menor que 50%. No entanto, a embalagem C, estruturada com folha de alumínio, proporcionou menor velocidade de reação ao longo do período de armazenagem, $k=0,00473$ (-dia), e maior tempo de meia vida de 146 dias. Os teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) nas barras de cereais apresentaram pequenas variações durante o armazenamento. Houve um aumento significativo ($p\leq 0,05$) na

atividade de peroxidase durante o período de 90 dias de estocagem nas embalagens testadas, provavelmente devido à regeneração da enzima, enquanto que a atividade de lipase não demonstrou aumento significativo durante os 180 dias de estocagem nas embalagens testadas.

Palavras-chave: barra de cereais, estocagem, vitamina C, vitamina E, lipase, peroxidase.

SUMMARY

Cereal-based products have become an excellent vehicle for delivering tasty functional food ingredients to busy consumers. One emerging trend is the design of cereal based food products formulated with soy protein because of its proven health benefits. Because of the potential usefulness of cereal-based products as high energy, high protein snack foods, it was considered of interest to determine the stability of vitamins and enzymes in cereal bars based on soy protein, wheat germ and oat, supplemented with vitamin C (acid ascorbic) and fortified with vitamin E (acetate of α -tocopherol 50%), during the storage. Three films (A: PET/PEBD; B: PETMET/PEBD; C: PET/PEBD/AL/PEBD) were used as packing at temperature and relative humidity ambient for 180 days. During the storage of the cereal bars, the stability of vitamin C, vitamin E and, its lipase and peroxidase activity was verified. During 180 days, the cereal bars packed in three tested films presented retention in the vitamin C lesser than 50%. However, packing C structuralized with aluminum leaf provided to minor speed of reaction during the storage, $k=0,00473$ (-day), and greater time of half-life of 146 days. The vitamin E (acetate of α -tocopherol) in the cereal bars presented a little variation during the storage. It had a significant ($p \leq 0,05$) increase in the peroxidase activity during 90 days of storage in the packages tested, probably because a regeneration of the enzyme, while that the lipase activity demonstrated no significant increase during the 180 days of storage in the packages tested.

Key words: cereal bars, storage, vitamin C, vitamin E, lipase, peroxidase.

1. INTRODUÇÃO

“Snacks” ou “snacks–foods” são alimentos de fácil consumo, prontamente utilizáveis, de tamanho pequeno, que requerem pouca ou nenhuma preparação para o consumo. As barras de cereais estão incluídas nesta categoria (TETTWEILLER, 1991). Por muitos anos, os “snacks” não vêm sendo reconhecidos como verdadeiros alimentos e seu valor nutricional não é enfatizado, embora exista produtos naturais bons fornecedores de fibras, calorias e proteínas. No entanto, a tendência de consumir alimentos mais nutritivos tem levado ao desenvolvimento de novos produtos e à diversificação de produtos habitualmente consumidos, tais como barras de cereais com cobertura de chocolate ou com incorporação de diferentes frutas e castanhas.

Como o consumo de cereais vem se expandindo além do café da manhã para qualquer hora do dia, produtos à base de cereais vêm se tornando um excelente veículo para se incluir ingredientes funcionais no mercado consumidor. Os cereais estão crescentemente exercendo papel vital no estilo de vida moderno por causa da conveniente forma as quais podem ser incorporados, incluindo produtos prontos para consumir, instantâneos, barras de cereais e barras energéticas. Uma tendência emergente são os produtos formulados com proteína de soja por promoverem benefícios à saúde. As mulheres, em especial, representam um novo nicho de mercado de produtos desenvolvidos para suprir necessidades nutricionais específicas (TOCKMAN, 2002).

Dentro dos produtos à base de cereais, as barras podem fornecer importante suplementação de calorias e elementos nutritivos como lipídeos, fibras, proteínas, minerais e vitaminas. Entretanto, possuem considerável conteúdo de lipídeos e grande quantidade de ácidos graxos polinsaturados, tornando-os susceptíveis à deterioração oxidativa que reduz sua estabilidade durante o armazenamento (ESTÉVEZ et al., 1995). A rancidez oxidativa das gorduras pode resultar no desenvolvimento de produtos tóxicos, mudanças de coloração, de textura e perda de valor nutricional, devido à destruição de vitaminas e ácidos graxos essenciais (DZIEZAK, 1986). A oxidação é catalisada por uma série de

fatores tais como oxigênio, luz, calor, metais, pigmentos, condições alcalinas, e grau de insaturação das gorduras.

Assim, devido ao grande potencial de produtos à base de cereais como os de alto valor energético e “snacks” de alto valor protéico, foi considerado de interesse determinar a estabilidade de vitaminas e a atividade enzimática em barra de cereais com elevado teor protéico à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, suplementada de vitamina C (ácido ascórbico) e fortificada de vitamina E (acetato de α -tocoferol 50%), durante armazenamento de seis meses em três diferentes materiais de embalagens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

As barras de cereais foram manufaturadas utilizando-se os seguintes ingredientes: proteína texturizada de soja, gérmen de trigo torrado (tratamento térmico de 180°C por 8 minutos no produto com teor de umidade aumentado a 28% e distribuído em bandejas numa proporção de 0,1 g/cm²), aveia em flocos, banana desidratada. A aglutinação dos ingredientes na barra foi feita com uma mistura de açúcares (açúcar integral - mistura de açúcar cristal e melaço de cana na proporção de 95:5 - xarope de glicose, maltodextrina) e materiais gordurosos (lecitina de soja, gordura vegetal hidrogenada, glicerina). O produto foi adicionado de vitaminas C (ácido ascórbico) e E (acetato de α -tocoferol 50%). A *Tabela 1* mostra a composição da formulação da barra de cereais desenvolvida. As barras preparadas pesaram aproximadamente 25 g. Foram utilizados três materiais de embalagem com diferentes propriedades de barreira os quais estão especificados na *Tabela 2*.

TABELA 1. Proporção dos ingredientes usados na fabricação da barra de cereais com elevado teor protéico e vitamínico

	(%)
Ingredientes secos	45,5
Açúcares	44,5
Materiais gordurosos	7,5
Água	2,5

TABELA 2. Especificações técnicas dos materiais de embalagem

EMBALAGEM A	g /m ²	EMBALAGEM B	g /m ²	EMBALAGEM C	g /m ²
Poliéster (PET)	17,0	Poliéster (PET)	17,0	Poliéster (PET)	17,0
Tintas	3,9	Tintas	4,5	Tintas	4,1
Adesivo	2,0	Metalização (met)	0,1	Polietileno (PEBD)	15,0
Filme de Polietileno (PEBD)	65,0	Adesivo	2,0	Alumínio (AL)	21,6
		Filme de Polietileno (PEBD)	45,0	Polietileno (PEBD)	15,0
				Filme de Polietileno (PEBD)	30,0

Dados fornecidos pelo fabricante Shellmar Embalagens Modernas Ltda., São Paulo-SP.

2.2. Métodos

As barras de cereais foram embaladas e armazenadas em condições de temperatura e umidade relativa ambiente por um período de seis meses. A estabilidade das enzimas lipase e peroxidase e das vitaminas C e E das barras foi verificada durante o armazenamento, sendo estas determinações realizadas logo após o processamento (tempo 0), após 45 dias (tempo 1), 90 dias (tempo 2), 135 dias (tempo 3) e 180 dias (tempo 4), conforme ASTM (1993).

2.2.1. Caracterização das embalagens

Os três filmes utilizados foram caracterizados quanto à: taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) segundo ASTM (1997a), determinada para o conjunto embalagem-tampas contendo sílica anidra em seu interior; taxa de permeabilidade ao oxigênio (TPO₂) através do método coulométrico segundo ASTM (1997b), à pressão atmosférica local, umidade relativa de 62% e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ em equipamento Ox-Tran 2/20; e espessura em equipamento Mitutoyo Absolute.

2.2.2. Análise de vitamina C e vitamina E

Foram realizadas as determinações quantitativas de ácido ascórbico pelo método padrão da AOAC (1997) modificado por Benassi (1990); e de vitamina E por HPLC segundo Leenheer, Lambert e Ruyter (1985). O teor de vitamina E foi extraído a partir de 2,5 g de amostra de barra de cereais, previamente congelada e reduzida em moinho, em 25,0ml de dimetilsulfóxido (DMSO) em agitação magnética por 20 minutos. Foi adicionado 50,0ml de hexano seguido de agitação por 15 minutos. A fase superior foi transferida e evaporada, dissolvida em 10,0ml de metanol, filtrada em filtro millex de 45,0 μm e 20,0 μL injetado no HPLC. Foi utilizada Coluna ODS 2 (150 x 4,6mm) e detector UV a 280nm. A fase móvel foi metanol HPLC 100% a 2,0ml/min. Utilizou-se padrão vitamina E 50% tipo CWS/F (Roche Vitaminas Brasil Ltda).

2.2.3. Atividade de lipase e peroxidase

A atividade de lipase foi medida através de método usado por Kaur, Ramamurthy e Kothari (1993). A atividade de peroxidase foi medida por espectrofotometria de acordo com Ekstrand, Gangby e Akesson (1992). Uma primeira desintegração das barras de cereais em solução tampão numa proporção de 1:2 foi realizada para homogeneizar a amostra. Foram então dissolvidas 0,25mg de amostra em 25ml de solução tampão Tris (hidroximetil) aminometano - HCl, 0,2M, pH 8,5, seguido de agitação por 10 minutos com agitador magnético e centrifugação a 3000rpm por 15 minutos. Foram misturados 0,5ml do sobrenadante com 3,0ml de substrato (guaiacol 50mM + 5% de etanol em solução tampão acetato de sódio 0,05M, pH 5,0) e a reação iniciada com 7,0 μ l de 2,5mM de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) na própria cubeta. Depois de inversão rápida da cubeta, fez-se a leitura a 420nm. Foram realizadas triplicatas de cada amostra em leituras de 5 minutos.

2.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram avaliados pelo método de análise de variância (ANOVA) e teste F com comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ambos do software estatístico SAS (1993). O modelo matemático para a cinética da reação de degradação de vitamina C, segundo Labuza (1982), foi definido pelo método de estimação linearizada (ou não linearizada) no programa Statistica 5.0 (Statsoft Inc., 1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades de barreira das embalagens

As características de espessura, taxa de permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio dos filmes utilizados estão descritas na *Tabela 3*.

TABELA 3. Propriedades de barreira dos materiais de embalagem

	Espessura (mm)	TPO ₂ (cm ³ /m ² .dia.atm)	TPVA (g água/m ² .dia)
<i>Embalagem A</i>	0,0760±0,001 ^b	0,215±0,021 ^a	6,660±0,035 ^b
<i>Embalagem B</i>	0,0556±0,001 ^c	0,160±0,014 ^a	7,898±0,04 ^a
<i>Embalagem C</i>	0,0842±0,001 ^a	0,120±0,028 ^a	3,611±0,009 ^c

Dados são médias de três replicatas ± estimativa do desvio padrão

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD

TPO₂: taxa de permeabilidade ao oxigênio; TPVA: taxa de permeabilidade ao vapor de água.

Para embalagens plásticas flexíveis, a TPVA e TPO₂ dependem do tipo de material utilizado, da espessura e também da temperatura e umidade relativa do ambiente de estocagem. Quanto maior a espessura do filme, menor a taxa de permeabilidade ao vapor de água e aos gases. Em geral, o aumento de temperatura e umidade relativa do ambiente aumenta a permeabilidade das embalagens (GARCIA, PADULA e SARANTOPOULOS, 1989). As condições ambientes foram de 56% UR e 23°C em média, durante o período de análise (CEPAGRI Meteorologia Unicamp, 2004).

Dentre os filmes simples, os que apresentam maior barreira ao vapor de água são as poliolefinas (polietileno de alta e baixa densidade, e polipropileno). Para a obtenção de resinas plásticas com melhor barreira ao vapor de água, Padula (2002) cita a confecção de estruturas multicamadas laminadas com folha de alumínio e com metalização de substratos como o poliéster. O efeito da metalização é função da espessura de sua camada, da adesão do alumínio ao substrato e da utilização de impressão reversa, onde o alumínio se deposita sobre a tinta. Pode-se explicar então, a maior TPVA do filme B, cuja gramatura da

metalização é de $0,1\text{g/m}^2$, com camada de 45g/m^2 de filme de polietileno, se comparada ao filme A que, embora não metalizada, apresenta em sua composição 65g/m^2 de filme de polietileno e espessura total maior. O filme C, de estrutura laminada com folha de alumínio e de maior espessura, apresentou menor permeabilidade ao vapor de água.

Polímeros hidrofílicos têm sua barreira a gases dependente da umidade relativa, pois o vapor de água do ambiente interage com os polímeros tornando-os mais permeáveis aos gases (PADULA, 2002). Os filmes utilizados são compostos basicamente de poliolefinas, não polares e, portanto, apresentam barreira aos gases praticamente independente da umidade relativa. Estruturas com melhor barreira a gases são obtidas com laminação com folha de alumínio ou com substratos metalizados, conforme mostra os resultados obtidos de TPO_2 (*Tabela 3*), embora não apresentem diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre si.

3.2. Cinética de reação de degradação da vitamina C

Na *Tabela 4* estão descritos os teores de vitamina C nas barras de cereais durante o período de estocagem. A partir destes dados, determinou-se a ordem da reação e os parâmetros da cinética de sua degradação nas barras de cereais embaladas nos filmes A, B e C (*Tabela 5*).

TABELA 4. Teores de vitamina C (ácido ascórbico) (mg/100g) em barra de cereais durante estocagem em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

Dias	Embalagem A	Embalagem B	Embalagem C
0	^A 655,89 ^a	^A 664,52 ^a	^B 622,52 ^a
45	^A 352,35 ^b	^C 518,36 ^b	^B 536,38 ^b
90	^C 217,49 ^c	^B 334,16 ^c	^A 427,79 ^c
135	^B 201,02 ^d	^B 198,25 ^d	^A 276,22 ^d
180	^B 196,86 ^d	^C 178,48 ^e	^A 298,78 ^e

^{a-e}: Médias com letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) durante tempo de estocagem

^{A-C}: Médias com letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre as embalagens

Dados são médias de três replicatas

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

As reações de degradação da vitamina C se ajustaram ao modelo cinético de primeira ordem, linearizada, para os três filmes de embalagem. Nos alimentos, a maioria das reações que representam importantes perdas de qualidade são caracterizadas por modelos de ordem zero (qualidade de alimentos congelados, escurecimento não enzimático) ou modelos de primeira ordem (perda de vitaminas, crescimento ou morte de microorganismos, oxidação da cor, perda de textura em alimentos processados) (TAOUKIS, LABUZA e SAGUY, 1997).

Os parâmetros utilizados na determinação do modelo com melhor ajuste para a reação de perda de vitamina C nas embalagens testadas foram o valor do coeficiente de correlação linearizada R^2 (o mais próximo da unidade), e o valor do desvio percentual médio (P), que é a média da diferença percentual relativa entre os valores experimentais e valores preditos. Lomauro, Bakshi e Labuza (1985) mostraram que valores de P menores que 5 representam bom ajuste do modelo, enquanto que valores de P maiores que 10, um ajuste deficiente do modelo.

TABELA 5. Parâmetros cinéticos da degradação de vitamina C em barras de cereais armazenadas em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

Embalagem	Ordem de reação	Constante de velocidade de reação k (-dia)	Tempo de meia-vida $t_{1/2}$ (dias)	Coefficiente de correlação (R^2)	Desvio percentual médio (P)
A	0	2,376401	138,00	0,791814	23,47
	1 linearizada	0,006596	105,07	0,892961	2,46
	1 não-linearizada	0,008537	81,18	0,92681	13,24
B	0	2,871501	115,71	0,949079	15,58
	1 linearizada	0,007978	86,87	0,967933	1,33
	1 não-linearizada	0,007866	88,11	0,97974	7,40
C	0	2,016913	154,32	0,922814	8,93
	1 linearizada	0,004737	146,31	0,900309	1,36
	1 não-linearizada	0,004772	145,23	0,94229	8,12

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

Para a cinética da reação de primeira ordem, o cálculo da constante de velocidade de reação (k) é dado pela equação $k=(\ln A - \ln A_t)/t$, onde a linha reta é obtida plotando o logaritmo neperiano da variável versus o tempo da reação (*Figuras 1, 2 e 3*).

Através da constante de velocidade da reação (k) pôde-se calcular o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da reação, isto é, o tempo para que a concentração de vitamina C se reduza à metade do valor inicial.

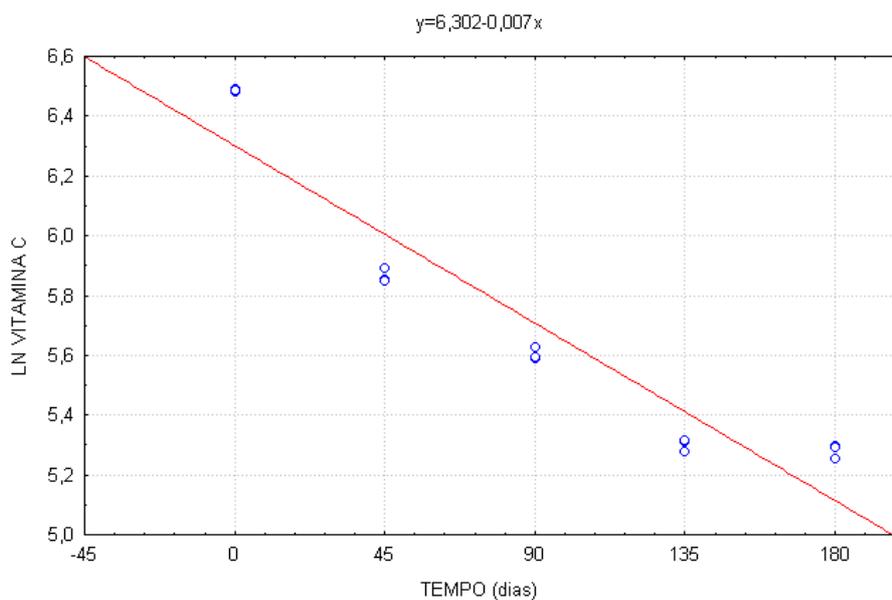


Figura 1. Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linearizada) em barras de cereais armazenadas em filme de PET/PEBD (Embalagem A) durante 180 dias.

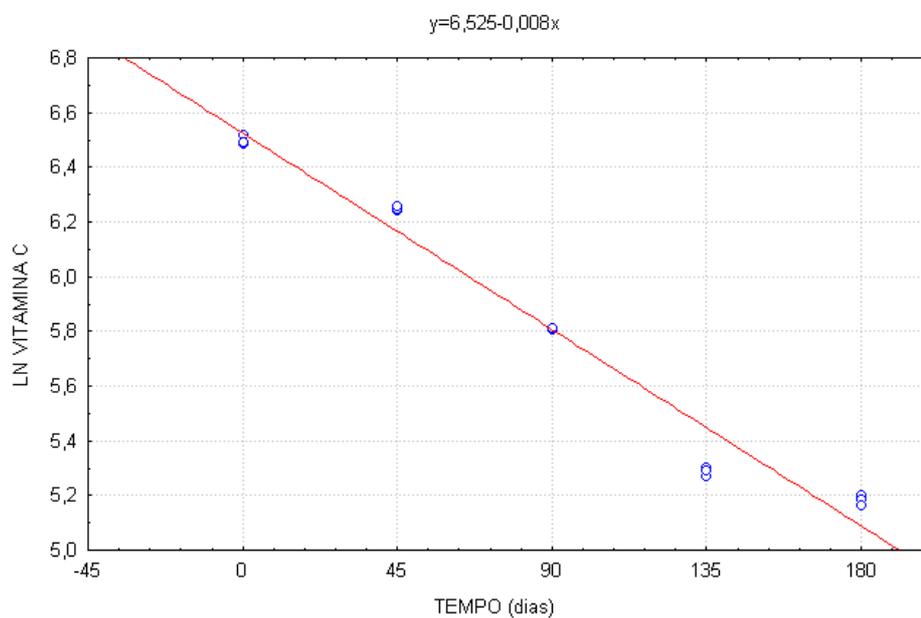


Figura 2. Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linearizada) em barras de cereais armazenadas em filme de PETmet/PEBD (Embalagem B) durante 180 dias.

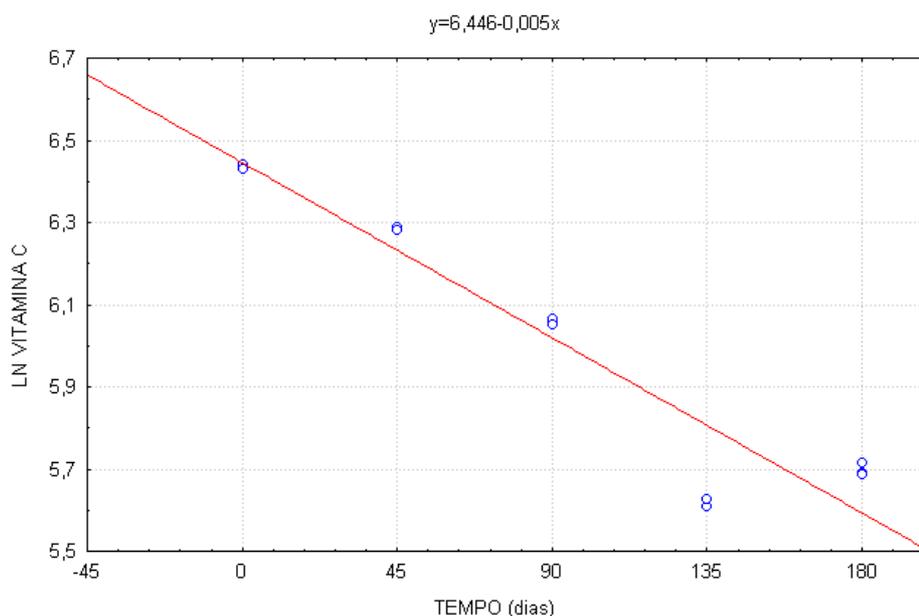


Figura 3. Progressão da degradação de vitamina C no modelo ajustado (ordem 1 linearizada) em barras de cereais armazenadas em filme de PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante 180 dias.

No período de 180 dias, as barras de cereais embaladas nos três filmes testados apresentaram uma retenção de menos que 50%, variando o conteúdo final de ácido ascórbico entre 178,48 e 298,78mg/100g. A embalagem C composta com folha de alumínio proporcionou menor velocidade de reação ao longo do período de armazenagem, $k=0,00473$ (-dia), e maior tempo de meia vida de 146 dias (*Tabela 5*). Embora o filme A composto de polietileno e polipropileno tenha apresentado maior taxa de permeabilidade ao oxigênio que o filme B, com estrutura metalizada, este proporcionou menor velocidade de degradação da vitamina C nas barras de cereais e maior tempo de meia vida, apresentando uma diferença de 19 dias.

A principal causa da degradação da vitamina C é a oxidação aeróbica ou anaeróbica, ambas levando à formação de furaldeídos, compostos que polimerizam facilmente e formam pigmentos escuros (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

Segundo Nagy (1980), após o consumo do oxigênio livre das embalagens, as reações anaeróbicas predominam, entre elas, a degradação de ácido ascórbico, mas em menor velocidade que sob condições aeróbicas. A degradação do ácido ascórbico foi atribuída à reação de oxidação aeróbica, uma vez que todas as embalagens apresentaram-se permeáveis ao oxigênio. Íons metálicos e as enzimas ácido ascórbico oxidase, citocromo oxidase, fenolase e peroxidase, são catalisadores da reação de oxidação da vitamina C (BUSS e ROBERTSON, 1978), o que justificaria o fato da maior velocidade de reação nas barras de cereais embaladas no filme B, de maior taxa de permeabilidade ao vapor de água, o que proporcionaria a interação da umidade e oxigênio, favorecendo o efeito de catalisadores na reação de degradação.

3.3. Estabilidade de vitamina E

O teor de vitamina E nas barras de cereais foi verificado durante o período de armazenamento e está descrito na *Tabela 6*.

TABELA 6. Teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) (mg/kg) em barra de cereais durante estocagem em diferentes materiais de embalagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

Dias	Embalagem A	Embalagem B	Embalagem C
0	1174,333 ^b	1176,333 ^a	1189,333 ^a
90	1235,666 ^a	1229,000 ^a	1224,333 ^a
180	1153,666 ^b	1201,000 ^a	1171,000 ^a

Dados são médias de três replicatas

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

Os teores nas barras de cereais apresentaram pequenas variações durante o armazenamento, não havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os teores determinados no primeiro e último dia do período analisado, para as embalagens testadas.

O comportamento da vitamina E adicionada nas barras de cereais confirmou a maior estabilidade dos derivados do tocoferol. Os tocoferóis são lentamente oxidados pelo oxigênio atmosférico. Por outro lado, esta oxidação é acelerada com exposição à luz (radiação UV), calor e álcali e na presença de sais de ferro e cobre. Os ésteres derivados dos tocoferóis, como o acetato de α -tocopherol e succinato de α -tocopherol, apresentam maior estabilidade em relação ao oxigênio, íons metálicos, luz e calor, sendo formas de maior interesse comercial (AMES, 1972; MACHLIN, 1982).

3.4. Atividade enzimática

Os valores da atividade das enzimas peroxidase e lipase nas barras de cereais durante o período de estocagem nas diferentes embalagens estão descritos na *Tabela 7*. A atividade enzimática em função do tempo pode ser visualizada nas *Figuras 4 e 5*.

TABELA 7. Atividade enzimática em barras de cereais durante armazenamento sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

Dias	Atividade de peroxidase (abs/min.g)			Atividade de lipase (% de hidrólise)		
	Embalagem A	Embalagem B	Embalagem C	Embalagem A	Embalagem B	Embalagem C
0	^B 13,867 ^d	^C 5,281 ^e	^A 41,424 ^b	^A 7,871 ^{ab}	^A 7,108 ^{cb}	^A 8,045 ^{ab}
45	^A 20,071 ^{dc}	^A 13,451 ^d	^A 23,603 ^c	^B 7,790 ^{ab}	^{AB} 8,502 ^a	^A 9,732 ^a
90	^A 107,663 ^a	^C 38,972 ^a	^B 72,503 ^a	^A 7,309 ^b	^B 6,629 ^c	^A 7,218 ^b
135	^A 29,096 ^c	^B 20,118 ^c	^B 21,707 ^c	^A 7,967 ^a	^A 7,507 ^{ca}	^A 7,450 ^b
180	^A 40,362 ^b	^B 30,772 ^b	^{AB} 38,175 ^b	^C 6,391 ^c	^A 8,314 ^{ab}	^B 7,394 ^b

^{a-e}: Médias com letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) durante tempo de estocagem

^{A-C}: Médias com letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre as embalagens

Dados são médias de três replicatas

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

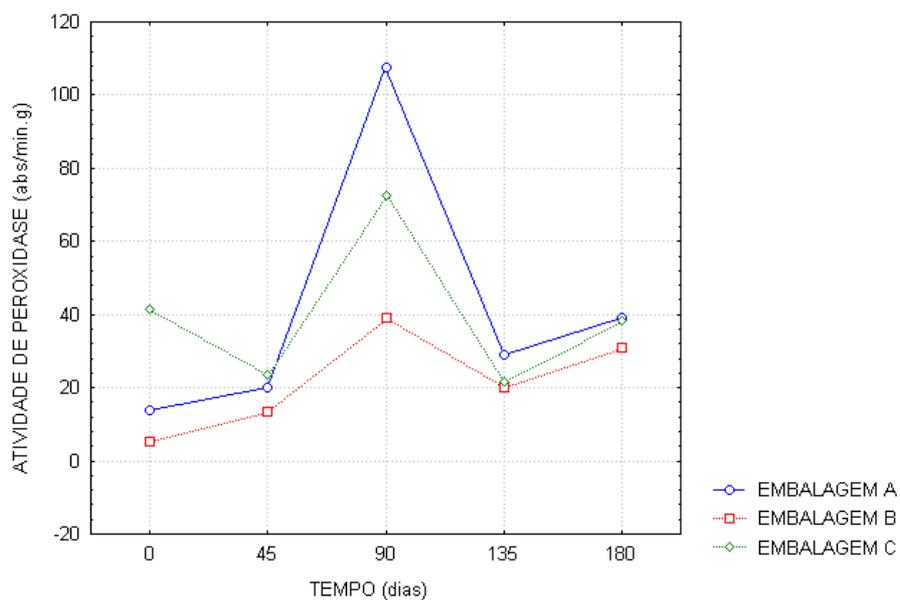


Figura 4. Atividade de peroxidase em barras de cereais durante armazenamento em filmes de PET/PEBD (A), PETmet/PEBD (B) e PET/PEBD/AL/PEBD (C).

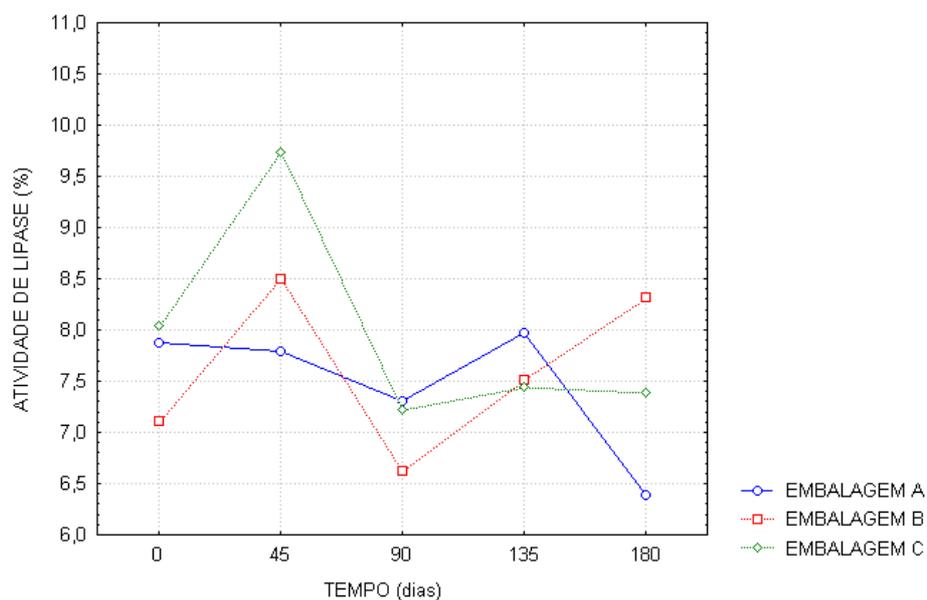


Figura 5. Atividade de lipase em barras de cereais durante armazenamento em filmes de PET/PEBD (A), PETmet/PEBD (B) e PET/PEBD/AL/PEBD (C).

O desenvolvimento de rancidez em cereais e seus produtos tem tomado grande atenção na literatura, pois são conhecidas por alterar flavor, cor, textura e qualidade nutricional de alimentos *in natura* e processados. É sabido que o processo é facilitado ou catalisado por diversos fatores. Os principais agentes são, no entanto, as enzimas, particularmente lipase, lipoxigenase e peroxidase, e a temperatura (SEHYAN, TIJSKENS e EVRANUZ, 2002). As lipases, as quais atacam somente as ligações acil de triacilgliceróis insolúveis, são conhecidas por ocorrer em óleo de grãos de cereais (BORGSTROM e BROCKMAN, 1984). A lipase, uma hidrolase, provoca a rancificação hidrolítica que é o resultado desta hidrólise de glicerídeos produzindo características sensoriais indesejáveis ao alimento (BOBBIO e BOBBIO, 2001). A peroxidase, pertencente a um extenso grupo de enzimas chamadas oxidoredutases, é considerada ter uma relação empírica com “off-flavors” e “off-colors” em vegetais *in natura* e processados (BURNETTE, 1977).

A peroxidase parece ser a enzima mais estável termicamente em plantas, sendo, portanto, largamente utilizada como índice de branqueamento ou de outros tratamentos térmicos (BURNETTE, 1977). Segundo Bruemmer, Bongwoo e Bowen (1976), a enzima é relativamente estável a inativação pelo calor e pode ser regenerada sob certas condições. Burnette (1977) afirma que quanto mais curto o tempo de exposição ao calor, maior a porção de enzima subsequente regenerada. O autor reporta que 6 minutos a 121°C são necessários para inativar a peroxidase em ervilhas. Amostras tratadas a 130°C por 36 segundos reduziram em 6% a atividade de peroxidase depois de 1-2 dias de estocagem. Após 5 dias, a atividade aumentou para 10% em relação a preparação original.

Conforme se pôde observar na *Figura 4*, houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) durante o período de 90 dias de estocagem, provavelmente devido à regeneração da peroxidase. Embora o tratamento de torração do germen de trigo tenha sido severo (180°C durante 8 minutos), o processo não dotava de um sistema de homogeneização, o que implica na possível inativação incompleta nas camadas inferiores. Segundo Sehyan, Tijskens e Evranuz (2002), tratamentos

térmicos aplicados por maior tempo que o usual são requeridos para prevenir a regeneração da atividade da peroxidase em alimentos. A regeneração ocorre provavelmente devido à enzima não ser completamente ou irreversivelmente inativada. Os fatores que afetam a regeneração da atividade de peroxidase compreendem o método usado para detecção da atividade, a severidade do tratamento térmico combinado com o tempo, e as condições de estocagem da enzima inativada. Aos 90 dias de estocagem, a maior atividade se deu nas barras de cereais embaladas no filme A (PET/PEBD), de maior permeabilidade ao oxigênio (TPO_2 0,215 cm³/m².dia.atm), diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) das embalagens B (PETmet/PEBD) e C (PET/PEBD/AL/PEBD) no mesmo período.

A temperatura ambiente durante o armazenamento favoreceu a atividade e regeneração da enzima. Como para todas as enzimas, a atividade de peroxidase aumenta com o aumento da temperatura até aproximadamente 40°C, devido à ação normal da temperatura sobre todas as reações químicas e bioquímicas (SEHYAN, TIJSKENS e EVRANUZ, 2002). Em um trabalho com ervilhas que foram branqueadas suficientemente para inativar a atividade da peroxidase original, Burnette (1977) reportou que a regeneração usualmente ocorre em poucas horas se o produto é deixado à temperatura ambiente. Outro fator que deve ser levado em consideração é o fato de que a maior dificuldade no conhecimento da peroxidase é a presença de múltiplas isoenzimas em vários produtos, como amendoim, milho, cevada, tabaco (BURNETTE, 1977). Segundo Prabha e Patwardhan (1986), a atividade da peroxidase e polifenol oxidase e a existência de suas múltiplas formas ou isoenzimas são documentadas em muitas frutas. Clemente (1996), realizou um estudo de isolamento e termoestabilidade de isoperoxidase em suco de laranja e constatou que, individualmente, as isoenzimas isoladas apresentam estabilidades diferentes frente ao tratamento térmico, e foram mais estáveis que o extrato bruto.

Após 90 dias de estocagem, houve um declínio significativo ($p \leq 0,05$) na atividade de peroxidase nas barras de cereais, em todas as embalagens testadas. Este fato pode ser atribuído à diminuição do oxigênio disponível no interior das

embalagens, o oxigênio residual incorporado no processo de selagem. O aumento na atividade da enzima até o final do período estudado pode ser atribuído ao oxigênio transferido do ambiente através das embalagens, sendo a atividade da peroxidase mais elevada nas barras embaladas no filme A, de maior taxa de permeabilidade ao oxigênio, diferente estatisticamente ($p \leq 0,05$) dos filmes B e C no mesmo período.

Durante o armazenamento sob condições ambiente, a atividade da lipase se apresentou de maneira muito semelhante nas barras de cereais embaladas nos filmes B e C, sem variações significativas (*Figura 5*). No filme A, a atividade de lipase se manteve constante até 90 dias de armazenamento, tendendo a um declínio significativo ($p \leq 0,05$) após este período. Apenas aos 180 dias de estocagem houve variação significativa ($p \leq 0,05$) entre os três filmes testados. Na rancificação hidrolítica, o efeito da enzima pode ser minimizado pela inativação térmica (BOBBIO e BOBBIO, 2001). A atividade de lipase não demonstrou aumento significativo durante os 180 dias de estocagem, o que não acarretaria danos e perdas de qualidade à barra de cereais com relação a rancidez hidrolítica, demonstrando o efeito eficaz do tratamento térmico de torração realizado nos ingredientes gérmen de trigo e aveia, para esta enzima. As pequenas variações nos resultados da atividade de lipase podem ser atribuídas a erros experimentais no procedimento da análise.

4. CONCLUSÃO

As diferentes propriedades dos materiais de embalagem estudados tiveram influência significativa ($p \leq 0,05$) na estabilidade da vitamina C e atividade de peroxidase nas barras de cereais durante o armazenamento. As barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD/AL/PEBD (C) apresentaram maior preservação da vitamina e estabilidade enzimática, sendo esta a embalagem mais eficiente para a estabilidade da barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico com relação a estas características.

As reações de degradação da vitamina C atribuídas à oxidação aeróbica durante a estocagem se ajustaram ao modelo cinético de primeira ordem, linearizada. No período de 180 dias, as barras de cereais embaladas nos três filmes apresentaram uma retenção menor que 50%. No entanto, a embalagem estruturada com folha de alumínio (C) proporcionou menor velocidade de reação ao longo do período de armazenagem e maior tempo de meia vida.

Houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) na atividade de peroxidase durante o início do período de estocagem, provavelmente devido à regeneração da enzima. Embora o tratamento de torração do gérmen de trigo tenha sido severo, o processo sem homogeneização pode ter resultado na inativação incompleta do gérmen nas camadas inferiores. Após este período, a variação na atividade da peroxidase foi dependente do conteúdo de oxigênio residual ou transferido do ambiente através das embalagens, sendo que a maior influência na atividade da enzima se deu nas barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD (A), de maior permeabilidade ao oxigênio.

Os teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) e a atividade de lipase nas barras de cereais apresentaram pequenas variações durante o armazenamento nos três filmes de embalagens testados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMES, S. R. Industrial preparations and production, estimation in foods and foods supplements, occurrence in foods. In: SEBREL JR, W. H.; HARRIS, R. S. **The Vitamins**. 2 ed. New York: Academic press, 1972. v.5, p.225-233.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. 1997. v.2

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL). **Standard guide for the shelf life determination of consumer products by sensory evaluation**. Philadelphia, 1993. 10 p. (ASTM E 18.06.07).

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL). **Standard test method for water vapor permeability of packages**. Philadelphia, 1997a. 2 p. (ASTM D 895-94).

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL). **Standard test method for oxygen gas transmission rate for dry packages using a coulometric sensor**. Philadelphia, 1997b. 6 p. (ASTM F 1307-90).

BENASSI, M. T. **Análise dos estudos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à Química de Alimentos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2003. 238 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 143 p.

BORGSTROM, B.; BROCKMAN, H. L. **Lipases**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1984. 527 p.

BRUEMMER, J. H.; BONGWOO, R.; BOWEN, E. R. Peroxidase reactions and orange juice quality. **Journal of Food Science**, v. 41, n. 1, p.186-189, 1976.

BURNETTE, F. S. Peroxidase and its relationship to food flavor and quality: a review. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 1, p.1-6, 1977.

BUSS, D.; ROBERTSON, J. **Manual of Nutrition**. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, 1978. 135 p.

CEPAGRI METEOROLOGIA UNICAMP. Disponível em www.orion.cpa.unicamp.br Acesso em : mar./abr. 2004.

CLEMENTE, E. Isolamento, purificação e termoestabilidade da isoperoxidase do suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 16, n. 1, p. 1-5, 1996.

DZIEZAK, J. D. Preservatives: antioxidants. The ultimate answer to oxidation. **Food Technology**, n. 40, v. 9, p. 94-102, 1986.

EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. Lipase activity in oats – Distribution, pH dependence, and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 4, p. 379-381, 1992.

ESTÉVEZ, A. M.; ESCOBAR, B.; VÁZQUEZ, M.; CASTILLO, E.; ARAYA, E.; ZACARÍAS, I. Cereal and nut bars, nutritional quality and storage stability. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 47, n. 4, p. 309-317, 1995.

GARCIA, E. E. C.; PADULA, M.; SARANTOPOULOS, C. I. G. L. **Embalagens plásticas – propriedades de barreira**. Campinas: CETEA/ITAL, 1989. 44 p.

KAUR, J.; RAMAMAURTHY, V.; KOTHARI, R. M. Characterization of oat lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, v. 15, n. 3, p. 257-262, mar, 1993.

LABUZA, T. P. **Shelf life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press Inc., 1982. 500 p.

LEENHEER, A. P.; LAMBERT, W. E.; RUYTER, M. G. M. **Modern Chromatographic Analysis of the Vitamins**. New York: Marcel Decker, 1985. v.30, 556 p.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetables and meat products. **Lebensm.-Wiss. U. – Technology**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

MACHLIN, L. J. **Handbook of Vitamins**. New York: Marcel Decker, 1982. 720 p.

NAGY, S. Vitamin C content of citrus fruit and their products. A Review. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 28, p. 8-18, 1980.

PADULA, M. Influência da embalagem na vida de prateleira de alimentos. In: **Manual do curso de reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados**. Campinas: FRUTOTEC/ITAL, 2002.

PRABHA, T. N.; PATWARDHAN, M. V. Polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) enzyme activities and their isoenzyme patterns in ripening fruits. **Acta Alimentaria**, v. 15, n. 3, p. 199-207, 1986.

SAS Institute. **SAS User's Guide: statistics**. Cary, USA: SAS Inst., 1993.

SEYHAN, F.; TIJSKENS, L. M. M.; EVRANUZ, O. Modelling temperature and pH dependence of lipase and peroxidase activity in Turkish hazelnuts. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 387-395, may, 2002.

StatSoft, Inc. (1995). **STATISTICA for Windows [Computer program manual]**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, I. S. Kinetics of Food Deterioration and Shelf-life Prediction. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **The Handbook of Food Engineering Practice**. Boca Raton: CRC Press, 1997. Cap. 10, p. 361-402.

TETTWEILLER, P. Snack food worldwide. **Food Technology**, v. 45, n. 2, p. 58-62, 1991.

TOCKMAN, J. Capitalizing on increasing consumer interest in soy protein. **Cereal Foods World**, v. 47, n. 5, p. 172-174, may, 2002.

CAPÍTULO V

BARRA DE CEREAIS A BASE DE PROTEÍNA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO E AVEIA: ESTABILIDADE FÍSICO- QUÍMICA, SENSORIAL E TEXTURA DURANTE ARMAZENAMENTO

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

Artigo submetido à revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición

CAPÍTULO V**BARRA DE CEREAIS A BASE DE PROTEÍNA DE SOJA, GÉRMEN DE TRIGO
E AVEIA: ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA, SENSORIAL E TEXTURA
DURANTE ARMAZENAMENTO**

FREITAS¹, Daniela De Grandi Castro; MORETTI¹, Roberto Hermínio

¹ Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Rua Monteiro Lobato, s/n, Campinas-SP, CP 6121, CEP 13083-862, degrandi@fea.unicamp.br

RESUMO

Processadores de alimentos voltados para nutrição esportiva desenvolvem seus produtos diante do desafio de proporcionar melhor performance, apresentando ao mesmo tempo sabor, textura e aparência atrativos. Os concentrados texturizados de soja estão sendo utilizados em uma variedade de extrusados que podem ser adaptados a muitos tipos de alimentos processados. Paralelamente, a popularidade de barra de cereais está agora entre os mais sofisticados consumidores. Alguns estudos sobre barra de cereais vêm reportando características e preferências de consumidores em análise sensorial e crescimento do mercado, porém, pouca informação tem sido publicada sobre dados físico-químicos e suas propriedades de textura. Assim, este trabalho vem estabelecer informações sobre características físico-químicas, sensoriais e de textura instrumental de uma formulação de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, acondicionadas em três materiais de embalagem (embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD) durante 180 dias de armazenamento. Foram determinadas a umidade, atividade de água, pH e acidez total das barras de cereais. As medidas texturais acompanhadas foram resistência ao corte, dureza e coesividade. A avaliação sensorial foi realizada

através de teste de aceitação e intenção de compra durante o armazenamento. As barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico apresentaram variações na atividade de água (Aa), umidade e acidez total durante o armazenamento. A umidade das barras de cereais tendeu a um aumento, o que acarretou influência significativa ($p \leq 0,05$) nas características de textura de resistência ao corte e dureza das barras de cereais. Os maiores valores de resistência ao corte foram atribuídos à possível cristalização do xarope de aglutinação das barras. A proteína texturizada de soja utilizada na formulação também pode ter contribuído para este fato por sua característica higroscópica, além de interferir na diminuição das medidas de coesividade (deformação) ao longo do tempo. As barras de cereais formuladas com proteína texturizada de soja, gérmen de trigo e aveia obtiveram boa aceitação sensorial perante consumidores nos atributos de sabor e aspectos visuais, porém, a sensação de textura provocada foi de menor aceitação. A aceitação sensorial das barras de cereais tendeu a um declínio ao longo do tempo, associado à diminuição da intenção de compra do produto. O efeito das diferentes propriedades de barreira dos filmes de embalagens testados foi significativo ($p \leq 0,05$) na estabilidade das barras de cereais ao longo do período de estocagem, sendo o filme de PET/PEBD/AL/PEBDBD (C) o que proporcionou maior barreira à umidade ambiente e estabilidade nas características de textura de resistência ao corte e dureza.

Palavras-chave: barra de cereais, estocagem, análise sensorial, textura instrumental, características físico-químicas.

SUMMARY

Food processors of nutritional sport foods are faced with the challenge of developing foods that not only improve performance but also are attractive, tasty and with an agreeable texture. Textured soy concentrates are being used in a variety of extruded products that could be adapted to many types of processed food. At the same time cereal bars have become popular amongst the most

sophisticated of consumers. Studies analyzing cereal bars have reported on consumer characteristics and preferences in sensory analyses and on their market growth, however little has been published on their physicochemical data and texture properties. Thus the objective of this research was to provide information on the physicochemical, sensory and instrumental texture characteristics of a cereal bar with high protein and vitamin levels based on soy protein, wheat germ and oat, packaged in 3 films (film A: PET/PEBD; film B: PETmet/PEBD; film C: PET/PEBD/AL/PEBD), during 180 days of storage. The moisture content, water activity, pH and total acidity of the cereal bars were determined. The textural measurements accompanied during storage were breaking strength, hardness and cohesiveness. The sensory analyses carried out during storage were those of acceptance and intention to buy. The cereal bars with high protein and vitamin levels presented variations in water activity (A_w), moisture content and total acidity during storage. The moisture content of the bars tended to increase, which led to a significant ($p \leq 0,05$) influence on the texture characteristics of breaking strength and hardness. The highest values for breaking strength were attributed to a possible crystallization of the agglutinating syrup used for the bars. The textured soy protein used in the formulation could also have contributed to this fact due to its hygroscopic character, also interfering in the decrease in the cohesiveness measurements (deformation) with time. The cereal bars formulated with textured soy protein, wheat germ and oats showed good sensory consumer acceptance with respect to the attributes of flavor and appearance but the texture was less accepted. The sensory acceptance of the cereal bars tended to decrease with time, with an associated decrease in the intention to buy. The effect of the different barrier properties of the packaging films tested was significant ($p \leq 0,05$) in the stability of the cereal bars during storage, being the film of PET/PEBD/AL/PEBD (C) of more barrier to the ambient moisture and stability in the texture characteristics of breaking strength and hardness.

Key words: cereal bars, storage, sensory analysis, instrumental texture, physicochemical characteristics.

1. INTRODUÇÃO

Vários produtos comerciais hoje aproveitam as características oferecidas pela proteína de soja. Processadores de alimentos voltados para nutrição esportiva desenvolvem seus produtos diante do desafio de proporcionar combinações de seus ingredientes para melhorar a performance, enquanto que ao mesmo tempo o produto apresente sabor, textura e aparência atrativos. A adição de proteínas na dieta é utilizada freqüentemente devido à necessidade de aminoácidos essenciais não produzidos pelo corpo, que devem ser supridos pela dieta. Para os processadores de alimentos e suplementos esportivos, a proteína de soja contribui de maneira viável nas características funcionais em processamentos oferecendo também completa digestibilidade. Os isolados e concentrados de proteína de soja são facilmente digeridos pelos humanos e equivalem em qualidade às proteínas do leite, carnes e ovos. Os concentrados texturizados de soja são utilizados em uma variedade de extrusados de formas, tamanhos e cores que podem ser adaptados a muitos tipos de alimentos processados (MOTT, 1997).

Paralelamente, a popularidade de barra de cereais está agora entre os mais sofisticados consumidores através de apelos como “ingredientes naturais” e “saúde” (NEW, 1997). Segundo Hollingsworth (2002), a categoria de “snacks” teve um crescimento fenomenal de 25% entre os anos de 1999 e 2002. Portabilidade e embalagem, sabor e valor nutricional são parte da equação de sucesso neste competitivo mercado.

A expansão do mercado de barra de cereais vem se mostrando favorável até agora, mas desde que inovações como produtos saudáveis, de alto teor de fibras e baixo teor de gorduras expandiram, uma maior competição vem se destacando (BOWER E WHITTEN, 2000). Um trabalho de Boustani e Mitchell (1990) examinou a opinião de consumidores de barra de cereais e constatou que respostas associadas com alimento saudável e apelos relacionando “saúde” e “sabor”, são as razões de compra do produto. “Snacks” e produtos açucarados

continuam sendo uma fatia dominante na dieta desses consumidores, ancorados, ambos processadores e consumidores, na imagem saudável destes produtos.

Alguns estudos sobre barra de cereais vêm reportando características e preferências de consumidores em análise sensorial e crescimento do mercado. Porém, pouca informação tem sido publicada sobre dados físico-químicos e suas medidas instrumentais de textura. Assim, considerando que o consumo de barras de cereais vem conquistando grande importância, e visando o aproveitamento da proteína de soja, cada vez mais usada em alimentos pela sua alegação de funcionalidade, o objetivo deste trabalho foi estabelecer informações sobre características físico-químicas, sensoriais e de textura instrumental de uma formulação de barra de cereais sabor banana com elevado teor protéico e vitamínico à base de proteína de soja, gérmen de trigo e aveia, acondicionadas em três materiais de embalagem diferentes, durante armazenamento por 180 dias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

A barra de cereais foi manufaturada utilizando-se os seguintes ingredientes: proteína texturizada de soja, gérmen de trigo torrado (tratamento térmico de 180°C por 8,0 minutos no produto com teor de umidade aumentado a 28% e distribuído em bandejas numa proporção de 0,1g/cm²), aveia em flocos, banana desidratada. A aglutinação dos ingredientes na barra foi feita com uma mistura de açúcares (açúcar integral - mistura de açúcar cristal e melaço de cana na proporção de 95:5 - xarope de glicose, maltodextrina) e materiais gordurosos (lecitina de soja, gordura vegetal hidrogenada, glicerina). O produto foi adicionado de vitaminas C (ácido ascórbico) e E (acetato de α -tocoferol 50%). A *Tabela 1* mostra a formulação da barra de cereais desenvolvida. As barras preparadas pesaram aproximadamente 25g. Foram utilizados três materiais de embalagem com diferentes propriedades de barreira os quais estão especificados na *Tabela 2*.

TABELA 1. Proporção dos ingredientes usados na fabricação da barra de cereais

	(%)
Ingredientes secos	45,5
Açúcares	44,5
Materiais gordurosos	7,5
Água	2,5

TABELA 2. Especificações técnicas dos materiais de embalagem

EMBALAGEM A	g /m ²	EMBALAGEM B	g /m ²	EMBALAGEM C	g /m ²
Poliéster (PET)	17,0	Poliéster (PET)	17,0	Poliéster (PET)	17,0
Tintas	3,9	Tintas	4,5	Tintas	4,1
Adesivo	2,0	Metalização (met)	0,1	Polietileno (PEBD)	15,0
Filme de Polietileno (PEBD)	65,0	Adesivo	2,0	Alumínio (AL)	21,6
		Filme de Polietileno (PEBD)	45,0	Polietileno (PEBD)	15,0
				Filme de Polietileno (PEBD)	30,0

Dados fornecidos pelo fabricante Shellmar Embalagens Modernas Ltda., São Paulo-SP.

As características de espessura, taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) e ao oxigênio (TPO₂) dos filmes utilizados estão descritas na *Tabela 3*.

TABELA 3. Propriedades de barreira dos materiais de embalagem

	Espessura (mm)	TPO ₂ (cm ³ /m ² .dia.atm)	TPVA (g água/m ² .dia)
<i>Embalagem A</i>	0,0760	0,215	6,660
<i>Embalagem B</i>	0,0556	0,160	7,898
<i>Embalagem C</i>	0,0842	0,120	3,611

Freitas e Moretti (2004)

Dados são médias de três replicatas

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD

TPO₂: taxa de permeabilidade ao oxigênio; TPVA: taxa de permeabilidade ao vapor de água.

2.2. Métodos

As barras de cereais foram embaladas e armazenadas em condições de temperatura e umidade relativa ambiente. A estabilidade quanto às características físico-químicas, sensoriais e de textura foi verificada durante o armazenamento, sendo estas determinações realizadas logo após o processamento (tempo 0), e então aos 45 dias (tempo 1), 90 dias (tempo 2), 135 dias (tempo 3), 180 dias (tempo 4) e 196 dias (tempo 5) de estocagem, conforme ASTM (1993).

2.2.1. Características físico-químicas

Foram realizadas as determinações de umidade através do método descrito pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1976); atividade de água em aparelho AQUA Lab CX 2 (Degagon Devices Inc., Washington, EUA); pH em aparelho Digimed DM-20 (Digicron Analítica Ltda., São Paulo, Brasil); e acidez total titulável pelo método padrão AOAC (1997).

* FREITAS, D. G. C.; MORETTI, R. H. Barra de Cereais a Base de Proteína de Soja e Gérmen de Trigo: Estabilidade de Vitaminas e Enzimática durante Armazenamento. In: FREITAS, D. G. C. **Desenvolvimento e Estudo da Estabilidade de Barra de Cereais Protéica Funcional**. 2004. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

2.2.2. Avaliação sensorial

Amostras de um terço de barras de cereais foram apresentadas aos consumidores à temperatura ambiente em códigos de 3 dígitos. A ordem de apresentação foi balanceada randomicamente através do delineamento de uma tabela de números. A avaliação sensorial foi realizada por uma equipe de 29 indivíduos não treinados, estudantes da Universidade Estadual de Campinas familiarizados com testes sensoriais, de ambos os sexos e idade entre 20 e 40 anos. O procedimento se deu em uma sala de avaliação sensorial com cabines individuais, sob luz branca equivalente à luz do dia. As sessões foram conduzidas a cada 45 dias pela mesma equipe de provadores, sendo composta por três amostras de barra de cereais correspondentes aos três diferentes filmes de embalagem testados, apresentadas monadicamente. Escalas hedônicas não estruturadas de nove pontos que abrangiam “desgostei muitíssimo” a “gostei muitíssimo” foram utilizadas no teste de aceitação das barras de cereais durante o armazenamento, conforme Moraes (1990). A intenção de compra durante o período foi avaliada através de escala estruturada (1-certamente não compraria; 5-certamente compraria). A ficha de avaliação está apresentada na *Figura 1*.

NOME: _____ E-MAIL: _____
 DATA: _____

Você está recebendo uma amostra codificada de BARRA DE CEREAIS de alto valor protéico SABOR BANANA. Por favor, avalie de acordo com cada atributo apresentado e assinale na escala correspondente, o quanto você GOSTOU ou DESGOSTOU da amostra.

Amostra N° _____

	Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
Em relação à aparência	_____	_____
Em relação à cor	_____	_____
Em relação ao sabor	_____	_____
Em relação à textura	_____	_____
Em relação à impressão global	_____	_____

Baseado na avaliação da amostra acima, marque qual seria sua intenção se encontrasse este produto a venda, utilizando a escala abaixo. **Se você encontrasse esta barra de cereais a venda, você:**

- 5- certamente compraria
- 4- provavelmente compraria
- 3- talvez comprasse, talvez não comprasse
- 2- provavelmente não compraria
- 1- certamente não compraria

Comentários: _____

Obrigado pela sua grande colaboração!!

Figura 1. Ficha utilizada no teste de aceitação sensorial e intenção de compra de barra de cereais durante armazenamento.

2.2.3. Textura Instrumental

Resistência ao corte, dureza e coesividade (deformação) foram determinados com o analisador de textura TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), segundo Onwulata et al. (2000). A força de corte foi definida pela medida da máxima força requerida para quebrar as amostras de barras de cereais (peças de aproximadamente 45mm X 15mm) utilizando-se o “probe” Warner-Bratzler na velocidade de 0,2mm/s. A dureza foi medida pela penetração das amostras com um “probe” de 6mm, sendo a medida da máxima força no ciclo da primeira compressão. A coesividade foi determinada como a razão entre as forças representadas pela altura das áreas da primeira e segunda compressão. A velocidade para as medidas foi de 1mm/s e as medidas foram realizadas a temperatura de 25°C. Os dados reportados são médias de 10 testes.

2.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram avaliados pelo método de análise de variância (ANOVA) e teste F com comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ambos do software estatístico SAS (1993). As notas de aceitação sensorial foram analisadas através da técnica de regressão para mostrar a relação entre as respostas e o tempo de estocagem, através do programa Statistica 5.0 (Statsoft Inc., 1995), segundo Labuza e Schimdt (1988). Testes de correlação foram realizados através do teste qui-quadrado e correlação de Pearson.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características físico-químicas

Os valores de atividade de água (Aa), umidade, acidez total e pH da barra de cereais armazenadas nas três diferentes embalagens durante o armazenamento estão descritos na *Tabela 4*.

TABELA 4. Mudanças nas características físico-químicas de barra de cereais durante estocagem em diferentes embalagens sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

	Dias	Aa	Umidade (%)	Acidez total (ml de NaOH)	pH
Embalagem A	0	0,613 ^c	10,190 ^c	8,875 ^a	4,84 ^b
	45	0,654 ^a	10,866 ^{bc}	7,167 ^{bc}	5,23 ^a .
	90	0,643 ^b	12,350 ^a	7,100 ^{bc}	5,14 ^a
	135	0,648 ^{ba}	11,465 ^{ba}	6,466 ^c	5,17 ^a
	180	0,646 ^{ba}	11,810 ^a	7,700 ^b	5,14 ^a
	196	0,646 ^{ba}	11,750 ^a	7,965 ^b	5,16 ^a
Embalagem B	0	0,628 ^b	11,345 ^b	8,050 ^a	4,83 ^c
	45	0,663 ^a	11,616 ^{ba}	8,167 ^a	5,17 ^b
	90	0,619 ^b	11,600 ^{ba}	6,033 ^b	5,17 ^b
	135	0,652 ^a	11,517 ^{ba}	7,200 ^{ba}	5,32 ^a
	180	0,664 ^a	12,086 ^a	8,000 ^a	5,21 ^b
	196	0,668 ^a	12,365 ^a	8,236 ^a	5,22 ^b
Embalagem C	0	0,649 ^c	10,930 ^a	8,850 ^b	4,91 ^c
	45	0,656 ^{cb}	11,196 ^a	8,100 ^{bc}	5,23 ^a
	90	0,666 ^{ba}	11,323 ^a	6,333 ^d	5,17 ^b
	135	0,672 ^a	11,867 ^a	7,900 ^c	5,32 ^{ba}
	180	0,654 ^{cb}	11,397 ^a	9,833 ^a	5,16 ^b
	196	0,652 ^{cb}	11,425 ^a	10,002 ^a	5,17 ^b

Dados são médias de três replicatas

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

A Aa das barras durante o período de estocagem (*Figura 2*) tendeu a variações com nível próximo a 0,64 nas três embalagens utilizadas. Notou-se que as maiores variações aconteceram até 135 dias, no entanto, apenas na embalagem C (PET/PEBD/AL/PEBD) houve um aumento gradativo da Aa durante este período. Estas pequenas variações podem ter ocorrido devido à característica heterogênea das amostras de barra de cereais, bem como variações na manufatura dos lotes.

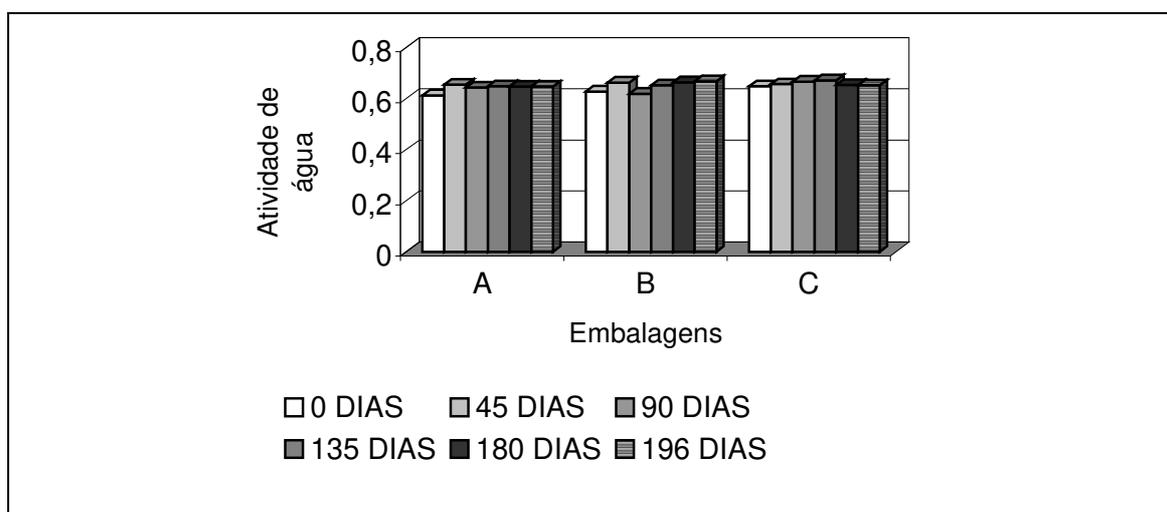


Figura 2. Atividade de água (Aa) de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.

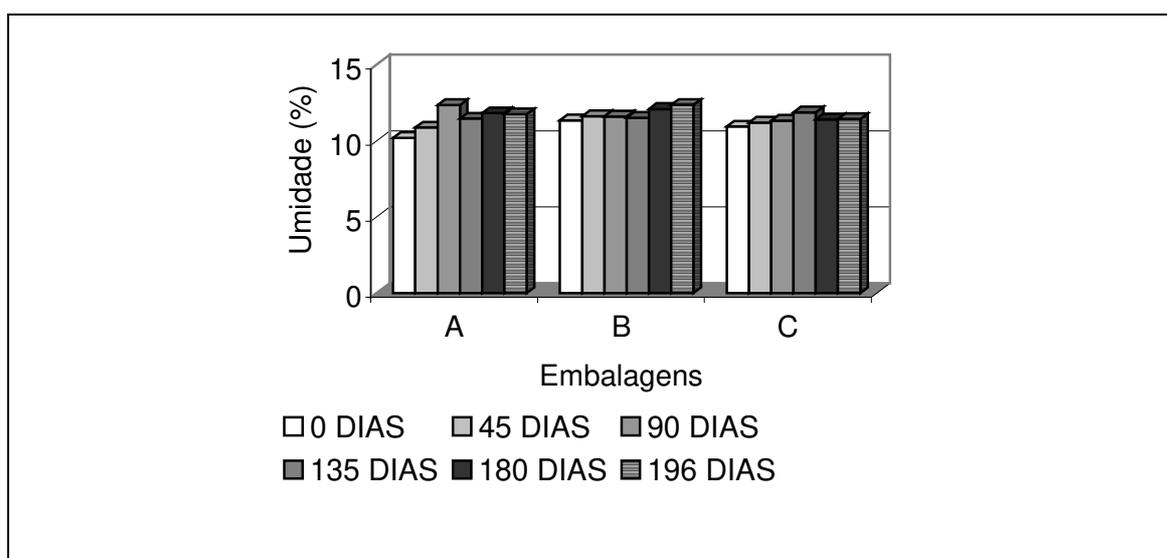


Figura 3. Umidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.

Como observado na *Figura 3*, a umidade das barras de cereais tendeu a um aumento, sendo que variações significativas ($p \leq 0,05$) aconteceram nos filmes A (PET/PEBD) e B (PETmet/PEBD), de menor barreira ao vapor de água (TPVA de 6,713 e 7,113 g água/m².dia, respectivamente). A umidade das barras durante todo o período de estocagem na embalagem C (PET/PEBD/AL/PEBD) não diferiu estatisticamente, confirmando melhor barreira conseqüente à folha de alumínio em sua composição.

A acidez total das barras de cereais mostrou grande variação durante todo o período de estocagem, nos três diferentes materiais de embalagem (*Figura 4*). Houve uma tendência de decréscimo no período de 90 dias, seguido de um aumento até o final do experimento, supostamente pela degradação do ácido ascórbico adicionado na formulação e posterior produção de ácidos devido ao possível processo de degradação microbiológica ou ação de degradação de lipídeos pela presença de ácidos graxos provenientes da hidrólise dos glicerídeos. Para qualquer tipo de bactéria, o valor mínimo de atividade de água requerido para o crescimento é de 0,75 (bactérias halófilas), enquanto que as leveduras osmófilas e fungos xerófilos são capazes de se desenvolver em atividade de água de 0,61 e 0,65, respectivamente, usando como substrato açúcares e glicose, originando produtos como ácido cítrico, ácido glucônico, e ácidos oléico, linoléico, e palmítico (EVANGELISTA, 2003; SILVA, 2000).

Observou-se um aumento significativo ($p \leq 0,05$) de pH nas barras de cereais aos 45 dias de estocagem (*Figura 5*), associado à diminuição da acidez total das barras, nos três tipos de filmes de embalagem. Ligeiras variações ocorreram após este período, em torno do valor de pH 5,2.

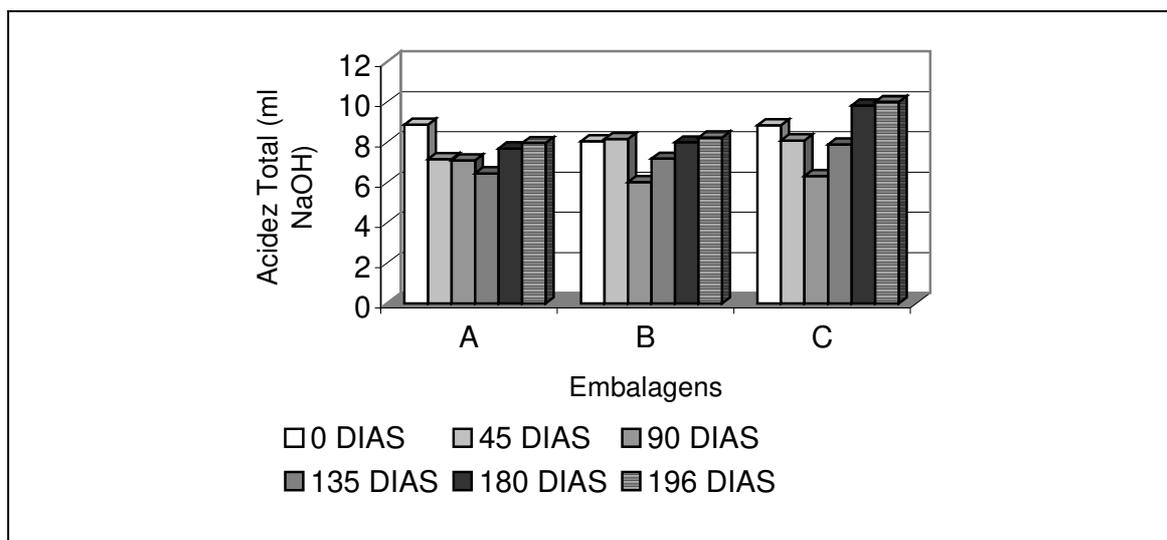


Figura 4. Acidez total de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.

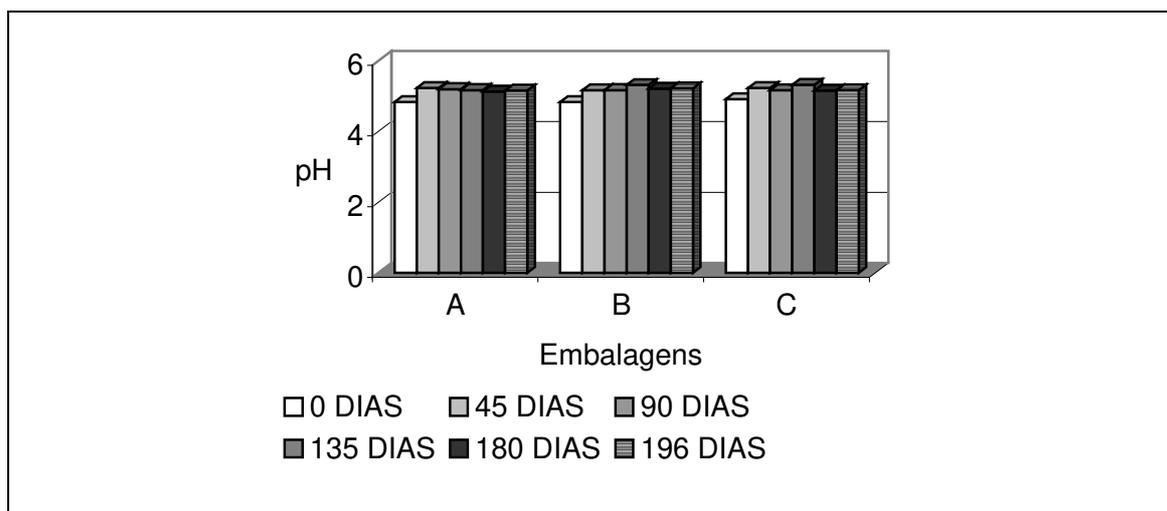


Figura 5. pH de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante estocagem.

3.2. Avaliação Sensorial

Os dados referentes à aceitação sensorial de barra de cereais durante o período de armazenamento estão apresentados na *Tabela 5*.

TABELA 5. Mudanças nas características sensoriais de barra de cereais durante estocagem em diferentes embalagens sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes

Dias	Embalagem	Aparência	Cor	Sabor	Textura	Impressão Global
0		7,29	7,45	7,52	6,07	7,37
45	A	7,17 ^a	7,18 ^a	6,45 ^a	5,64 ^a	6,71 ^a
	B	7,02 ^a	7,13 ^a	7,18 ^a	6,31 ^a	7,08 ^a
	C	7,17 ^a	6,56 ^a	6,73 ^a	5,88 ^a	6,86 ^a
90	A	6,14 ^a	5,92 ^a	5,48 ^b	5,17 ^a	5,72 ^b
	B	6,26 ^a	6,08 ^a	6,54 ^a	5,31 ^a	6,36 ^{ab}
	C	6,22 ^a	6,12 ^a	6,80 ^a	5,97 ^a	6,52 ^a
135	A	6,10 ^a	5,68 ^a	5,69 ^a	5,03 ^a	5,85 ^a
	B	5,70 ^a	5,42 ^a	5,68 ^a	4,70 ^a	5,45 ^a
	C	5,81 ^a	5,54 ^a	6,21 ^a	4,54 ^a	5,64 ^a
180	A	5,30 ^a	5,24 ^a	5,32 ^a	4,35 ^a	5,21 ^a
	B	5,58 ^a	5,51 ^a	5,69 ^a	4,90 ^a	5,57 ^a
	C	5,40 ^a	5,25 ^a	5,19 ^a	4,94 ^a	5,26 ^a
196	A	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-

Dados são médias das notas atribuídas por 29 provadores

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

As médias apresentadas para a aceitação sensorial quanto aos atributos aparência, cor, sabor, textura e impressão global não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os três materiais de embalagem testados, exceto aos 90 dias de armazenamento, onde as barras de cereais embaladas no filme A receberam menores médias para o sabor, diferindo dos demais filmes; e para impressão global, diferindo das embaladas no filme C. O filme de embalagem A, composto de poliéster e filme de polietileno, apresenta maior taxa de permeabilidade ao oxigênio ($TPO_2 = 0,215 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{atm}$) e menor barreira ao vapor de água (TPVA de $6,713 \text{ g água}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$), o que proporcionou, aos 90 dias, aumento da umidade e diminuição da acidez das barras de cereais com variações mais significantes, podendo ter ocasionado mudanças na textura e o desmascaramento de sabores estranhos relacionados a processos de oxidação.

O atributo textura das barras de cereais apresentou maior diminuição na aceitabilidade atingindo níveis próximos a 25% de redução nas médias aos 135 dias de armazenamento nos materiais de embalagem testados. Aos 180 dias, os provadores atribuíram nota menor de 4,50 para o atributo textura nas barras de cereais embaladas no filme A, o que implicou na interrupção da avaliação sensorial das barras de cereais, determinando o período máximo de armazenamento do produto quanto a sua aceitação sensorial.

A International Organization for Standardization define a textura de um produto como todos os atributos reológicos e estruturais (geométricos e superficiais) perceptíveis pelos receptores dos sentidos mecânicos, tácteis, e quando apropriado, visuais e auditivos. Em alguns produtos, somente um destes sentidos é usado para perceber a textura do produto. Em outros, a textura é percebida pela combinação de todos eles. A textura percebida pelo sentido do tato oral avalia o efeito de características geométricas de tamanho, forma e orientação das partículas; características mecânicas de adesividade, coesividade, elasticidade, dureza e viscosidade; e as mudanças que ocorrem no interior da cavidade oral relacionadas ao teor de umidade e gorduras do alimento e ao aumento da temperatura na cavidade (LAWLESS e HEYMANN, 1999), o que torna

difícil a definição da característica da barra de cereais responsável pela menor aceitabilidade do atributo textura.

As notas dos testes de aceitação foram analisadas estatisticamente pela técnica de regressão, que é freqüentemente usada para mostrar a magnitude da relação entre as respostas sensoriais e o tempo de estocagem (DETHMERS, 1979). Coeficientes de regressão acima de 0,80 e valores de $p < 0,05$ foram considerados índices de uma boa correlação entre a aceitação sensorial das barras de cereais e o tempo de estocagem (*Tabela 6*).

TABELA 6. Índices de correlação entre as respostas sensoriais e o tempo de estocagem (coeficiente de correlação linear R^2 e valores de p) das barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico em diferentes embalagens

Atributos	Embalagem A		Embalagem B		Embalagem C	
	R^2	$p <$	R^2	$p <$	R^2	$p <$
Aparência	0,9108	0,0116	0,9548	0,0041	0,9566	0,0038
Cor	0,9347	0,0072	0,9043	0,0129	0,9691	0,0023
Sabor	0,8069	0,0383	0,9407	0,0062	0,9008	0,0136
Textura	0,9717	0,0020	0,7888*	0,0441*	0,6460*	0,1012*
Impressão Global	0,9063	0,0125	0,9151	0,0107	0,9802	0,0012

*valores representam baixa correlação entre a resposta sensorial e o tempo de estocagem

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

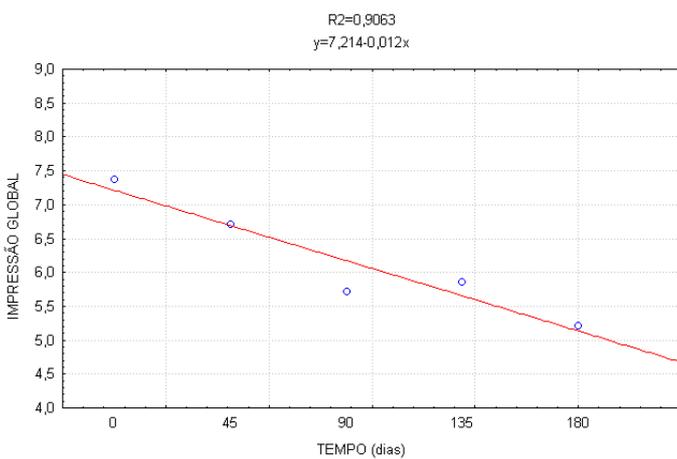
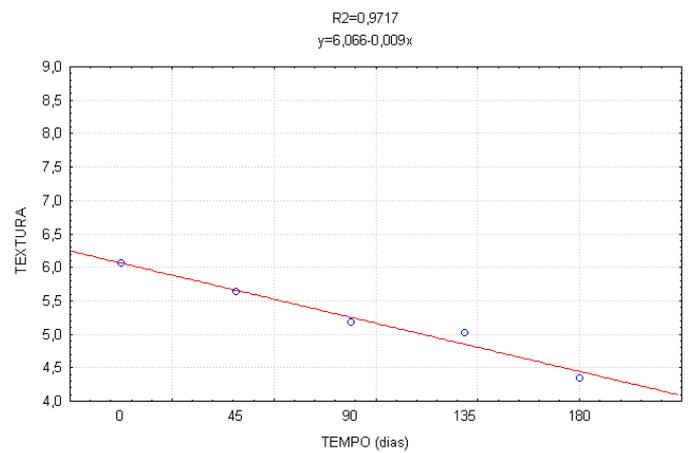
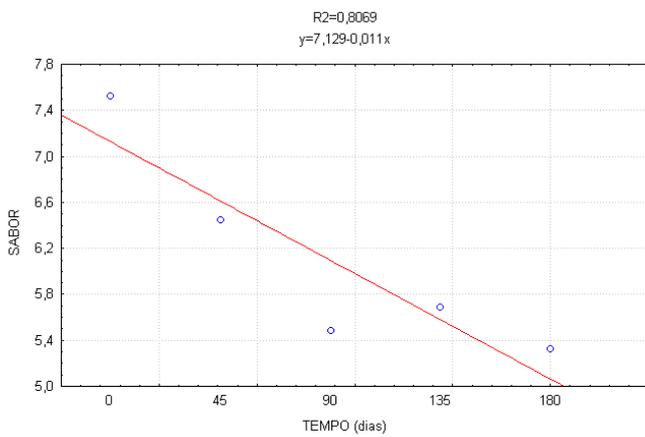
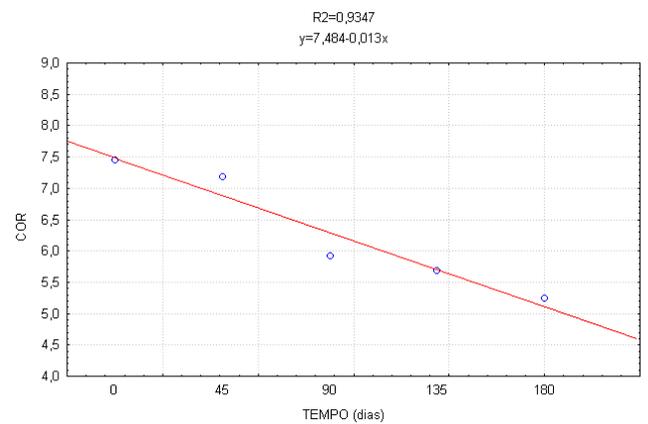
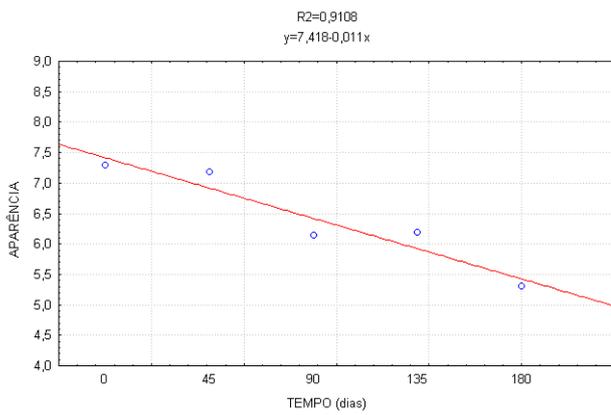


Figura 6. Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD (Embalagem A) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.

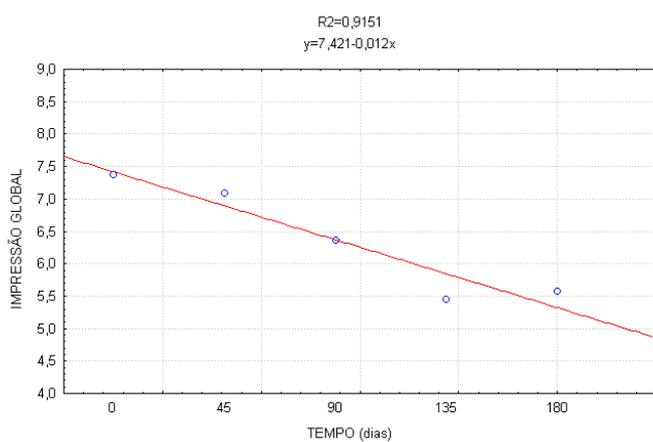
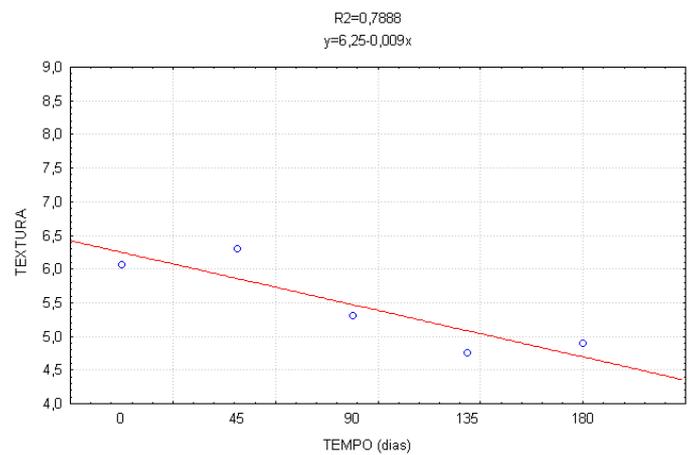
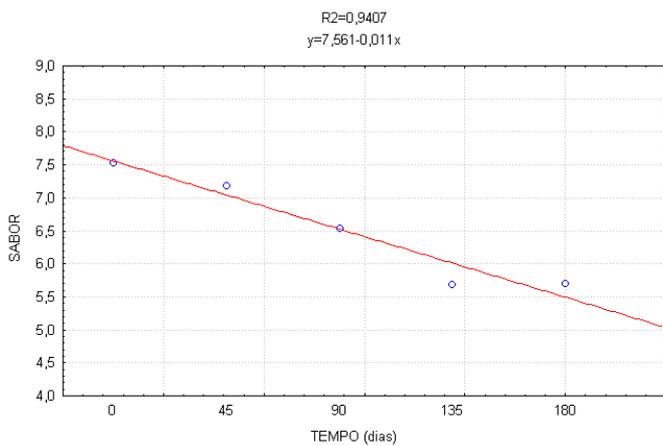
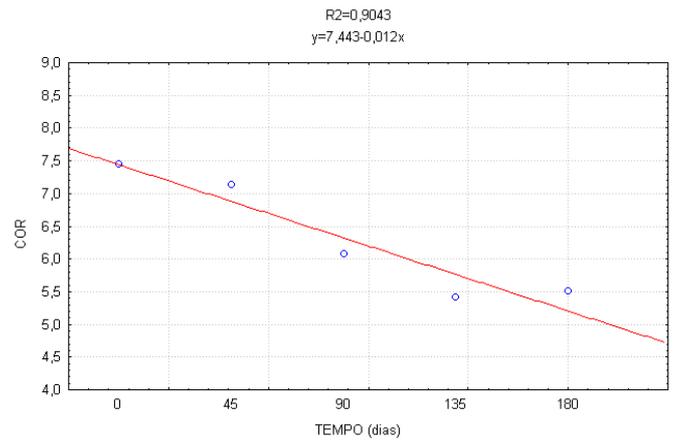
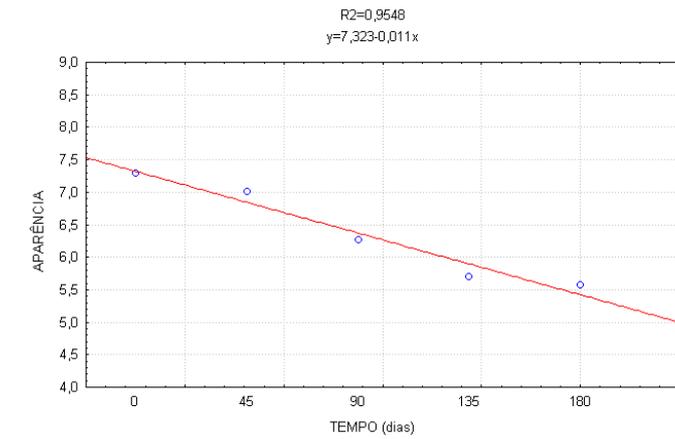


Figura 7. Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PETmet/PEBD (Embalagem B) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.

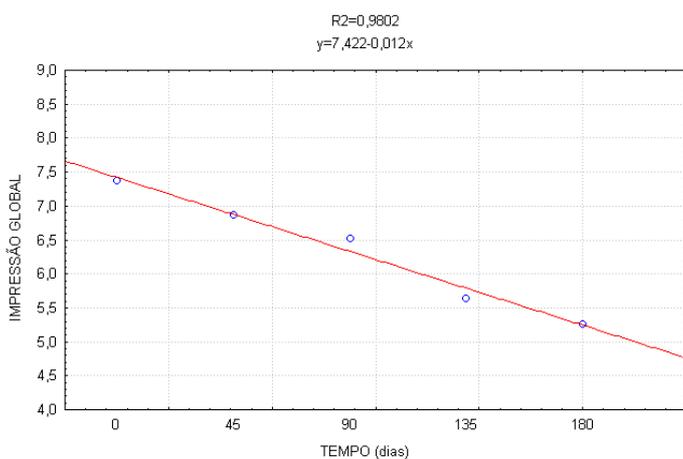
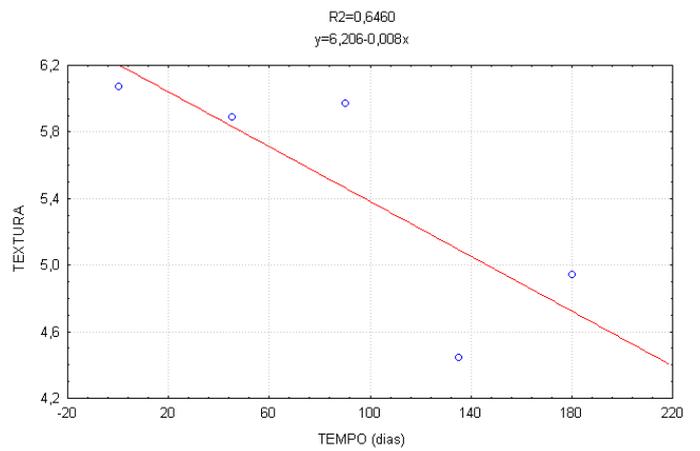
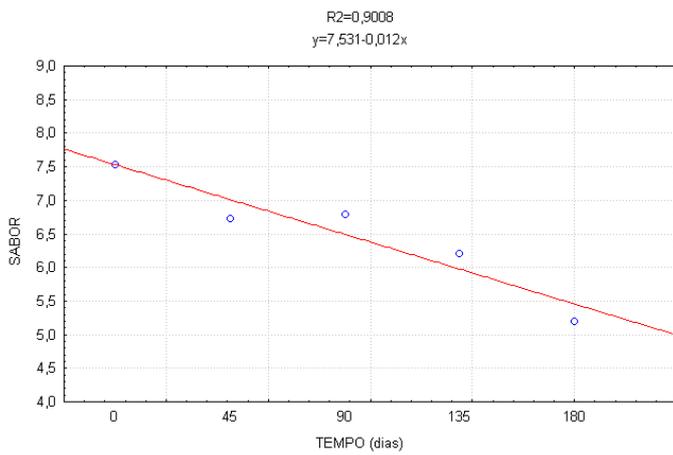
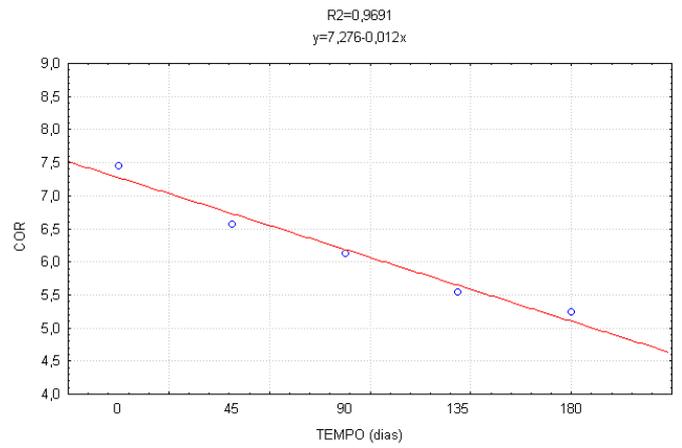
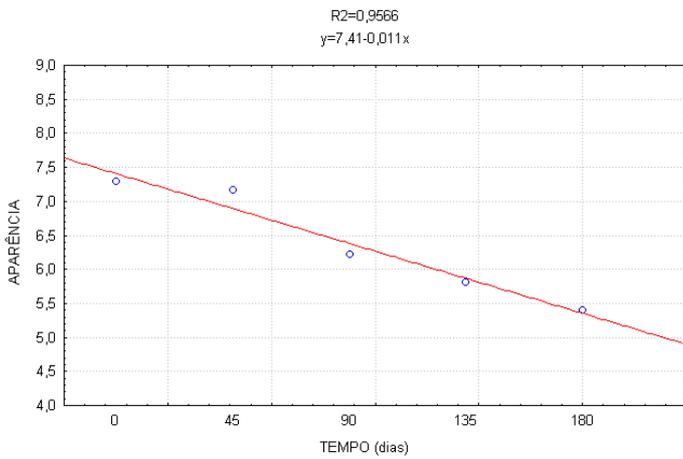


Figura 8. Mudanças na aparência, cor, sabor, textura e impressão global (aceitação sensorial) de barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante estocagem sob condições de temperatura e umidade relativa ambientes.

Em todos os filmes de embalagem avaliados, as notas de aceitação para aparência, cor, sabor e impressão global diminuíram gradualmente durante o período de estocagem apresentando alto índice de correlação com o tempo (*Figura 6, 7 e 8*). No entanto, as barras de cereais embaladas nos filmes B (PETmet/PEBD) e C (PET/PEBD/AL/PEBD) não apresentaram correlação entre a textura e o tempo de armazenamento, apresentando coeficientes de regressão de 0,7888 e 0,6460 respectivamente. Estes dados indicam que a diminuição da aceitação quanto à textura das barras de cereais não sofreu influência de fatores externos a estas embalagens, uma vez que as estruturas compostas de metalização e folha de alumínio que compõe os filmes conferem maior barreira ao oxigênio, umidade e luminosidade que o filme A (PET/PEBD), embora o filme B tenha apresentado maior taxa de permeabilidade ao vapor de água.

A diminuição da aceitação sensorial das barras de cereais foi semelhante aos resultados apresentados por Estévez et al. (1995) durante estocagem de barras de cereais sob condições aceleradas.

Os resultados do questionário apresentado aos provadores sobre a intenção de compra das barras de cereais durante o período de estocagem estão representados pelas *Figuras 9 e 10*.

A resposta “certamente compraria” e “provavelmente compraria”, referentes à intenção de compra, obtiveram grande frequência durante todo o período de armazenamento, nos três filmes de embalagem testados. Porém, a ocorrência das respostas “compraria” apresentou um decréscimo com o tempo de estocagem, paralelo ao aumento das respostas “provavelmente não compraria” e “certamente não compraria”.

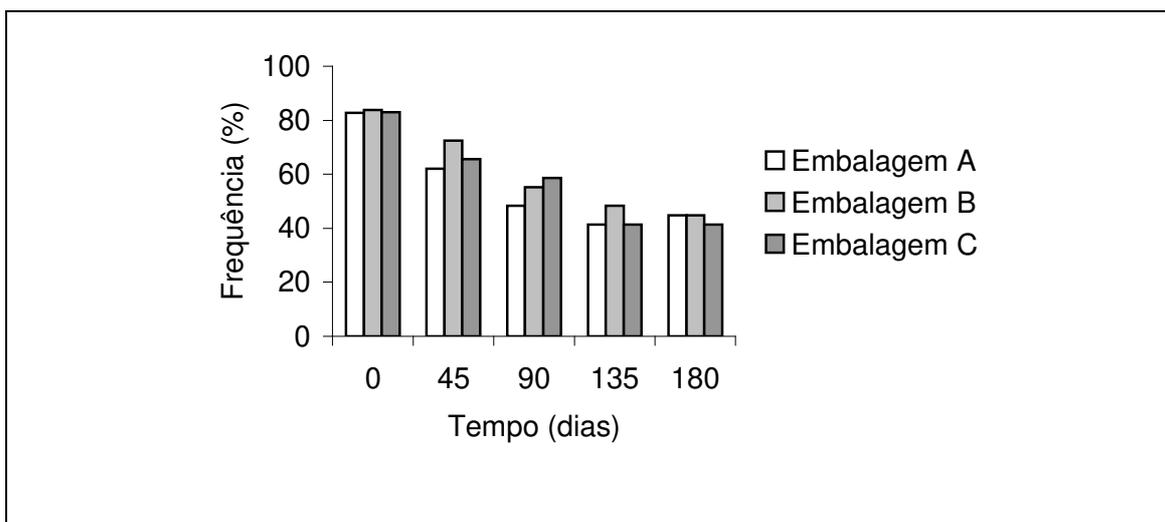


Figura 9. Distribuição das respostas “compraria” dos provadores quanto à intenção de compra de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento.

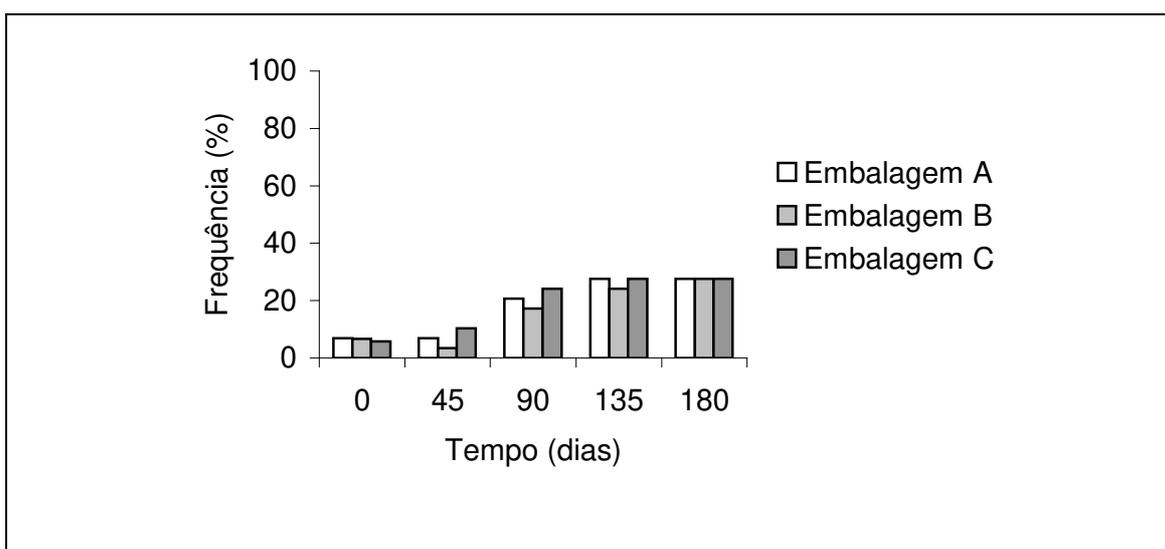


Figura 10. Distribuição das respostas “não compraria” dos provadores quanto à intenção de compra de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento.

Através da Análise de Variância (ANOVA) foi testada a dependência entre a intenção de compra e os atributos sensoriais analisados. Notou-se significativa a associação entre intenção de compra e todos os atributos sensoriais através de valores de $p < 0,0001$. De maneira geral, as associações foram caracterizadas pela diminuição dos índices de intenção de compra conforme o decréscimo das notas dadas a aceitação sensorial (*Tabela 7*), que estão representadas pela *Figura 11*. O atributo “impressão global” representa o conjunto dos atributos “aparência”, “cor”, “sabor” e “textura” das barras de cereais e representa esta associação, apresentando uma diminuição gradativa e significativa da intenção de compra conforme se diminui as notas médias de aceitação. Porém a partir do índice 2 (“provavelmente não compraria”) de intenção de compra a queda das médias de impressão global não foi significativa.

TABELA 7. Dependência entre a intenção de compra e médias de aceitação sensorial de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento

Índices de intenção de compra*	Aparência	Cor	Sabor	Textura	Impressão Global
5	7,45 ^a	7,34 ^a	7,88 ^a	7,11 ^a	7,94 ^a
4	6,68 ^{ab}	6,56 ^{ab}	6,77 ^b	5,72 ^b	6,66 ^b
3	5,91 ^{bc}	5,82 ^{bc}	5,66 ^c	4,74 ^b	5,53 ^c
2	5,23 ^{cd}	5,04 ^{cd}	4,78 ^{cd}	3,52 ^c	4,56 ^d
1	4,76 ^d	4,61 ^d	4,01 ^d	3,22 ^c	4,20 ^d

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

*5-certamente compraria; 4-provavelmente compraria; 3-talvez comprasse, talvez não comprasse; 2-provavelmente não compraria; 1-certamente não compraria.

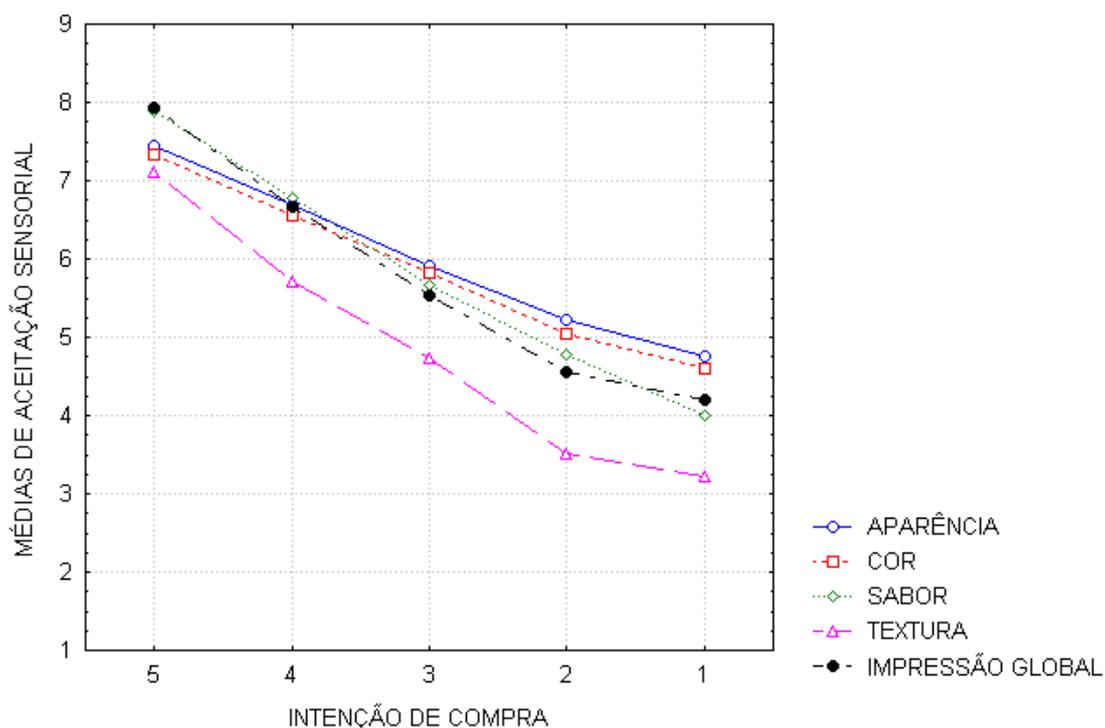


Figura 11. Dependência entre a intenção de compra e médias de aceitação sensorial de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico durante armazenamento (5- certamente compraria; 1- certamente não compraria).

O efeito do tempo de armazenamento sobre a intenção de compra das barras de cereais foi avaliado através do teste do qui-quadrado, apresentado na *Tabela 8*. O teste qui-quadrado para a significância de $p < 0,05$ revelou a tendência geral significativa de maior frequência dos altos índices de intenção de compra nos tempos iniciais de armazenamento; assim como a diminuição deste percentual e aumento dos índices baixos de intenção de compra nos tempos finais de armazenamento.

TABELA 8. Distribuição dos percentuais dos índices de intenção de compra (%) das barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico em função do tempo de armazenamento (Chi-Square = 81,759; P-Value = 0,0001)

Índices*	Tempo (dias)					
	0	45	90	135	180	Total
1	--	--	--	26,67	73,33	100,00
2	9,68	9,68	29,03	30,65	20,97	100,00
3	8,82	22,55	21,57	25,49	21,57	100,00
4	25,00	17,95	20,51	17,31	19,23	100,00
5	34,02	30,93	15,46	11,34	8,25	100,00

* 5-certamente compraria; 4-provavelmente compraria; 3-talvez comprasse, talvez não comprasse; 2-provavelmente não compraria; 1-certamente não compraria.

Analisando os extremos da tabela obteve-se o índice de razão de chance. A chance de índices altos de intenção de compra (5-certamente compraria e 4-provavelmente compraria) ocorrerem no tempo de 0 dias de armazenamento foram 7,58 vezes maior quando comparado com o produto armazenado durante 180 dias; 7,26 vezes maior quando comparado com o produto armazenado por 135 dias; e 5,68 vezes maior quando comparado com o produto armazenado por 90 dias; índices significativos ($p \leq 0,05$) pelo teste. Aos 45 dias de armazenamento, o índice foi de 1,24, porém não significativo.

3.3. Textura Instrumental

Os resultados para as medidas de textura de resistência ao corte, dureza e coesividade (deformação) das barras de cereais durante o armazenamento estão apresentados na *Tabela 9* e pelas *Figuras 12 e 13*.

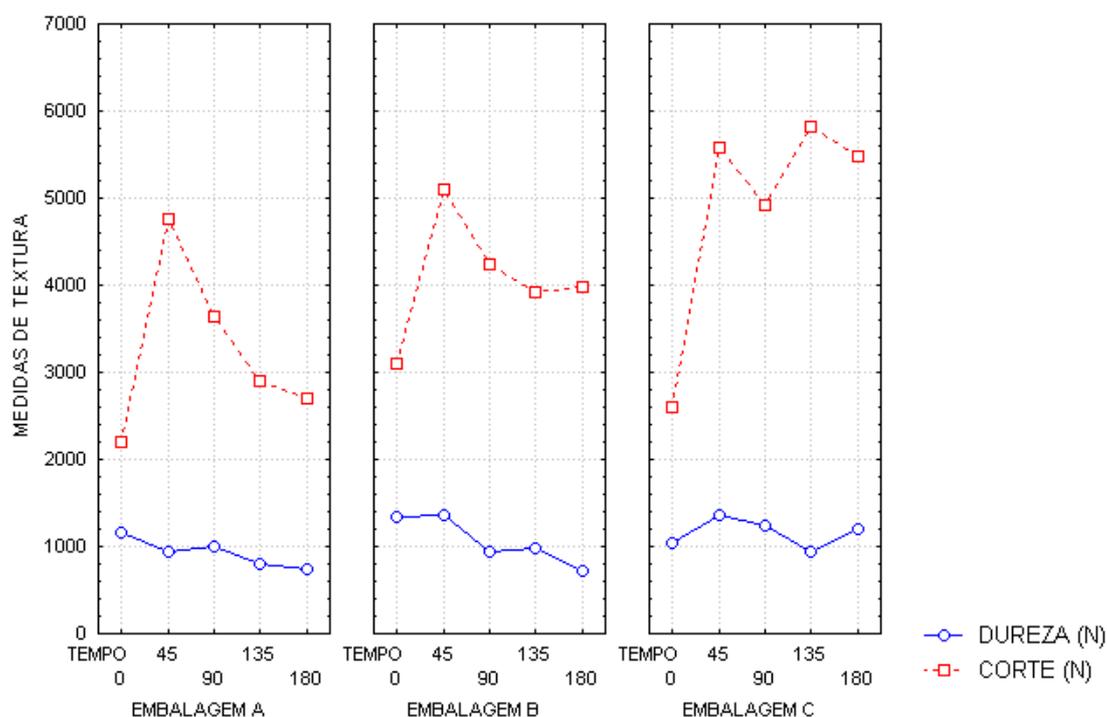


Figura 12. Medidas de resistência ao corte (N) e dureza (N) de barra de cereais embaladas em filmes de PET/PEBD (Embalagem A), PETmet/PEBD (Embalagem B) e PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante armazenamento.

TABELA 9. Medidas de textura instrumental de barra de cereais em diferentes materiais de embalagem durante armazenamento

Tempo (dias)	Resistência ao corte (N)		
Embalagem	A	B	C
0	^C 2206,0 ^a	^C 3096,2 ^a	^B 2502,1 ^a
45	^A 4756,5 ^b	^A 5093,0 ^a	^A 5575,6 ^a
90	^B 3637,6 ^b	^{BA} 4240,1 ^a	^A 4925,3 ^b
135	^{CB} 2890,9 ^c	^{BA} 3912,9 ^a	^A 5826,1 ^{ab}
180	^B 2709,5 ^b	^B 3983,2 ^{ab}	^A 5488,8 ^a
	Dureza (N)		
Embalagem	A	B	C
0	^A 1170,6 ^a	^A 1346,04 ^a	^A 1031,46 ^b
45	^{AB} 941,42 ^b	^A 1357,7 ^a	^A 1361,0 ^a
90	^{AB} 1007,0 ^a	^{BA} 942,7 ^{ab}	^A 1241,5 ^a
135	^{AB} 798,9 ^{ab}	^{BA} 989,6 ^a	^A 947,2 ^a
180	^B 731,2 ^b	^B 722,1 ^b	^A 1197,9 ^a
	Coesividade		
Embalagem	A	B	C
0	^A 0,148 ^b	^B 0,060 ^a	^A 0,089 ^c
45	^B 0,101 ^a	^B 0,056 ^a	^B 0,066 ^a
90	^C 0,042 ^a	^B 0,032 ^a	^C 0,037 ^a
135	^{CB} 0,066 ^a	^B 0,050 ^a	^{CB} 0,055 ^a
180	^C 0,043 ^b	^A 0,028 ^a	^{CB} 0,047 ^{ab}

^{a-b}: Médias com letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

^{A-C}: Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$)

Embalagem A: PET/PEBD; embalagem B: PETmet/PEBD; embalagem C: PET/PEBD/AL/PEBD.

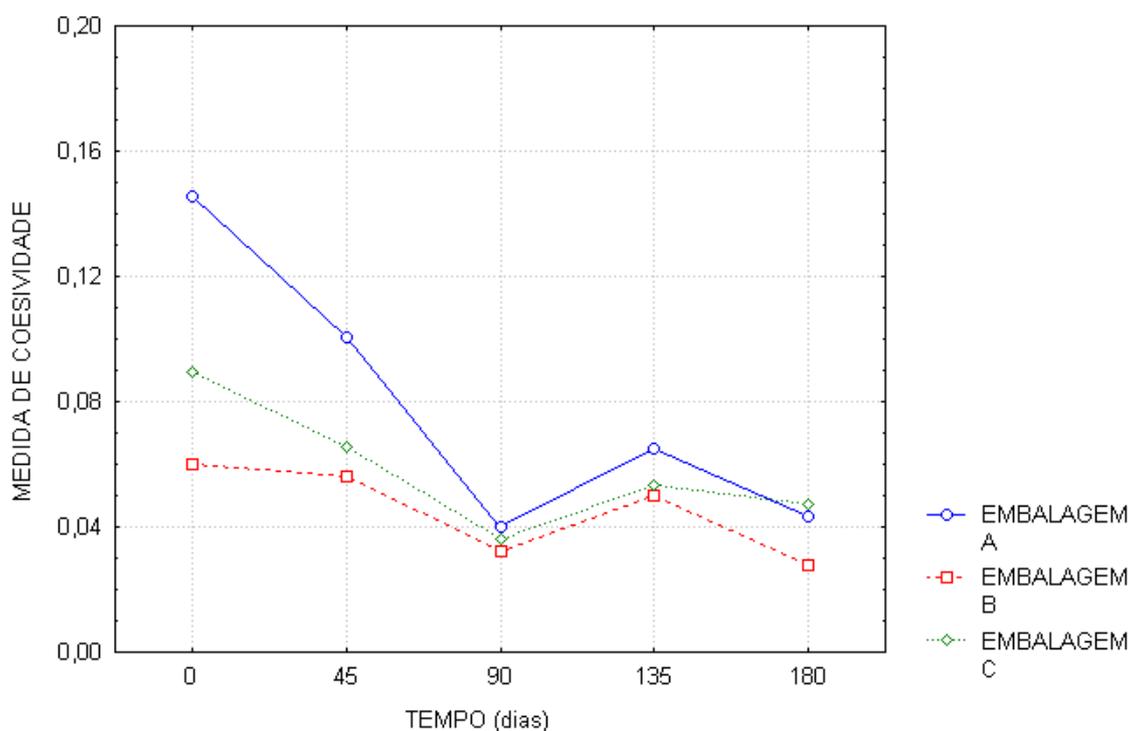


Figura 13. Medida de coesividade (deformação) de barra de cereais embaladas em filmes de PET/PEBD (Embalagem A), PETmet/PEBD (Embalagem B) e PET/PEBD/AL/PEBD (Embalagem C) durante armazenamento.

Como o processo de manufatura das barras de cereais para os três tipos de filmes de embalagem foi realizada por lotes, houve diferença nas medidas de textura nas avaliações pós-processamento (tempo 0). Segundo DeMan et al. (1976), os fatores responsáveis pelas variações naturais de textura em alimentos são as diferenças na composição química ou forças físicas que atuam sobre ele. Neste caso, variáveis do produto e na força empregada no processo manual de prensagem das barras contribuíram para a variabilidade das medidas, uma vez

que houve uma padronização das condições em que os testes de textura foram efetuados. A importância da padronização dos testes é baseada nos fatos de que a medida de força de corte depende da espessura do “probe”, é proporcional à área do corte transversal e aumenta linearmente com a espessura da amostra acima da faixa de 2-13 mm. As medidas de deformação são dependentes da área e perímetro da punção (BOURNE, 1982).

As barras de cereais apresentaram estrutura heterogênea considerando-se as formas e tamanhos dos seus ingredientes inteiros, assim como variações de espessura ao longo do comprimento. Gaines (1991) afirma que produtos de panificação apresentam variabilidade de amostra para amostra, lote para lote e, as variações nas medidas de textura vem do método, do instrumento e condições utilizados no teste ou das próprias amostras. O mesmo se considera nas medidas instrumentais de cookies e crackers, medidas que se tornam complicadas por sua natureza heterogênea e inconstante estrutura.

Antes da medida de textura ser efetuada, a quantidade de exposição do produto à umidade, temperatura e pressão de vapor ambiente influencia a natureza física e, conseqüentemente, a textura do produto (GAINES, 1991). As barras de cereais foram retiradas das embalagens imediatamente antes da realização das medidas e, portanto, as variações durante o armazenamento foram atribuídas a influência das propriedades de barreira das embalagens testadas.

Durante o período de armazenamento, a relação entre as medidas instrumentais de textura das barras de cereais e o tempo foi avaliada através da Análise de Variância (ANOVA). A força máxima de corte, dureza e coesividade apresentaram correlação significativa ($p \leq 0,05$) com o tempo de estocagem nas barras de cereais armazenadas em filme de PET/PEBD (Embalagem A) e PETmet/PEBD (Embalagem B). Este fato deve ser explicado devido aos menores valores de propriedades de barreira ao ambiente destes filmes. Para o filme de embalagem C (PET/PEBD/AL/PEBDBD), somente a medida de coesividade apresentou correlação significativa ($p \leq 0,05$) com o tempo.

Houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) da resistência ao corte aos 45 dias de armazenamento nas barras de cereais armazenadas nos filmes avaliados. Um estudo realizado por Jin, Hsieh e Huff (1995) em um preparado de milho extrusado observou que a força de quebra aumenta com o aumento do conteúdo de fibras e açúcar do extrusado. Considerando-se pequenas variações na composição química dos lotes, este fato foi atribuído à possível cristalização do xarope de aglutinação após o resfriamento completo das barras de cereais. O xarope preparado e aquecido até a concentração final de 85-89° Brix pode ter sofrido uma supersaturação, que acontece mediante a evaporação do solvente, ou abaixando-se a temperatura de uma solução não-saturada, ocorrendo a diminuição da solubilidade dos açúcares (CARLOS, 1995). A proteína texturizada de soja, principal ingrediente da formulação das barras numa proporção de 15,4g/100g, tem capacidade de absorver água, podendo ter contribuído para a supersaturação do xarope. No processo de cristalização, a velocidade com que as moléculas se arranjam na fase de crescimento dos cristais depende de suas formas e tamanhos, e também da intensidade das forças que os unem. Uma solução de sacarose satura facilmente, mas nos casos onde se realiza o batimento da solução, a nucleação e o crescimento dos cristais são imediatos (BIRCH e PARKER, 1979).

Uma diminuição gradativa da força de quebra ocorreu nas barras de cereais dos filmes A e B (PET/PEBD e PETmet/PEBD) após 45 dias de estocagem e pode ser explicada pelo ganho significativo de umidade nas barras de cereais ao longo do tempo (*Tabela 4*) nestas embalagens. O conteúdo de umidade de um produto promove diferenças e significativa influência em vários aspectos de medidas de textura em produtos de baixo teor de umidade (GAINES, 1991). Gómez, Coll e Gutiérrez (1996) estudaram a força de quebra e dureza de massa de pastel frente ao teor de umidade da mesma. Observou-se que ambos os parâmetros diminuem com o aumento da umidade, sendo esta diminuição superior para a dureza. Este fato é confirmado pelo comportamento das barras de cereais armazenadas no filme C (PET/PEBD/AL/PEBDBD), que conferiu maior barreira ao ganho de

umidade, não permitindo a diminuição da força de quebra ao longo do período de estocagem.

A dependência da umidade para as medidas de dureza também foi observada. Os filmes A e B, de menor barreira à umidade, permitiram a diminuição significativa ($p \leq 0,05$) da medida durante o armazenamento, não havendo diferença significativa na dureza das barras de cereais estocadas no filme C durante todo o período.

A coesividade das barras de cereais tendeu a um declínio significativo ($p \leq 0,05$) durante 90 dias de armazenamento, não variando significativamente após este período para os três filmes de embalagem. A coesividade é uma medida de deformação, que relata a mudança de altura ou diâmetro de um alimento sob a aplicação de uma força (BOURNE, 1982). Segundo Gómez, Coll e Gutiérrez (1996), os valores de deformação tendem a aumentar com o aumento de umidade em massa de pastel. No entanto, os dados obtidos nas barras de cereais foram opostos, possivelmente devido a diferenças nas condições dos testes e no tipo de matéria estudado, e da complexidade na composição das barras. Pode-se considerar ainda, que a absorção de água do xarope de aglutinação pela proteína texturizada de soja tenha diminuído a elasticidade das barras de cereais, e esta medida seja menos dependente do conteúdo de umidade.

O teste de Pearson foi utilizado para avaliar a possível correlação entre as médias de aceitação sensorial de textura e as medidas instrumentais ao longo do tempo de armazenamento. Os índices de correlação obtidos (*Tabela 10*) demonstram a baixa associação entre a aceitação sensorial do atributo textura e as medidas de textura instrumentais de resistência ao corte, dureza e coesividade, não significativos para o nível de significância de 5%.

TABELA 10. Correlação entre as médias de aceitação sensorial de textura e medidas instrumentais de barra de cereais durante o armazenamento

	Resistência ao corte	Dureza	Coesividade
Correlação	-0,429	0,688	0,651
Valor - p	0,471	0,234	0,234

Estes resultados indicam que, embora o atributo textura tenha recebido as menores médias de aceitação sensorial e tenha apresentado um declínio gradativo ao longo do tempo, os valores elevados da medida de força de corte decorrente do aumento inicial no período de estocagem, e o declínio da dureza das barras de cereais ao longo do tempo não parecem estar associados a esta diminuição. Geralmente, produtos formulados com alto teor de fibras resultam em produtos mais densos e duros, o que não implica que terão menor aceitação. Anderson et al. (1981) obtiveram sucesso na aceitação de pães contendo 20,4% de fibras totais, embora o produto tenha sido mais denso e duro que o controle sem fibras. Croghan (1998) reportou o uso de fibras para produzir um produto extrusado mais aceitável com melhor textura e crocância.

4. CONCLUSÃO

As barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico à base de proteína texturizada de soja, gérmen de trigo e aveia apresentaram variações na atividade de água (Aa) durante o armazenamento em diferentes materiais de embalagem. O aumento da acidez total após 90 dias de estocagem nas barras de cereais estaria associada a esta variação e a possível degradação microbiológica e ação de lipases na parte lipídica do gérmen de trigo e aveia.

A umidade das barras de cereais tendeu a um aumento durante o armazenamento, o que acarretou influência significativa ($p \leq 0,05$) nas características de textura de resistência ao corte e dureza das barras de cereais. Os maiores valores de resistência ao corte aconteceram no início do período de estocagem, atribuído a possível cristalização do xarope de aglutinação das barras. A proteína texturizada de soja utilizada na formulação pode ter contribuído para a cristalização por sua característica higroscópica, interferindo também na diminuição das medidas de coesividade (deformação) ao longo do tempo.

As barras de cereais de elevado teor protéico e vitamínico à base de proteína texturizada de soja, gérmen de trigo e aveia obtiveram boa aceitação sensorial perante consumidores nos atributos de sabor e aspectos visuais. A combinação dos ingredientes utilizados provocou, porém, uma sensação de textura que foi menos aceita sensorialmente. A aceitação sensorial das barras de cereais tendeu a um declínio gradativo e dependente ($p \leq 0,05$) do tempo de estocagem, associado significativamente ($p \leq 0,05$) à diminuição da intenção de compra do produto.

O efeito das diferentes propriedades de barreira dos filmes de embalagens testados foi significativo ($p \leq 0,05$) na estabilidade das barras de cereais ao longo do período de estocagem, sendo o filme de PET/PEBD/AL/PEBDBD (C) o que proporcionou maior barreira à umidade ambiente e maior estabilidade nas medidas de textura de resistência ao corte e dureza das barras de cereais. No entanto, os diferentes materiais de embalagem não atribuíram diferenças significativas na aceitação sensorial das barras de cereais durante o armazenamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, Y.; HEDLUNB, B.; JONSSON, L.; SVENSSON, S. Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crisp bread character. **Cereal Chemistry**, v. 58, p. 370-373, 1981.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. 1997. v.2

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL). **Standard guide for the shelf life determination of consumer products by sensory evaluation**. Philadelphia, 1993. 10 p. (ASTM E 18.06.07).

BIRCH, G. G.; PARKER, K. J. **Sugar: Science and Technology**. London: Applied Science Publishers, Ltd., 1979. 475 p.

BOWER, J. A.; WHITTEN, R. Sensory characteristics and consumer linking for cereal bar snack foods. **Journal of Sensory Studies**, v. 15, n. 3, p. 327-345, 2000.

BOUSTANI, P.; MITCHELL, V.-W. Cereal bars: A perceptual, chemical and sensory analysis. **British Food Journal**, v. 92, n. 5, p.17-22, 1990.

BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement**. New York: Academic Press, 1982. 325 p.

CARLOS, L. A. **Indução de cristalinidade durante o congelamento de soluções-modelo (açúcares de frutos) com adição de álcoois para reduzir a higroscopicidade dos correspondentes pós-liofilizados**. 1995. Tese (Mestre em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

CROGHAN, M. High fiber extrusion success. **Food Science and Technology Int.**, v. 12, n. 1, 1998.

DeMAN, J. M.; VOISEY, P. W.; RASPER, V. F.; STANLEY, D. W. **Rheology and Texture in Food Quality**. The AVI Publishing Company Inc., 1976. 588 p.

DETHMERS, A. E. Utilizing sensory evaluation to determine product shelf life. **Food Technology**, v. 33, n. 9, p. 40-42, sep., 1979.

ESTÉVEZ, A. M.; ESCOBAR, B.; VÁZQUEZ, M.; CASTILLO, E.; ARAYA, E.; ZACARÍAS, I. Cereal and nut bars, nutritional quality and storage stability. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 47, n. 4, p. 309-317, 1995.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. p. 652.

GAINÉ, C. S. Instrumental measurement of the hardness of cookies and crackers. **Cereal Foods World**, v. 36, n. 12, p. 989, 991-994, 996, dec., 1991.

GÓMEZ, M. C.; COLL, L.; GUTIÉRREZ, M. L. Análisis de textura de la masa de hojaldre y del hojaldre elaborado a partir de la misma. **Alimentaria**, n. 274, p. 87-93, jul/aug., 1996.

HOLLINGSWORTH, P. One-handed cuisine and other business trends to watch. **Food Technology**, v. 56, n. 4, p. 18, apr., 2002.

JIN, Z.; HSIEH, T.; HUFF, H. E. Effects 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.

LABUZA, T. P.; SCHMIDT, M. K. Use of sensory data in the shelf life testing of foods: principles and graphical methods for evaluation. **Cereal Foods World**, v. 33, n. 2, p. 193-205, feb., 1988.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc. 1999. p.827.

MOTT, S. Soya protein in sports nutrition. **Food Marketing and Technology**, v. 11, n.6, p. 10-11, 1997.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 2 ed. v. 1, São Paulo, 1976.

ONWULATA, C. I.; KONSTANCE, R. P.; STRANGE, E. D.; SMITH, P. W.; HOLSINGER, V. H. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. **Cereal Foods World**, v. 45, n. 10, p. 470-473, oct., 2000.

SAS Institute. **SAS User's Guide: statistics**. Cary, USA: SAS Inst., 1993.

SILVA, J. A. **Tópicos da Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000. p. 227.

NEW generation gelatins present opportunities for cereal bars. **Confectionery Production**, v. 63, n. 7, p. 14, jul., 1997.

StatSoft, Inc. (1995). **STATISTICA for Windows [Computer program manual]**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

MORAES, M. A. C. **Métodos para Avaliação Sensorial dos Alimentos**. 7 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1990.

CONCLUSÃO GERAL

No estudo da inativação das enzimas lipase e peroxidase no gérmen de trigo, um dos principais ingredientes da barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico, foram determinadas como condições ótimas tratamentos térmicos à temperatura dentro da faixa de 180 a 190°C, com duração de 4,8 a 8,0 minutos, nas condições de umidade inicial da matéria-prima (28%) e de secagem deste trabalho, nas quais foram obtidas reduções significativas ($p < 0,05$) na atividade residual da lipase e peroxidase.

A proteína de soja texturizada, base da formulação da barra de cereais, apresentou elevados teores de oligossacarídeos (rafinose e estaquiose) e de isoflavonas (daidzina, genistina, daidzeína e genisteína) se comparados a teores no grão, farinha integral e isolado protéico encontrados na literatura.

A formulação da barra de cereais apresentou, em média, 15,31% de proteína, teor desejável em relação aos produtos encontrados no mercado (4,4% de proteína) e elevado conteúdo de minerais e microminerais essenciais como fósforo (P), cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), com teores compatíveis aos encontrados em alimentos ricos nestes nutrientes. Apresentou também maior conteúdo de fibras totais (5,17%) e o conteúdo de matéria graxa apresentou-se satisfatório (5,64%) em relação aos produtos convencionais.

As diferentes concentrações de ácido ascórbico nas formulações de barras de cereais resultaram em diferenças significativas ($p < 0,05$) na aceitação sensorial de todos os atributos avaliados. Porém, o maior teor adicionado resultou em menor aceitação nas características visuais, devido ao escurecimento resultante da oxidação da vitamina. Com relação ao sabor, a formulação adicionada de 1,1g/100g de ácido ascórbico obteve maior aceitação, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) das demais formulações. A acidez apresentou uma relação inversa a doçura nas barras de cereais, sendo que quanto maior a acidez, menor foi a sensação de doçura percebida pelos provadores.

A formulação da barra de cereais obteve médias de aceitação sensorial de textura inferiores aos outros atributos avaliados.

No estudo realizado durante o armazenamento das barras de cereais, as diferentes propriedades dos filmes de embalagem estudados (PET/PEBD; PETmet/PEBD; PET/PEBD/AL/PEBD) tiveram influência significativa ($p < 0,05$) na estabilidade da vitamina C, atividade de peroxidase, características físico-químicas e nas medidas de textura instrumental, sendo a estruturada com folha de alumínio a que proporcionou menores alterações nestas características.

As reações de degradação da vitamina C atribuídas à oxidação aeróbica durante a estocagem se ajustaram ao modelo cinético de primeira ordem e as barras de cereais embaladas nos três filmes apresentaram uma retenção menor que 50%. No entanto, a embalagem estruturada com folha de alumínio proporcionou menor velocidade de reação ao longo do período de armazenagem e maior tempo de meia vida.

Houve um aumento significativo na atividade de peroxidase durante o início do período de estocagem, provavelmente devido à regeneração da enzima. Após este período, a variação na atividade da peroxidase foi dependente do conteúdo de oxigênio residual ou transferido do ambiente através das embalagens, sendo que a maior influência na atividade da enzima se deu nas barras de cereais embaladas em filme de PET/PEBD, de maior permeabilidade ao oxigênio.

As barras de cereais apresentaram variações na atividade de água (Aa) e um aumento da acidez total durante o armazenamento. A umidade também tendeu a um aumento durante o armazenamento, o que acarretou influência significativa ($p \leq 0,05$) nas características de textura de resistência ao corte e dureza das barras de cereais. Os maiores valores de resistência ao corte aconteceram no início do período de estocagem, atribuído a possível cristalização do xarope de aglutinação das barras. A proteína texturizada de soja utilizada na formulação pode ter contribuído para a cristalização por sua característica

higroscópica, interferindo também na diminuição das medidas de coesividade (deformação) ao longo do tempo.

A aceitação sensorial das barras de cereais tendeu a um declínio gradativo e dependente ($p \leq 0,05$) do tempo de estocagem, associado significativamente ($p \leq 0,05$) à diminuição da intenção de compra do produto.

Os teores de vitamina E (acetato de α -tocoferol) e a atividade de lipase nas barras de cereais apresentaram pequenas variações durante o armazenamento, não havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as embalagens testadas.