



UNICAMP

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

**Caracterização Tecnológica de Frações de Moagem
de Aveia (*Avena sativa* L.) e Efeito de Umidade e
Temperatura de Extrusão na sua Estabilidade**

LUIZ CARLOS GUTKOSKI
Engenheiro Agrônomo

Prof. Dr. AHMED ATIA EL-DASH
Orientador

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a
obtenção do título de Doutor em Engenharia de
Alimentos - Área de Tecnologia de Alimentos

Campinas - São Paulo

1997

037 96046

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
T/Unicamp	
G 985c	
N.º	29957
PREC	281/97
C	☐ Y
PRECO	R\$ 11,00
DATA	04/05/97
N.º CPD	

CM-00097563-8

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

G985c Gutkoski, Luiz Carlos
Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia
(*Avena sativa* L.) e efeito de umidade e temperatura de extrusão na
sua estabilidade. /Luiz Carlos Gutkoski - Campinas, SP: [s.n.],1996.

Orientador: Ahmed Atia El-Dash
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.Faculdade
de Engenharia de Alimentos.

1 .Aveia. 2. *Avena sativa* L. 3. Moagem. 4. Extrusão.
5. Estabilidade. I. El-Dash, Ahmed Atia II. Universidade Estadual
de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

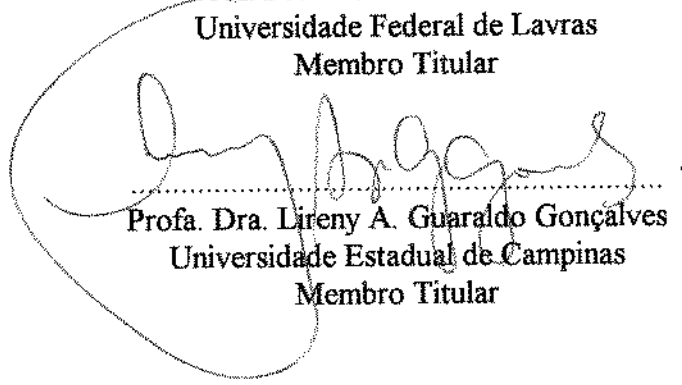
**Membros da Banca Examinadora da Tese de Doutorado apresentada junto à Faculdade
de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas, defendida
em 03 de fevereiro de 1997.**



Prof. Dr. Ahmed Atia El-Dash
Universidade Estadual de Campinas
Presidente

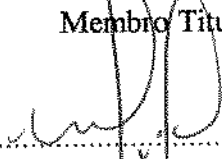


Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilella
Universidade Federal de Lavras
Membro Titular



Profa. Dra. Lireny A. Guaraldo Gonçalves
Universidade Estadual de Campinas
Membro Titular

Profa. Dra. Maria Vitória Eiras Grossmann
Universidade Estadual de Londrina
Membro Titular



Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
Instituto de Tecnologia de Alimentos
Membro Titular



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Universidade Estadual de Campinas
Membro Suplente

Profa. Dra. Marisa N. Hoelz Jackix
Universidade Estadual de Campinas
Membro Suplente

"Só são realidades as utopias que
são realistas: aquelas que nascem
do interior da realidade"

(Mariátegui)

**Dedico este trabalho à minha esposa Ivone, e ao
meu filho Eduardo pelo amor e carinho de toda vida!**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ahmed Atia El-Dash, pela orientação precisa, confiança e amizade.

À Universidade de Passo Fundo, em especial à Faculdade de Agronomia, que permitiram meu afastamento para a realização do curso de pós-graduação.

À Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia de Alimentos e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade e facilidades oferecidas na execução deste trabalho.

À INCA (Indústria e Comércio de Alimentos Ltda.) de Passo Fundo-RS, pela cessão de grãos de aveia descascados para a realização dos experimentos.

Ao Centro de Química de Proteínas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto -USP, em especial ao Prof. Dr. Lewis Joel Greene, pela concessão da realização das análises de composição em aminoácidos.

Ao Centro de Química de Alimentos e Nutrição Aplicada do Instituto de Tecnologia de Alimentos-ITAL, pela concessão da realização das análises de minerais e vitaminas.

Ao Laboratório de Bioquímica do Departamento de Ciências dos Alimentos - FEA - UNICAMP, pelo auxílio na determinação de atividade das enzimas lipase e peroxidase.

Ao Programa Institucional de Capacitação de Docentes (PICDT) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para a execução do projeto de pesquisa.

À Banca Examinadora pelas críticas e sugestões.

Aos professores Yoon Kil Chang, Gláucia Maria Pastore, José Assis de F. Faria e Carlos R. Ferreira Grosso, pelas contribuições e ajuda prestada.

Aos colegas Erna Vogt de Jong, Maria Tereza Clerici da Silva Pedrosa, José Ricardo Zebende Borher e Martha Zavariz de Miranda, pelo apoio, hospitalidade e amizade.

À aluna de iniciação científica Barbara Rocha Tanque, pelo auxílio prestado.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos, em especial ao Nilo Marques, pela colaboração.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado,
Luiz Carlos Gutkoski.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 - Origem, Distribuição e Produção de Aveia.....	4
2.2 - Grão de Aveia.....	7
2.2.1 - Composição química.....	8
2.2.2 - Valor nutricional.....	12
2.2.3 - Estabilidade.....	14
2.3 - Moagem do Grão de Aveia.....	27
2.3.1 - Limpeza.....	28
2.3.2 - Secagem.....	29
2.3.3 - Classificação e descascamento.....	29
2.3.4 - Corte.....	31
2.3.5 - Tratamento hidrotérmico e flocagem.....	31
2.3.6 - Separação da fração farelo.....	33
2.3.7 - Moagem sem tratamento hidrotérmico.....	35
2.4 - Extrusão de Produtos de Aveia.....	36
2.4.1 - Equipamento.....	37
2.4.2 - Processo de extrusão.....	38
2.4.3 - Efeito do processo de extrusão nos produtos de aveia.....	40
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.1 - Material.....	47
3.1.1 - Matéria-prima.....	47
3.1.2 - Reagentes.....	47
3.1.3 - Aparelhos e equipamentos.....	47

3.2 - Métodos Experimentais	48
3.2.1 - Delineamento estatístico para o estudo de moagem.....	48
3.2.2 - Moagem da cariopse de aveia.....	50
3.2.3 - Delineamento estatístico para o estudo de extrusão.....	51
3.2.4 - Extrusão de frações de aveia	53
3.3 - Métodos Analíticos	55
3.3.1 - Composição centesimal aproximada	55
3.3.2 - Energia bruta.....	56
3.3.3 - Energia metabolizável	56
3.3.4 - Determinação de vitaminas.....	57
3.3.5 - Determinação de minerais.....	58
3.3.6 - Composição em ácidos graxos.....	58
3.3.7 - Composição em aminoácidos.....	58
3.3.8 - Lisina disponível.....	59
3.3.9 - Digestibilidade da proteína <i>in vitro</i>	60
3.3.10 - Índice de solubilidade de nitrogênio.....	60
3.3.11 - Escore químico	60
3.3.12 - Índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI)	61
3.3.13 - Coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C).....	61
3.3.14 - Rendimento de moagem	61
3.3.15 - Densidade aparente	62
3.3.16 - Energia mecânica específica.....	62
3.3.17 - Índices de absorção de água e de solubilidade em água	62
3.3.18 - Viscosidade.....	63
3.3.19 - Força do gel a 4 °C	64
3.3.20 - Cor	64
3.3.21 - Atividade de lipase	64
3.3.22 - Atividade de peroxidase	65
3.3.23 - Índice de acidez	65
3.3.24 - Índice de peróxidos	65
3.3.25 - n-Hexanal.....	66

3.4 - Métodos Estatísticos	67
3.4.1 - Análise univariada.....	67
3.4.2 - Análise de superfície de resposta	67
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 - Caracterização Química e Nutricional da Matéria-Prima.....	69
4.1.1 - Composição química.....	69
4.1.2 - Valor nutritivo das proteínas.....	74
4.2 -Efeito de Umidade de Condicionamento e Temperatura de Secagem no Rendimento de Moagem, Composição Química e Estabilidade de Frações de Aveia	75
4.2.1 - Rendimento de moagem	75
4.2.2 - Composição centesimal aproximada	79
4.2.3 - Cor	84
4.2.4 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase	90
4.2.5 - Estabilidade ao armazenamento	94
4.3 -Caracterização Química e Nutricional de Frações de Aveia de Granulometrias Superior e Inferior a 532 µm	101
4.3.1 - Composição química.....	101
4.3.2 - Valor nutritivo das proteínas.....	105
4.4 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão nas Propriedades Físicas, Químicas, Funcionais e Nutricionais de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Superior a 532 µm	106
4.4.1 - Densidade aparente	106
4.4.2 - Energia mecânica específica.....	107
4.4.3 - Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)	110
4.4.4 - Viscosidade.....	114
4.4.5 - Força do gel a 4 °C	120
4.4.6 - Cor	122
4.4.7 - Fibra alimentar.....	128
4.4.8 - Índice de solubilidade de nitrogênio.....	129
4.4.9 - Lisina disponível.....	132
4.4.10 - Digestibilidade da proteína <i>in vitro</i>	133
4.4.11 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase	134

4.5 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão na Estabilidade ao Armazenamento de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Superior a 532 µm	138
4.5.1 - Índice de acidez	138
4.5.2 - Índice de peróxidos	141
4.5.3 - n-Hexanal.....	144
4.6 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão nas Propriedades Físicas, Químicas, Funcionais e Nutricionais de Produtos Extrusados de Aveia da Fração de Granulometria Inferior a 532 µm.....	149
4.6.1 - Densidade aparente	149
4.6.2 - Energia mecânica específica.....	149
4.6.3 - Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)	151
4.6.4 - Viscosidade.....	154
4.6.5 - Força do gel a 4 °C	160
4.6.6 - Cor.....	161
4.6.7 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase	166
4.7 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão na Estabilidade ao Armazenamento de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Inferior a 532 µm.....	170
4.7.1 - Índice de acidez	170
4.7.2 - Índice de peróxidos	172
4.7.3 - n-Hexanal.....	176
5 - CONCLUSÕES.....	181
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
7 - ANEXOS.....	201

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -Efeito de umidade de condicionamento das cariopses no rendimento de moagem (B.S.) das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	78
Figura 02 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de proteínas (B.S.) de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	82
Figura 03 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de lipídios (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	83
Figura 04 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de cinzas (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	83
Figura 05 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de carboidratos (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	84
Figura 06 -Efeito de umidade de condicionamento no componente L* de cor (luminosidade) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	88
Figura 07 -Efeito de umidade de condicionamento no componente a* de cor (vermelho) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	89
Figura 08 -Efeito de umidade de condicionamento no componente b* de cor (amarelo) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	89
Figura 09 -Efeito de umidade de condicionamento no grau de brancura das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	90
Figura 10 -Efeito de temperatura de secagem na atividade de lipase das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	94
Figura 11 -Efeito de umidade de condicionamento e temperatura de secagem no índice de acidez das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .	98
Figura 12 -Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm em comparação com a matéria-prima nativa.	100
Figura 13 -Efeito de umidade da matéria-prima na energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .	109
Figura 14 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .	113

Figura 15 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	114
Figura 16 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade inicial a 50 °C (VI) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	119
Figura 17 -Efeito de temperatura de extrusão na viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	119
Figura 18 -Viscosidade (UVA) da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm nativa e extrusada na umidade de 20,5 % e nas temperaturas de 77,6, 120 e 162,4 °C.	120
Figura 19 -Efeito de temperatura de extrusão na força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	122
Figura 20 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente L* de cor (luminosidade) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	126
Figura 21 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	126
Figura 22 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente +a* de cor (vermelho) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior 532 μm	127
Figura 23 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente +b* de cor (amarelo) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	127
Figura 24 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de solubilidade de nitrogênio (ISN) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	131
Figura 25 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de lisina disponível dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	133
Figura 26 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	137
Figura 27 -Efeito de temperatura de extrusão na atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	138
Figura 28 -Índice médio de acidez da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm : extrusada e nativa, em função do tempo de armazenamento.	140
Figura 29 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (t= 48 horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).	143

Figura 30 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (t= 48 horas, 21 dias, 42 dias, 63 dias, 84 dias e 126 dias).	147
Figura 31 -Cromatogramas representativos da formação de n-hexanal nos produtos da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , extrusados à temperatura de 120 °C e com 20,5 % umidade em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42, 84 e 126 dias).	148
Figura 32 -Efeito de umidade da matéria-prima na energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	151
Figura 33 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	153
Figura 34 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	154
Figura 35 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade inicial a 50 °C (VI) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	158
Figura 36 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	158
Figura 37 -Viscosidade (UVA) da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm nativa e extrusada na umidade de 20,5 % e em diferentes temperaturas (77,6, 120 e 162,4 °C).	159
Figura 38 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade final a 50 °C (VF) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	159
Figura 39 -Efeito de temperatura de extrusão na força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	161
Figura 40 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente L* de cor (luminosidade) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	164
Figura 41 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	164
Figura 42 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente a* de cor (vermelho) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	165
Figura 43 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente b* de cor (amarelo) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	165
Figura 44 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .	168

Figura 45 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	168
Figura 46 -Efeito do tipo de processamento na atividade residual de lipase dos produtos de aveia em comparação com a matéria-prima não processada.	169
Figura 47 -Efeito do tipo de processamento na atividade residual de peroxidase dos produtos de aveia em comparação com a matéria-prima não processada.	169
Figura 48 -Índice médio de acidez da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm : extrusada e nativa, em função do tempo de armazenamento.	171
Figura 49 -Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima e no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , avaliado no tempo zero ($t= 48$ horas) de armazenamento.	175
Figura 50 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm em função do tempo de armazenamento ($t= 48$ horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).	175
Figura 51 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , em função do tempo de armazenamento ($t= 48$ horas, 21 dias, 42 dias, 63 dias, 84 dias e 126 dias).	179
Figura 52 -Cromatogramas representativos da formação de n-hexanal nos produtos da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , extrusados à temperatura de 120 °C e com 20,5 % umidade, em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42, 84 e 126 dias).	180

Figuras do Anexo

Figura 1a -Índice de acidez de produtos de aveia extrusados a 140°C e com 20 % de umidade inicial, em função do tempo de condicionamento das amostras (horas).	201
Figura 2a -Cinética de hidrólise do óleo de oliva por lipases de aveia em função do tempo de reação. A mistura consistiu de 2 g de farinha de aveia e 5ml de substrato, incubados a 38°C e nos tempos 0, 1, 2, 4, 6, 12, 18, 24, 30, 48 e 72 horas.	202
Figura 3a -Teor de n-hexanal em função da área de n-hexanal padrão / padrão interno (4-heptanona) obtido dos cromatogramas para determinar a curva padrão ($y = 0,3876+4,1929X$; $R = 0,9980$).	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -Variáveis e níveis de variação do experimento de moagem	50
Tabela 02 -Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis e três níveis utilizado no experimento de moagem	50
Tabela 03 -Variáveis e níveis de variação dos experimentos de extrusão	52
Tabela 04 -Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis e três níveis utilizado nos experimentos de extrusão	52
Tabela 05 -Composição centesimal aproximada e valor energético da cariopse de aveia	70
Tabela 06 -Teores de minerais da cariopse de aveia	71
Tabela 07 -Teores de vitaminas da cariopse de aveia	71
Tabela 08 -Composição em ácidos graxos do óleo da cariopse de aveia	72
Tabela 09 -Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse de aveia	73
Tabela 10 -Lisina disponível, digestibilidade da proteína <i>in vitro</i> , escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse de aveia	74
Tabela 11 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm	76
Tabela 12 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e do rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	76
Tabela 13 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria inferior a 150 µm	77
Tabela 14 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o rendimento de moagem de frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm	78
Tabela 15 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para a composição química centesimal de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm	82
Tabela 16 -Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm	86
Tabela 17 -Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	87
Tabela 18 -Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm	87

Tabela 19	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para os componentes de cor L^* , a^* , b^* e grau de brancura de frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm	88
Tabela 20	-Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	92
Tabela 21	-Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm)	93
Tabela 22	-Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	93
Tabela 23	-Modelo de regressão, coeficientes de determinação (R^2) e nível de significância para a atividade de lipase de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm	94
Tabela 24	-Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	96
Tabela 25	-Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).....	96
Tabela 26	-Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	97
Tabela 27	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de acidez durante o armazenamento das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm	97
Tabela 28	-Composição centesimal aproximada e valor energético da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm	102
Tabela 29	-Composição em ácidos graxos do óleo da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm	103
Tabela 30	-Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm	104
Tabela 31	-Lisina disponível, digestibilidade da proteína <i>in vitro</i> , escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm	105
Tabela 32	-Valores experimentais das determinações de densidade aparente, energia mecânica específica (EME), absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	108

Tabela 33 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	108
Tabela 34 -Valores experimentais das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	115
Tabela 35 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC) e força do gel 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	116
Tabela 36 -Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	123
Tabela 37 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância dos componentes L^* , a^* , b^* e grau brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	123
Tabela 38 -Valores experimentais das determinações de fibra alimentar solúvel, fibra alimentar insolúvel e fibra alimentar total dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	129
Tabela 39 -Valores experimentais das determinações de índice de solubilidade de nitrogênio (ISN), lisina disponível e digestibilidade da proteína <i>in vitro</i> dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	130
Tabela 40 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para índice de solubilidade de nitrogênio (ISN), lisina disponível, atividade de lipase e atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	131
Tabela 41 -Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	137
Tabela 42 -Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	140
Tabela 43 -Valores experimentais do índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	141
Tabela 44 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão	143
Tabela 45 -Valores experimentais de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	146

Tabela 46	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão	147
Tabela 47	-Valores experimentais das determinações de densidade aparente, energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	150
Tabela 48	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	151
Tabela 49	-Valores experimentais das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	157
Tabela 50	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	157
Tabela 51	-Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	163
Tabela 52	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância dos componentes L^* , a^* , b^* e brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	163
Tabela 53	-Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	167
Tabela 54	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para as atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	167
Tabela 55	-Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	171
Tabela 56	-Valores experimentais do índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	174
Tabela 57	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	174
Tabela 58	-Valores experimentais de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	178
Tabela 59	-Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	179

Tabelas do Anexo

Tabela 01a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	203
Tabela 02a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).....	203
Tabela 03a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria inferior a 150 μm	204
Tabela 04a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	204
Tabela 05a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).....	205
Tabela 06a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	205
Tabela 07a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	206
Tabela 08a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).....	206
Tabela 09a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	207
Tabela 10a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	207
Tabela 11a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).....	208
Tabela 12a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	208
Tabela 13a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	209
Tabela 14a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm)	209
Tabela 15a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm	210
Tabela 16a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm	210
Tabela 17a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm)	211

Tabela 18a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	211
Tabela 19a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm	212
Tabela 20a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	212
Tabela 21a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	213
Tabela 22a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm	213
Tabela 23a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	214
Tabela 24a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	214
Tabela 25a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm	215
Tabela 26a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm).....	215
Tabela 27a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	216
Tabela 28a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm	216
Tabela 29a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm).....	217
Tabela 30a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	217
Tabela 31a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm.....	218
Tabela 32a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	218
Tabela 33a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	218
Tabela 34a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm.....	219

Tabela 35a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)	219
Tabela 36a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm.....	220
Tabela 37a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de proteínas, umidade, cinzas lipídios e açúcares totais da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	220
Tabela 38a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de amido, fibra alimentar total, fibra alimentar solúvel e fibra alimentar da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	220
Tabela 39a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de energia bruta, energia metabolizável e acidez da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm	221
Tabela 40a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos ácidos graxos merístico, palmítico esteárico araquidônico e total de ácidos graxos saturados da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	221
Tabela 41a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos ácidos graxos oléico, linoléico, linolênico e total de ácidos graxos insaturados da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm	221
Tabela 42a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos triptofano, lisina, histidina, arginina e ácido aspártico da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm	221
Tabela 43a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos treonina, serina, ácido glutâmico, prolina e glicina da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	221
Tabela 44a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos ½ cistina, valina metionina, isoleucina e leucina da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	222
Tabela 45a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos tirosina, fenilalanina, alanina, lisina disponível e digestibilidade <i>in vitro</i> da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	222
Tabela 46a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de escore químico (E.Q.), índice médio dos aminoácidos essenciais (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm.....	222
Tabela 47a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para densidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm	222

Tabela 48a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para energia mecânica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	223
Tabela 49a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de absorção de água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	223
Tabela 50a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de solubilidade em água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	224
Tabela 51a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade inicial a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	224
Tabela 52a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade a temperatura constante a 95°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	225
Tabela 53a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade final a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	225
Tabela 54a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a força de gel a 4°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	226
Tabela 55a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	226
Tabela 56a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	227
Tabela 57a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	227
Tabela 58a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	228
Tabela 59a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar solúvel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	228
Tabela 60a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar insolúvel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	228
Tabela 61a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar total dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	229
Tabela 62a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de solubilidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	229

Tabela 63a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para lisina disponível dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	230
Tabela 64a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para digestibilidade da proteína <i>in vitro</i> dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	230
Tabela 65a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	231
Tabela 66a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	231
Tabela 67a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	232
Tabela 68a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de peróxidos (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	232
Tabela 69a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de hexanal (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm	233
Tabela 70a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para densidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	233
Tabela 71a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para energia mecânica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	234
Tabela 72a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de absorção de água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	234
Tabela 73a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de solubilidade em água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	235
Tabela 74a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade inicial a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	235
Tabela 75a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade a temperatura constante a 95°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	236
Tabela 76a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade final a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	236
Tabela 77a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a força de gel a 4°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm	237

Tabela 78a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	237
Tabela 79a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	238
Tabela 80a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	238
Tabela 81a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	239
Tabela 82a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	239
Tabela 83a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	240
Tabela 84a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	240
Tabela 85a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de peróxidos (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	241
Tabela 86a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de hexanal (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm	241

TESE DE DOUTORADO

AUTOR: Eng. Agr. Luiz Carlos Gutkoski

TÍTULO: Caracterização Tecnológica de Frações de Moagem de Aveia (*Avena sativa* L.) e Efeito de Umidade e Temperatura de Extrusão na sua Estabilidade

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ahmed Atia El-Dash

Departamento de Tecnologia de Alimentos - FEA - UNICAMP - Fevereiro - 1997

RESUMO

A aveia fornece um aporte energético e nutricional perfeitamente equilibrado, ou seja, contém em sua composição química aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais indispensáveis ao organismo de crianças e adultos; as fibras alimentares são de alta qualidade, porém o seu uso na alimentação humana ainda é restrito e ocorre, basicamente, na forma de alimentos infantis e de produtos matinais.

Neste trabalho objetivou-se estudar as características de moagem de frações de aveia e avaliar os efeitos de umidade e temperatura de extrusão na estabilidade de seus produtos. Cariopses de aveia com 18 % umidade foram condicionadas para 14,2 e 5,8 % e secas nas temperaturas entre 44,5 e 115,4 °C. A moagem foi realizada em moinho de rolos, analisando-se as frações de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm. O rendimento da fração de granulometria superior a 532 µm diminuiu com a redução da umidade de condicionamento, ocorrendo o inverso nas frações de granulometrias intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm. As concentrações de proteínas, lipídios e cinzas diminuíram com o aumento da umidade de condicionamento, enquanto a de carboidratos aumentou.

Nos experimentos de extrusão, as frações de granulometrias superior e inferior a 532 µm foram condicionadas para a umidade desejada (15,5-25,5 %) e extrusadas em extrusor monorosca Brabender, utilizando-se temperaturas entre 77,6 e 162,4 °C na segunda e terceira zonas e de 80°C na primeira zona. O material foi seco em estufa, moído e acondicionado em sacos plásticos para as análises. A energia mecânica específica aumentou com a elevação de umidade da matéria-prima. O índice de absorção de água dos extrusados foi relativamente baixo, aumentando com a elevação da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão. O índice de solubilidade mostrou-se inversamente proporcional à temperatura, diminuindo com o aumento da severidade do tratamento térmico. O aumento da viscosidade inicial de pasta foi proporcional à umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão, enquanto as viscosidades máxima à temperatura constante e final diminuíram com o aumento da temperatura. Produtos com menores valores de L* (luminosidade) e maiores de a* (vermelho) e b* (amarelo) foram obtidos a altas umidades e usando-se temperaturas de extrusão de 120 °C. Os produtos extrusados apresentaram maior concentração de fibra alimentar solúvel quando comparados à matéria-prima, porém as variáveis estudadas não interferiram significativamente ($p>0,05$) nos teores de fibras. O processo de extrusão afetou o valor nutritivo das proteínas dos produtos, ocorrendo diminuição de lisina disponível com o aumento da temperatura de extrusão. Os valores de digestibilidade *in vitro* não apresentaram dependência das variáveis estudadas. A atividade das enzimas lipase e peroxidase dos produtos diminuiu drasticamente se comparada às atividades residuais das frações de moagem e da matéria-prima nativa, mostrando uma inativação praticamente completa. O índice de acidez dos produtos extrusados, ao contrário do observado no estudo de moagem, não variou significativamente ($p>0,05$) durante os 126 dias de armazenamento. Independentemente do conteúdo inicial de umidade (15,5-25,5 %), todos os produtos extrusados em temperaturas inferiores a 120 °C apresentaram baixa rancidez oxidativa, ou seja, essas temperaturas se mostraram adequadas para o processamento de aveia.

PHILOSOPHY DOCTOR THESIS

AUTHOR: Luiz Carlos Gutkoski Bac. Agr. Eng.

TITLE: Technological Characterization of Oat Milling Fractions (*Avena sativa* L.) and Effect of Moisture and Temperature of Extrusion on its Stability

SUPERVISOR: Ahmed Atia El-Dash, Ph.D.

Dept. of Food Engineering - FEA - UNICAMP - February - 1997

ABSTRACT

Oat is one of the best balanced cereals for human nutrition, a chemical composition contain amino acids, fatty acids, vitamins and minerals indispensable for child and adult organisms, as well as fibers of high quality, however its use as food is restricted in quantity and types.

The purpose of this research is to study the milling characteristics of ground oat fractions and assess the effects of moisture and temperature on the stability of its extruded products. Oat kernels with 18 % moisture were dried to 14.2-5.8 % moisture. The material was ground in a roller-mill and the fractions $>532\ \mu\text{m}$, $532\text{-}150\ \mu\text{m}$ and $<150\ \mu\text{m}$ were analyzed. The milling yield of the $>532\ \mu\text{m}$ fraction products decreased with reduction of the moisture content of kernels; the inverse occurred for the $532\text{-}150\ \mu\text{m}$ and $<150\ \mu\text{m}$ fractions. The protein, lipids and ash contents of the milling fraction products decreased with the increase of kernel moisture, while the concentration of carbohydrates increased.

For the extrusion experiments, the fractions $>532\ \mu\text{m}$ and $<532\ \mu\text{m}$ were conditioned to the moisture level of 15.5-25.5 % g then extruded in a single-screw laboratory extruder, using temperatures between 77.6 and 162.4 °C for the second and third zones, respectively, while the temperature of the first zone was maintained at 80 °C. After extrusion, the material was dried, ground and wrapped into plastic-bags. The mechanical energy increased with the increase of initial moisture of raw material. The water absorption index of extruded oat (fractions $>532\ \mu\text{m}$) were found to be relatively low (4.16-6.35 g gel/g sample) and increased with increase of initial moisture of raw material as well as extrusion temperature. The water solubility index showed to be inversely proportional to the extrusion temperature. Initial viscosity of the paste increased with the increase of raw material moisture and extrusion temperature, while the values of maximum viscosity (at a constant temperature) and final viscosity diminished with the increase of temperature. Products with lower values of L^* (luminosity) and greater values of a^* (red) and b^* (yellow) were obtained at high moistures rates and extrusion temperatures of 120 °C. Extruded material showed higher soluble dietary fiber (8.14 %) in relation to raw material. The extrusion variables, however did not influence the fiber content. The extrusion process affected the nutrition value of the proteins content, occurring a decrease of available lysine with increasing of temperature. The digestibility values *in vitro* did not show dependency on the examined variables. The lipase and peroxidase activities of the extruded products decreased drastically in comparison to the raw material, showing a practically complete inactivation. The acidity index of the extruded products, on the contrary of the one observed in the milling study, did not vary significantly ($p>0,05$) after 126 days of storage, showing a good hydrolytic stability. Independently of the initial moisture content of the raw material (15.5-25.5 %), all the products extruded to temperatures lower than 120 °C showed low oxidative rancidity.

1 - INTRODUÇÃO

A cultura da aveia (*Avena sativa* L.) ocupa o sexto lugar na classificação da produção mundial de cereais. Em 1992, a quantidade colhida foi de 34 milhões de toneladas e o rendimento médio, de 1.654 kg/ha. Os maiores países produtores são Estados Unidos, Rússia e Canadá (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 1993).

O Brasil se destaca como produtor de aveia na América Latina, aumentando significativamente a quantidade colhida nos últimos anos. A produção brasileira, que se situava em torno de 113 mil toneladas 1984, passou, em dez anos, para 261 mil toneladas, o que significa aumentos substanciais em área cultivada e produtividade (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1985-1995). O aumento da área plantada tornou-se possível devido ao lançamento de mais de trinta cultivares pelas instituições que integram o programa de melhoramento genético de aveia. A produtividade e o rendimento industrial se elevaram, foram obtidas plantas mais precoces, de menor porte e resistentes às doenças fúngicas. Com as novas cultivares, os produtores têm colhido em torno de 3.000 kg/ha, produtividade superior à média nacional, que é de 1.100 kg/ha.

A aveia é um cereal de múltiplos propósitos e corresponde bem a todos os fins para os quais for empregada. Grande área é plantada com o objetivo de cobertura do solo e adubação verde. Além da melhoria das características físicas e biológicas do solo e de diminuição da população de nematóides, ajuda a reduzir a infestação de algumas invasoras e a incidência de doenças como a do mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis tritici*) em trigo. Há, além disso, um número crescente de produtores que procuram integrar lavoura e pecuária, aproveitando as qualidades da aveia como forrageira pela sua utilização na forma de pastejo direto ou corte e uso no cocho, fenação ou silagem. Os grãos colhidos são usados, principalmente, no arração animal, sendo o restante utilizado para o consumo humano e como matéria-prima industrial, para a produção de cosméticos.

Apesar de este cereal fornecer um aporte energético e nutricional perfeitamente equilibrado, ou seja, conter em sua composição química aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais indispensáveis ao organismo de crianças e adultos; das fibras alimentares serem de alta qualidade, principalmente as da fração solúvel, e dos seus efeitos hipocolesterolêmicos e na diabetes (ANDERSON & CHEN, 1986; SHINNICK et alii, 1991; RIPSIN & KEENAN, 1992), o uso de aveia na alimentação humana ainda é restrito e ocorre, basicamente, na forma de alimentos infantis e de produtos matinais.

No Brasil, o consumo humano de aveia está em torno de quarenta mil toneladas de grãos/ano, o que representa um baixo volume e se deve a um desconhecimento generalizado das suas potencialidades. Os produtos de aveia existentes no mercado são limitados em número e desconhecidos quanto às formas de preparo pela maioria da população. A pesquisa em aveia é recente e se restringe ao estudo das características agrônômicas da cultura. Os aspectos tecnológicos e de desenvolvimento de novos produtos de aveia somente agora começam a ser investigados pelas universidades e instituições de pesquisa.

No desenvolvimento de novos produtos de aveia, as principais preocupações são: tornar o grão adequado ao consumo humano, de sabor agradável, longa vida de prateleira e de bom valor nutricional. Para isso é necessário que se combinem os processos tecnológicos e se induzam as modificações físico-químicas, funcionais e nutricionais, a fim de que se obtenham produtos de aveia adequados às exigências do mercado consumidor. As enzimas hidrolíticas e oxidativas presentes naturalmente no grão devem ser inativadas; o amido, parcialmente pré-gelatinizado e o sabor característico de aveia, realçado.

O processamento convencional de aveia envolve a eliminação das porções externas do grão através do descascamento. As cariopses obtidas são cortadas entre dois e quatro pedaços, tratadas hidrotermicamente, flocadas, secas e embaladas (DEANE & COMMERS, 1986). Neste processo, as enzimas são inativadas, a pré-gelatinização do amido não ocorre, e o sabor de aveia é fracamente realçado por ser o tratamento térmico relativamente brando.

A inativação enzimática, normalmente realizada através do uso de vapor à pressão atmosférica, é uma das etapas mais importantes do processamento de aveia. Além desta, outras formas de estabilização foram estudadas em escalas laboratorial ou piloto. FREY & HAMMOND (1975) propuseram a moagem úmida do grão em solução de etanol a 95 %, ou a fervura em água, seguida de secagem a vácuo. LIUKKONEN et alli (1993) realizaram dispersão de farinha de aveia em solução fracamente alcalina. A inativação enzimática pelo uso de energia de microondas foi proposta por VETRIMANI et alli (1992) e pela extrusão termoplástica por FRETZDORFF & SEILER (1987).

A extrusão vem se tornando uma ferramenta promissora no processamento de cereais não só para o consumo humano, mas também para as várias aplicações industriais. Embora o processo seja citado por vários autores (EL-DASH, 1981; HARPER, 1989; OSTERGARD & BJÖRK, 1989), como uma forma eficiente de processamento, o seu emprego em aveia ainda não foi suficientemente investigado.

Com a finalidade de ampliar as possibilidades de processamento de aveia e as formas de utilização dos produtos obtidos para a alimentação humana, desenvolveu-se o presente trabalho de pesquisa, que objetiva:

- 1- estudar o efeito de umidade de condicionamento e de temperatura de secagem no rendimento de moagem, composição química e estabilidade ao armazenamento de frações de aveia;
- 2- estudar o efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades físicas, químicas, funcionais e nutricionais de produtos extrusados de frações de aveia;
- 3- avaliar o efeito das condições operacionais de extrusão na estabilidade hidrolítica e oxidativa durante o armazenamento de produtos extrusados de frações de aveia.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Origem, Distribuição e Produção de Aveia

A aveia é uma gramínea anual pertencente à família *Poaceae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. O gênero *Avena* compreende várias espécies silvestres, daninhas e cultivadas, distribuídas em seis continentes. A área de maior diversidade em espécies está situada entre 25 e 45° latitude norte, 90° longitude leste e 20° longitude oeste, estendendo-se das Ilhas Canárias, Bacia do Mediterrâneo, Oriente Médio até o Himalaia. Centros pontuais de origem das várias espécies de *Avena* são desconhecidos, mas provavelmente estão localizados dentro dessa área retangular (MURPHY & HOFFMAN, 1992).

Embora existam muitas controvérsias, COFFMAN (1961) sugeriu que o centro de origem das espécies silvestres hexaplóides *A. sterilis* e *A. fatua* seja a região da Ásia Menor. Estas espécies seriam os progenitores das atuais aveias cultivadas. MUNDSTOCK (1983) também colocou dúvidas quanto à origem das espécies de aveia. Aparentemente a *A. sativa* teve origem na Ásia, enquanto *A. byzantina* e *A. sterilis* no Mediterrâneo e Oriente Médio. A aveia foi domesticada depois das culturas de cevada e trigo, sendo, inicialmente, considerada uma planta invasora das mesmas.

HOLDEN (1979) concluiu que o progenitor do grupo hexaplóide é a espécie *A. sterilis*, que possui mecanismo de dispersão e um sistema efetivo de dormência. Ela ocorreu como uma das principais espécies formadoras da flora herbácea nas terras firmes do Mediterrâneo e Ásia Menor. As duas principais espécies cultivadas, *A. sativa* e *A. byzantina*, formadas a partir de *A. sterilis*, são separadas taxonomicamente pela posição em que o ráquis se rompe durante a colheita. A *A. nuda*, espécie que se apresenta livre das glumas florais após a colheita, é uma variante derivada de *A. sativa* ou *A. byzantina*. Nestas três espécies, falta o mecanismo de dispersão e as mesmas só podem existir em áreas cultivadas.

As espécies de aveia ocorrem em três níveis de ploidia: diplóides ($2n=2x=14$), tetraplóides ($2n=4x=28$) e hexaplóides ($2n=6x=42$). Nos três grupos, são encontradas espécies cultivadas. *A. strigosa* e *A. brevis* são diplóides. A tetraplóide *A. barbata* é de cultivo restrito. Já as hexaplóides *A. sativa*, *A. byzantina* e *A. nuda* são consideradas as mais importantes do gênero (HOLDEN, 1979).

A adaptabilidade geográfica das espécies geralmente aumenta com o nível de ploidia. As espécies hexaplóides *A. sativa*, cultivada e *A. fatua*, daninha, estão melhor distribuídas no mundo. Apesar disso, a espécie tetraplóide *A. barbata*, é uma daninha muito agressiva e se desenvolve nos solos pobres da bacia do Mediterrâneo, Himalaia e em certas áreas das Américas do Norte e do Sul, onde foi introduzida. Em adição, a espécie diplóide *A. strigosa*, cultivada na Escócia e em países da América do Sul como Brasil e Argentina, foi plantada no norte e no leste Europeu por vários séculos (MURPHY & HOFFMAN, 1992).

No início do século XVII, a aveia já estava extensivamente estabelecida na Europa Ocidental, sendo utilizada na produção de grãos e de forragens. No período entre 1.000 e 1.500, um novo sistema de agricultura foi desenvolvido na Europa do Norte, que incluiu aveia como importante componente de rotação de culturas e utilização no arração de cavalos. A relação entre aveia e alimentação de cavalos foi estabelecida e isto influenciou decisivamente na expansão da cultura durante o período em que os cavalos foram utilizados como meio de tração (COFFMAN, 1961).

A época de introdução da cultura no Brasil ainda não foi precisamente determinada. É provável que os espanhóis tenham trazido a *A. bysantina* para a América, sendo as *A. sativa* e *A. strigosa* introduzidas mais tarde. Esta última teria sido levada do Brasil para o Canadá e, posteriormente, para os Estados Unidos (MUNDSTOCK, 1983).

Do total de aveia cultivada no mundo, estima-se que as cultivares de *A. sativa* cubram cerca de 80 %, sendo os restantes 20 % atribuídos às demais espécies. A *A. strigosa*, cultivada para a produção de forragem, ocupa área relativamente pequena, tendo expressão na América do Sul (MUNDSTOCK, 1983). No Canadá e Grã-Bretanha, tem-se verificado o crescimento da produção de *A. nuda*, que apresenta a vantagem de ser colhida já sem casca, o que diminui os custos de transporte, beneficiamento e armazenamento (FLOSS, 1988).

A aveia está melhor adaptada às regiões de estação fria, áreas entre 35 e 50° de latitude norte e 20 e 40° de latitude sul (MURPHY & HOFFMAN, 1992), refletidas pelas maiores áreas de produção. A aveia soma entre 5 e 7 % da produção mundial de grãos e ocupa o sexto lugar na classificação da produção mundial de cereais, superada por trigo, milho, arroz, cevada e sorgo. Em 1992 foram produzidos 34 milhões de toneladas de grãos de aveia, sendo Estados

Unidos, Rússia, Canadá, Alemanha, Polônia, Austrália, China, Suécia e França os maiores produtores; na América Latina, destacam-se Argentina e Brasil (FAO, 1993).

Durante muito tempo, o cultivo de aveia para grãos foi pouco expressivo no Brasil, embora se observe progressivo incremento na área de cultivo a partir da década de 1930 (8.000 ha) até os dias de hoje, com cerca de 300 mil hectares. A pequena área de cultivo pode ser atribuída, sobretudo, à falta de cultivares adaptadas às condições climáticas do país e aos problemas causados pela ferrugem da folha (*Puccinia coronata* Cdo. Eriks). Entretanto, com o envolvimento de diversas instituições de ensino, pesquisa e fomento em programas de melhoramento genético de aveia, foram criadas várias cultivares, ocorrendo, com isto, um aumento expressivo em área cultivada e produtividade (FLOSS, 1988).

Em 1994, o país plantou 310.180 ha, obtendo uma produção de 260.995 t (IBGE, 1995). O estado do Rio Grande do Sul destaca-se como o maior produtor, seguido pelo Paraná e Santa Catarina. As principais regiões de cultivo de aveia para a produção de grãos estão localizadas nos municípios de Passo Fundo, Lagoa Vermelha, Vacaria e Ijuí, no Rio Grande do Sul, na região de Guarapuava no Paraná e nos municípios de Lages e Campos Novos em Santa Catarina.

O melhoramento genético de aveia tem criado genótipos adaptados às condições climáticas da região Sul do Brasil, com alto potencial para rendimento de grãos e peso hectolítico. Os programas de melhoramento devem continuar criando e testando novos genótipos anualmente, com o objetivo de incrementar a estabilidade e o potencial de rendimento de grãos (CARVALHO et alii, 1987). A pesquisa já lançou no mercado mais de trinta cultivares de aveia. A produtividade e o rendimento industrial se elevaram, foram obtidas plantas mais precoces e resistentes às doenças fúngicas. Seu porte tornou-se menor e menos sujeito ao acamamento, o que no passado prejudicava lavouras inteiras.

O aumento da área cultivada de aveia pode ser atribuído a diversos fatores, como a necessidade de diversificação em nível de propriedade, preços favoráveis no mercado interno, disponibilidade de cultivares com alto potencial de rendimento de grãos, estabelecimento de preços mínimos e valor básico de custeio (FLOSS, 1988).

A demanda também tem crescido no Brasil, tanto para consumo humano quanto para ração animal. Para a alimentação humana, são processadas cerca de quarenta mil toneladas de

grãos por ano. Porém, esta quantidade ainda é pequena e deve-se à falta de hábito alimentar e número reduzido de opções de consumo (CARVALHO, 1991). O alto custo dos produtos de aveia, como flocos, farelo e farinha, também é fator limitante e reprime o uso de forma mais generalizada. O maior consumo de aveia é na alimentação animal, pois a época de colheita coincide com o período de escassez do milho, meses de outubro, novembro e dezembro.

2.2 - Grão de Aveia

A organização morfológica e química do grão de aveia foi descrita por vários autores (BETCHEL & POMERANZ, 1981; FULCHER, 1986; HOSENEY, 1990). As cariopses dos grãos de aveia se desenvolvem dentro de coberturas florais que, na realidade, são folhas modificadas. Estas se chamam glumas e formam parte da palha. Estas coberturas florais envolvem as cariopses tão firmemente que permanecem aderidas a elas após a colheita e se constituem na casca dos grãos de aveia (HOSENEY, 1990). Em trigo, milho, centeio, sorgo e aveia nuda, os grãos se desprendem facilmente da casca durante a colheita, sendo denominados de grãos desnudos.

A cariopse representa em torno de 65-75 % do grão, enquanto as cascas, os restantes 25-35 %. A proporção de cariopse e cascas é influenciada pelas condições ambientais e genótipos. YOUNGS (1972) encontrou um rendimento industrial entre 68,2-76,4 % e peso de mil cariopses variando entre 18,7 e 22,7 g, em sete genótipos de aveia cultivados nas mesmas condições ambientais. A *palea* e a *lemma* das cultivares de aveia nuda são mais membranosas e facilmente removidas por ocasião da colheita.

A cariopse do grão de aveia apresenta tamanho e cor variável, formato fusiforme e as extremidades pontiagudas. Está encoberta por numerosos pelos ou tricomas. Em uma das extremidades, encontra-se o germe e, na outra, cabelos finos. A reentrância ou *crease* está localizada no lado oposto do embrião e se estende por todo o comprimento da cariopse (FULCHER, 1986).

O endosperma é composto pela camada de aleurona e pelo endosperma amiláceo. O endosperma é composto de grande quantidade de células amiláceas e contribui com 55,8-68,3 % do peso total da cariopse (BETCHEL & POMERANZ, 1981). As células do aleurona secretam enzimas hidrolíticas durante a germinação, que digerem e mobilizam as reservas de amido, lipídios e proteínas. As camadas externas e o aleurona formam a fração de moagem

conhecida como farelo. YOUNGS (1972), dessecando manualmente cariopses de aveia de sete genótipos, encontrou uma variação no teor de farelo entre 28,7-41,4 %. A variação na espessura de farelo variou entre 580-1.010 μm . Com o emprego de moagem experimental, foram obtidos menores rendimentos de farelo quando comparado com a dessecação manual.

O embrião de aveia, compreendendo escutelo e eixo embrionário, está localizado na porção anterior, perto da base da cariopse. O escutelo está em contato com o endosperma e secreta enzimas durante a germinação. O eixo embrionário consiste da plúmula e da radícula, que são responsáveis pela origem da nova plântula. Segundo YOUNGS (1972), o escutelo e o eixo embrionário compreendem 1,7-2,6 % e 1,0-1,4 %, respectivamente, da cariopse de aveia.

A proporção das estruturas do grão de aveia com casca e descascado é de 25 % de casca, 9 e 12 % de pericarpo, 63 e 84 % de endosperma e de 2,8 e 3,7 % de germe, respectivamente (KENT, 1984). O grão de aveia possui um comprimento de 6 a 13 mm, largura de 1 a 4,5 mm, peso médio de 32 mg e densidade de 520 a 756 kg m^{-3} (SHUKLA, 1975).

2.2.1 - Composição química

A qualidade e a quantidade de proteínas na aveia são reconhecidamente superiores quando comparadas às dos demais cereais. A concentração de proteínas varia entre cultivares, bem como na mesma cultivar quando exposta a diferentes locais de cultivo. ROBBINS et alii (1971), avaliando o teor protéico de 289 cultivares de aveia, encontraram uma variação entre 12,4 e 24,4 %. O balanço de aminoácidos não se alterou significativamente com o aumento do teor de proteínas. Assim, a aveia pode ser cultivada sob condições que maximizam o teor protéico sem que ocorram perdas na qualidade de proteínas (PETERSON, 1976).

A concentração e a distribuição de proteínas no grão de aveia foram estudadas por YOUNGS (1972). Com o aumento da concentração de proteínas no grão, ocorreu um aumento da concentração de proteínas no farelo e no endosperma. O eixo embrionário e o escutelo, frações que formam o germe, compreendem em torno de 3 % do total de peso do grão e são ricos em proteínas, porém representam somente 6 % do total de proteínas do grão. A maior concentração de proteínas está nas frações farelo e endosperma, correspondendo em torno de 48,6 e 45,1 %, respectivamente.

A qualidade das proteínas nas frações do grão de aveia foi estudada por POMERANZ et alii (1973) através da avaliação da composição em aminoácidos. Estes observaram similaridades entre a composição de aminoácidos do embrião e do escutelo e entre a do farelo e a do endosperma. O germe apresentou maior quantidade dos aminoácidos treonina, glicina, alanina, valina e ácido aspártico, enquanto o endosperma, maiores quantidades de ácido glutâmico, prolina, cistina, tirosina e fenilalanina.

Quanto aos perfis de aminoácidos das frações globulina, albumina, prolamina e glutelina de aveia, DRAPER (1973) observou que a prolamina apresentou altos teores de ácido glutâmico e prolina e baixos de lisina e treonina. Esta fração é nutricionalmente pobre em alguns aminoácidos essenciais. A albumina apresentou alta concentração de ácido glutâmico, lisina e treonina, sendo a fração de melhor valor nutritivo. Já a composição em aminoácidos das frações globulina e glutelina ficou em posição intermediária entre albumina e prolamina, com concentrações similares em aminoácidos essenciais.

A aveia é única entre os cereais com relação ao seu alto conteúdo de lipídios. Os lipídios são considerados importantes nutricionalmente pela composição em ácidos graxos essenciais, responsáveis, juntamente com as enzimas hidrolíticas, pela baixa estabilidade dos produtos. BROWN & CRADDOCK (1972), analisando mais de quatro mil genótipos de uma coleção mundial de aveia, encontraram valores entre 3,1 e 11,6 %.

A casca apresenta baixa percentagem de lipídios em relação ao restante do grão. O maior teor se encontra no germe, com 33,2 %, mas sua relação com a quantidade total de lipídios soma somente 7,7 % de lipídios. O farelo tem em torno de 40 % de lipídios e o endosperma 52,1 % (YOUNGS, 1972). No trabalho de YOUNGS (1986), as concentrações encontradas foram de 12,5 % no germe; 22-25 % no farelo e de 60 % no endosperma, em relação ao total de lipídios do grão de aveia.

A composição em ácidos graxos dos lipídios de aveia foi determinada por vários autores (YOUNGS et alii, 1977; SAHASRABUDHE, 1979; YOUNGS, 1986). Existem diferenças significativas entre cultivares quanto à composição em ácidos graxos. Em todos os estudos, palmítico, oléico e linoléico foram os principais ácidos graxos, representando em torno de 95 % do total. Os ácidos mirístico, esteárico e linolênico ocorreram em menores quantidades e apenas traços dos ácidos graxos de cadeia longa (YOUNGS, 1986).

Embora existam poucos estudos nutricionais dos lipídios de aveia, pode-se afirmar que o alto conteúdo dos ácidos oléico e linoléico resulta em relação favorável de ácidos graxos insaturados para ácidos graxos saturados, ficando em torno de 3,0. Este índice é superior ao mínimo recomendado pelos órgãos de saúde que é 1,0 (LOCKHART & HURT, 1986).

Em função dos maiores teores de proteínas e lipídios, a aveia tem comparativamente menor concentração de carboidratos. Os carboidratos do grão de aveia variam entre 60,4 e 71,3 % (PETERSON & SMITH, 1976). Entre os carboidratos, o maior constituinte é o amido, com concentrações entre 43,7 e 61 % (YOUNGS et alii, 1982). O amido está localizado no endosperma, com pouco ou quase nada no germe e na camada de aleurona (FULCHER, 1986). Os grânulos individuais de amido apresentam dimensões de 2-5 μm , forma poliédrica e estão agrupados. Os grânulos compostos são grandes (60 μm) e de forma esférica (PATON, 1986). Do amido total, a fração amilose corresponde a 26,8 %, sendo o restante amilopectina (DOUBLIER et alii, 1987).

As concentrações de açúcares são semelhantes aos demais cereais, em torno de 1,03 %, sendo sacarose e rafinose os mais importantes (YOUNGS et alii, 1982). MacARTHUR & D'APPOLONIA (1979) reportaram concentrações de açúcares totais nas frações cariopse, farelo e farinha de aveia de 1,1, 2,6-3,4 e 0,9-1,3 %, respectivamente. Com a maturação da semente, ocorreu um aumento de rafinose. No processamento, por outro lado, ocorreu diminuição de glicose e maltose e aumento de frutose (MacARTHUR-GRANT, 1986).

A fibra alimentar foi definida por PETERSON (1992) como a soma de polissacarídeos e ligninas de vegetais que não são digeridos por enzimas, enquanto que fibra bruta é o resíduo obtido após tratamentos ácido e alcalino, realizados em laboratório. A fibra alimentar é composta por celulose, hemicelulose, gomas, pectinas e mucilagens. Quanto à solubilidade em água, a fibra alimentar tem componentes insolúveis como lignina, celulose, várias hemiceluloses e componentes solúveis, como pectinas, gomas, algumas hemiceluloses e amidos resistentes (WALKER, 1993).

A fibra alimentar total de aveia varia entre 7,1 e 12,1 %. Esta variação se deve aos vários métodos de determinação utilizados e às diferenças entre cultivares (FROLICH & NYMAN, 1988). No farelo, o conteúdo de fibra alimentar é de 15 a 19 %. Deste total, 34-48 % são fibras solúveis e o restante insolúveis (SHINNICH et alii, 1988).

A concentração de fibra alimentar solúvel do grão de aveia é relativamente maior quando comparada à dos demais cereais. O componente mais importante da fibra solúvel são as β -glicanas, moléculas lineares compostas de ligações β -1,3 e β -1,4 entre as unidades D-glicopiranosil a uma taxa de 1:2,6 (ASPINALL & CARPENTER, 1984). WOOD et alii (1991) encontraram concentrações de 3,0 a 6,8 % de β -glicanas em cariopses de aveia. No farelo, os teores foram de 5,8 a 8,9 %.

A aveia é uma boa fonte de manganês, magnésio, ferro e apresenta quantidades satisfatórias de cálcio, zinco e cobre. Em estudos nutricionais, também foram identificados elementos traços de cromo, níquel, flúor, molibdênio, cobalto, vanádio, selênio e estanho. WEAVER et alii (1981), analisando os elementos minerais Fe, Zn, Mn, Cu, Cr, Ni em vários estágios de moagem de aveia, verificaram que o descascamento resultou em aumento de todos os nutrientes estudados, refletindo menor concentração de minerais na casca quando comparado com a cariopse, exceto para o cromo. Grãos descascados, flocos regulares, flocos finos e farinha não apresentaram diferenças significativas na concentração dos constituintes estudados. Ao comparar as frações de moagem, farelo e endosperma, PETERSON et alii (1975) verificaram uma maior concentração de minerais no farelo.

FROLICH & NYMAN (1988), estudando a distribuição dos minerais no grão de aveia, encontraram 31-47 % na casca, 15-30 % no farelo grosso, 16-22 % no farelo fino e 8-47 % na farinha. Os minerais encontrados em maiores quantidades nas frações de aveia foram cálcio, magnésio, fósforo e potássio. A casca apresentou grande quantidade significativa de cálcio, mas não disponível para a absorção por estar ligado com outros constituintes.

A aveia contribui com uma pequena quantidade de vitaminas na dieta, destacando-se as do complexo B e vitamina E. O grão de aveia apresenta, em média, para cada 100 g, 0,67 mg de tiamina, 0,14 mg de riboflavina, 0,98 mg de niacina, 1,48 mg de ácido pantotênico e 3 mg de vitamina E. As vitaminas A, C e D não estão presentes no grão de aveia (SHUKLA, 1975).

A composição dos tocóis nos tecidos das plantas é complexa, consistindo basicamente de quatro homólogos de tocoferol e de tocotrienol. Na aveia, α -tocotrienol é a maior fração, compreendendo mais de 40 % dos tocóis e α -tocoferol com 18 %. β -tocoferol e β -tocotrienol estão em baixas concentrações (MORRISON, 1978).

PETERSON (1995), estudando a concentração de tocóis no grão e nas frações farelo e farinha de aveia encontraram em mg/100 g, 4,09, 3,48 e 2,77, respectivamente. Em relação à percentagem total de tocóis, as maiores quantidades foram encontradas em α -tocotrienol, α -tocoferol, β -tocoferol e β -tocotrienol. Também foram determinadas quantidades significativas de γ -tocoferol e δ -tocotrienol.

2.2.2 - Valor nutricional

A proteína presente na aveia é expressiva quando comparada à dos demais cereais e se torna alvo de maior atenção devido sua composição em aminoácidos, reconhecida como de alto valor nutritivo. Segundo a FAO/WHO/UNU (1985), a qualidade de uma proteína é refletida pelo seu balanço em aminoácidos e digestibilidade. Entre os aminoácidos essenciais, a lisina normalmente é considerada limitante nos cereais, seguida de treonina, metionina e isoleucina. ROBBINS et alii (1971), estudando 289 cultivares de aveia, verificaram uma alta concentração de ácido glutâmico no grão; a lisina foi nutricionalmente limitante, com uma concentração média de 4,2 g/16g N. Este valor, embora alto quando comparado ao dos demais cereais, está abaixo dos teores recomendados pela FAO, que é de 5,8 g/16g N (FAO/WHO/UNU, 1985). A treonina foi o segundo aminoácido limitante. O valor médio encontrado por ROBBINS et alii (1971) foi de 3,3 g/16g N e ficou abaixo do valor de 3,4 g/16g N recomendado pela FAO.

O valor nutritivo da proteína não depende somente do conteúdo de aminoácidos essenciais, mas também, da disponibilidade fisiológica dos mesmos. Em trabalhos nos quais se estuda o valor nutricional das proteínas, a determinação de lisina disponível é muitas vezes mais importante que a de lisina total. Também está estabelecido que a lisina deve ter um grupo epsilon amino livre para ser biologicamente disponível (EKLUND, 1976). A deficiência de lisina alimentar pode afetar o crescimento de animais. Em muitos alimentos, a lisina é limitante não só pela pequena quantidade incorporada à proteína durante a biossíntese, mas também devido às reações químicas secundárias e fatores, como luz, calor, álcali e açúcares redutores, que a tornam nutricionalmente indisponível (HOLGUIN & NAKAI, 1980).

Em função da utilização biológica de uma proteína estar diretamente relacionada com a velocidade, a ordem de liberação e a composição dos aminoácidos essenciais resultantes de sua hidrólise pelas peptidases gástricas, pancreáticas e intestinais, os métodos de determinação da digestibilidade protéica *in vitro* têm sido utilizados como base da estimativa do valor biológico

das proteínas e da disponibilidade de seus aminoácidos essenciais. Estes vêm sendo amplamente utilizados em substituição aos ensaios biológicos que normalmente requerem grandes quantidades de amostras, sendo caros, demorados e impróprios para análises de rotina (WOLZAK et alii, 1981, SWAISGOOD & CATIGNANI, 1991).

A digestibilidade verdadeira e a lisina disponível de aveia, trigo e farinha de trigo foram determinadas em ratos. A aveia apresentou maiores valores em ambas as análises. A digestibilidade verdadeira de aveia, trigo e farinha de trigo foi 94, 91 e 90 %, respectivamente. Em relação à percentagem de disponibilidade de lisina, os valores foram 90, 80 e 79 %, respectivamente (SARWAR, 1987).

A aveia em flocos apresentou digestibilidade verdadeira de 93,8 %, valor biológico de 74,8 % e utilização líquida da proteína de 70,2 % (EGGUM et alii, 1989). SARWAR et alii (1989) encontraram, para a digestibilidade verdadeira e digestibilidade aparente, valores de 91 e 82 %, respectivamente.

O escore químico fornece informação segura da qualidade protéica, embora informações sobre a digestibilidade da proteína e disponibilidade de aminoácidos sejam essenciais (BETSCHART, 1982).

ZARCADAS et alii (1995) avaliaram o perfil de aminoácidos essenciais e a qualidade da proteína em relação à digestibilidade correlacionada com o escore químico em grãos e cariopses de aveia de duas cultivares. O perfil de aminoácidos essenciais foi de 44,2 e 45,4 %, sendo similar nas duas cultivares. Estes valores estão altos quando comparados com o recomendado pela FAO, que é de 33,9 %. O escore químico nas cultivares variou entre 67,2 e 77,6 % para grãos com casca e foi 72,4 % para cariopses de aveia, ou seja, não apresentou diferenças significativas. Quanto ao índice de aminoácidos essenciais (MEAAI), os autores não observaram diferenças entre grãos de aveia com casca e descascados nas cultivares estudadas. Porém, entre cultivares, verificou-se uma variação significativa com valores de MEAAI entre 86,2 e 90,6. O escore químico correlacionado com a digestibilidade (PDCAAS) em grãos de aveia descascado foi igual para as duas cultivares, ou seja, 62,3 %; para grãos de aveia com casca, variou entre 58 e 66,7 %.

EGGUM & GULLORD (1983), avaliando a qualidade protéica de cariopses de aveia em dietas administradas a ratos, com teores protéicos variando entre 10,25 e 15,68 %,

observaram alta digestibilidade verdadeira, acima de 90 %, para todas as cultivares estudadas. Por outro lado, o valor biológico foi baixo, ficando entre 74,5 e 79,6 %. Diferentemente do que nos demais grãos de cereais, a qualidade das proteínas de aveia não foi afetada pela concentração de proteínas na dieta.

Quanto aos fatores antinutricionais, ou são desconhecidos ou pouco conseqüentes na aveia (YOUNGS et alii, 1982). Inibidor de tripsina foi encontrado na farinha, mas inativado com o processamento. Substâncias fenólicas (taninos), que se ligam com proteínas diminuindo a digestibilidade, também não têm sido relatadas em aveia. O ácido fítico, nutricionalmente importante por se ligar com minerais essenciais, como cálcio, zinco e magnésio, diminuindo a biodisponibilidade destes, também não tem efeito documentado nos produtos de aveia.

2.2.3 - Estabilidade

A estabilidade, com a resultante manutenção de qualidade e aceitabilidade dos produtos de aveia, deve ser buscada nas várias etapas ao longo da cadeia de produção, como seleção de cultivares, manejo de lavoura, colheita, armazenamento, moagem até a obtenção dos produtos finais. Contudo, a ocorrência de doenças, instabilidade climática, danificação mecânica e manejo deficiente nas operações de colheita, armazenamento e moagem levam ao aumento de rancidez e à subsequente diminuição de estabilidade ao armazenamento de grãos e dos produtos de aveia.

a- Rancidez hidrolítica e oxidativa

A rancidez, definida como fator adverso de qualidade, aumentada direta ou indiretamente por reações dos lipídios endógenos, produz sabor e aroma indesejáveis ou propriedades funcionais inaceitáveis (GALLIARD, 1983) e pode ser hidrolítica ou oxidativa.

Na rancidez hidrolítica, os ácidos graxos são liberados dos triglicerídios pela ação de enzimas presentes naturalmente no grão, adicionadas intencionalmente ou por enzimas de microrganismos contaminantes. Resultados finais desta hidrólise são sabor desagradável, aumento de acidez, o aumento da susceptibilidade dos ácidos graxos às reações de oxidação e as alterações de propriedades funcionais.

Por outro lado, a rancidez oxidativa resulta da reação entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio atmosférico, catalisado por um grande número de agentes, normalmente

enquadrados em dois grandes grupos, os enzimáticos e os não enzimáticos ou químicos (GALLIARD, 1983).

Na rancidez oxidativa enzimática, enzimas como a lipoxigenase catalisam reações entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio molecular, produzindo hidroperóxidos. Os hidroperóxidos são degradados, por diversas reações, a compostos voláteis e a compostos não voláteis. Já na rancidez oxidativa não enzimática, metais, íons, irradiação catalisam a reação entre os ácidos graxos e o oxigênio molecular. Esta reação, embora ocorra nos óleos vegetais, tem sua intensidade diminuída devido aos antioxidantes naturais (tocoferóis). Os antioxidantes, além de prevenir a oxidação, representam importante fonte de vitamina E. Nos grãos cereais, a rancidez oxidativa não enzimática é mínima, possivelmente, devido à presença de antioxidantes e à baixa atividade de água. Porém, nos produtos derivados de cereais, essa tende a ocorrer com relativa intensidade.

O mecanismo da rancidez oxidativa foi descrito por vários autores (HAMILTON, 1983; KANNER et alii, 1987; BELITZ & GROSCH, 1988; HSIEH & KINSELLA, 1989) e envolve, basicamente, três etapas distintas: iniciação, propagação e terminação. A fase inicial está relacionada com fatores, como luz, calor ou íons metálicos, que atuam catalisando a formação de radicais livres. Estes radicais livres ($R\bullet$) reagem com o oxigênio atmosférico para formar peróxidos instáveis de radicais livres ($ROO\bullet$) os quais podem voltar a capturar átomos de hidrogênio de outro ácido graxo insaturado, formando hidroperóxidos ($ROOH$) e novos radicais livres. Os radicais livres iniciam novas oxidações e contribuem para a reação em cadeia. A reação em cadeia (propagação) termina pela formação de produtos sem radicais livres (RR , $ROOR$). A velocidade de oxidação dos ácidos graxos aumenta em relação ao seu grau de insaturação. As taxas relativas de rancidez oxidativa dos ácidos oléico, linoléico e linolênico são na ordem de 1:40-50:100, com base no consumo de oxigênio, e de 1:12:25, com base na formação de peróxidos (HSIEH & KINSELLA, 1989).

Enquanto os produtos primários da rancidez oxidativa, os hidroperóxidos, são inodoros e insípidos, os seus produtos de decomposição como aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos, normalmente contribuem para o desenvolvimento de sabor desagradável. A deterioração de lipídios, além de afetar o sabor, também resulta na destruição de ácidos graxos essenciais e de vitaminas lipossolúveis. Em adição, produtos de rancidez oxidativa podem possuir atividade tóxica, carcinogênica ou mutagênica (SHAHIDI, 1995). Esses compostos

também podem interagir com outros constituintes do alimento, causando alterações nutricionais e funcionais (SHERWIN, 1978).

LABUZA (1982), estudando a estabilidade de cereais desidratados descreveu quatro formas principais de deterioração: ganho de umidade, rancidez oxidativa, perda de vitaminas e danificações mecânicas. A rancidez oxidativa é citada como a mais importante e as razões disso são: primeira, a atividade de água dos cereais desidratados está abaixo da camada monomolecular, paralisando todos os outros tipos de reações deteriorativas; segunda, os grãos usados no preparo destes produtos, normalmente, apresentam alta proporção de ácidos graxos insaturados, requeridos para a ocorrência de rancidez.

b- Atividade enzimática

De fato, a aveia apresenta uma forte tendência à rancidez. A causa primária disso é a presença de enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres, os quais, por serem de natureza insaturada, são facilmente oxidados a hidroperóxidos, que, em reações posteriores, se transformam em uma grande variedade de compostos de baixo peso molecular.

As lipases hidrolisam somente os triglicerídios emulsionados e são ativas na interface de um meio aquoso que contém a enzima em si e o substrato de triglicerídio imiscível em água. Vários são os fatores que afetam a hidrólise, como o envolvimento da interface lipídio-água no processo catalítico, pH, temperatura, umidade, entre outros. Quanto maior for a superfície interfacial lipídio-água, ou seja, quanto menor for a micela, tanto mais ativa são as lipases. Esta relação é importante e deve ser considerada quando da obtenção de emulsões que se empregam como substrato para determinar a atividade lipolítica. Além disso, a velocidade de hidrólise depende do comprimento do éster de ácido graxo (BELITZ & GROSCH, 1988).

Na aveia, a lipase (EC-3.1.1.3) hidrolisa sem especificidade as três posições do glicerol, porém apresenta alta seletividade pelos ácidos graxos insaturados de cadeia longa e pode ocorrer um pequeno acúmulo de mono e diglicerídios (PIAZZA et alii, 1992). Sua atividade é otimizada em pH 7,4 e temperaturas de 37-38 °C (MARTIN & PEERS, 1953).

A lipase não está uniformemente distribuída no grão de aveia. URQUHART et alii (1983) afirmaram que a maior atividade de lipase está associada com a camada de aleurona. EKSTRAND et alii (1992) verificaram em estudos posteriores que o embrião apresentou maior atividade lipolítica quando comparado com a camada de aleurona e o endosperma. A

atividade lipolítica também varia entre cultivares e esta parece ser uma característica controlada geneticamente. FREY & HAMMOND (1975), analisando 352 cultivares de aveia, encontraram uma variação de vinte vezes. Variações consideráveis entre cultivares foram observadas também por LEE & HAMMOND (1990).

A atividade de lipase varia durante o desenvolvimento, maturação, armazenamento e germinação do grão de aveia. URQUHART et alii (1984) verificaram atividade máxima entre 23 e 30 dias após a antese, ocorrendo declínio com a aproximação da maturação. O pico de atividade coincidiu com o peso máximo dos grãos em desenvolvimento. PARMAR et alii (1994) encontraram maior atividade nas cariopses colhidas com 15 dias após a antese em comparação com aquelas colhidas aos 30 dias. A percentagem de hidrólise correlacionou negativamente com o peso das cariopses e rendimento de grãos descascados. SAHASRABUDHE (1982) verificou redução de 45-50 % de atividade de lipase em grãos armazenados por dois anos. Na germinação, foi observado aumento de 60 % de atividade lipolítica durante às primeiras 12 horas de umidificação da semente. O embrião apresentou apenas traços nas primeiras 24 horas, mas a atividade lipolítica aumentou continuamente até o quarto dia, enquanto que, na semente, a atividade diminuiu com o tempo de germinação (URQUHART et alii, 1984).

A atividade de lipase é fortemente afetada pela quantidade de água disponível. A maior atividade ocorreu em aveia com 25-50 % de umidade, porém, ao aumentar para 75-100 %, a atividade foi inibida (FREY & HAMMOND, 1975). As melhores condições para a reação foram temperatura de 40 °C e umidade de 20 %. O tempo necessário para 90 % de hidrólise variou de poucos dias a várias semanas. Porém, a reação foi inibida pelo acúmulo de glicerol no interior da cariopse e de ácidos graxos livres na fase oleosa (LEE & HAMMOND, 1990).

A aveia é o cereal com os maiores níveis de triglicerídios e de atividade lipolítica. Assim, o potencial para a rancidez hidrolítica existe e pode resultar em produtos de baixa qualidade comercial. LIUKKONEN et alii (1992) afirmaram que a prevenção da hidrólise lipídica deveria ser o principal objetivo no processamento de produtos de aveia. O'CONNOR et alii (1992) verificaram que a aveia foi o cereal a apresentar maior atividade lipolítica. A percentagem de hidrólise encontrada para aveia, trigo e cevada foi de 64,4, 17,1 e 23,0, % respectivamente, após a incubação a 25 °C por 24 horas. O autor evidenciou a ocorrência de reações degradativas posteriores nos ácidos graxos hidrolisados de aveia. MATLASHEWSKI

(1982), comparando as atividades lipolíticas de grãos não germinados de aveia, trigo, cevada e centeio, encontrou 8,4, 0,7, 0,9 e 0,9 μmol de ácidos graxos liberados por minuto por grama, respectivamente. Ao avaliar as velocidades de hidrólise dois dias após a germinação dos grãos, os valores encontrados foram 11,9, 0,8, 0,6 e 3,2 9 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$, respectivamente.

Além de lipase, as enzimas lipoxigenase, peroxidase, catalase, tirosinase, BAPase, α -amilase, lichenase e protease também estão presentes na aveia (SHUKLA, 1975). A lipoxigenase (EC-1.13.11.12) catalisa a oxigenação de certos ácidos graxos insaturados a monohidroperóxidos, produtos primários da rancidez oxidativa enzimática, os quais podem ser degradados em uma variedade de produtos secundários, responsáveis pela rancidez ou sabor amargo dos produtos de aveia (GALLIARD, 1983). A lipoxigenase peroxida somente os ácidos graxos que possuem o sistema *cis,cis*-1,4-pentadieno ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$), substrato encontrado nos ácidos linoléico e linolênico e ausente no ácido oléico (BELITZ & GROSCH, 1988).

Embora a atividade de lipoxigenase tenha sido extensivamente estudada em trigo e especialmente nos produtos de germe de trigo (GALLIARD, 1986a; GALLIARD, 1986b), são poucas as referências com relação aos produtos de aveia.

POMERANZ (1974) observou que a lipoxigenase pode ser a responsável pela produção de hidroperóxidos em aveia, porém sua atividade foi de apenas 10 % quando comparada com a de grãos de centeio, trigo e cevada; provavelmente seja inibida pela presença de antioxidantes naturais. FRETZDORFF & SEILER (1987) também detectaram baixa atividade de lipoxigenase em aveia. Em função da baixa atividade de lipoxigenase, a oxidação enzimática é mínima e os hidroperóxidos dos produtos de aveia devem se formar, prioritariamente, a partir da rancidez oxidativa não enzimática.

A peroxidase (EC-1.11.1.7) foi detectada em maiores quantidades na aveia. Esta enzima é capaz de decompor os hidroperóxidos em compostos hidroxilados de baixo peso molecular, responsáveis pelo sabor amargo dos produtos obtidos daquele cereal (YOUNGS, 1986).

A peroxidase é uma enzima excepcionalmente estável ao calor, e sua ausência após o tratamento térmico de alimentos frequentemente é utilizada como indicador de que as demais enzimas presentes no produto foram desnaturadas (ADAMS, 1991). Em temperaturas de

branqueamento, o tempo extra requerido para inativar a peroxidase não é excessivo, e a perda de qualidade, embora significativa, é relativamente pequena. O processo envolve a exposição do produto a alguma forma de calor, normalmente vapor ou água quente, por tempo e temperatura previamente determinados através de testes com enzimas indicadoras. A enzima recomendada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos desde o ano de 1975, para que seja realizado este teste, é a peroxidase (BARRETT & THEERAKULKAIT, 1995). Contudo, quando for aplicado o processo alta temperatura e curto tempo, na faixa de 130-150 °C, a alta estabilidade da peroxidase pode ser um fator limitante (RESENDE et alii, 1969).

A atividade de peroxidase durante a germinação de sementes de trigo foi estudada por KRUGER & LaBERGE (1974) que quantificaram aumento de cinco vezes após cinco dias de germinação. Isto foi devido ao aumento da quantidade de isoenzimas presentes nas sementes, levando à formação de novos componentes. Os autores também verificaram que a enzima mostrou-se estável ao calor, ocorrendo redução de 50 % na atividade total após tratamento térmico a 70 °C por 15 minutos, em água fervente.

LaBERGE & KRUGER (1976), avaliando a atividade de peroxidase durante o desenvolvimento do grão de cevada, observaram aumento durante os primeiros 20 dias após a antese, chegando a um ponto máximo, diminuindo a seguir e, finalmente, voltando a aumentar com a maturação. Estas alterações também ocorreram no endosperma. Nas demais frações do grão, foram observados baixos níveis de atividade, exceto na camada de aleurona. A peroxidase de cevada mostrou resistência similar à de trigo quanto à desnaturação térmica.

c- Inativação enzimática

O aumento de ácidos graxos livres é mínimo em grãos de aveia intactos, pois os constituintes estão incapazes de interagir com os reagentes devido à compartimentalização natural dos componentes celulares ou às limitações de difusão impostas pela baixa atividade de água. A acidez varia com a cultivar, estação, local de cultivo e fatores genéticos ou ambientais (GALLIARD, 1983).

Grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente e em umidade abaixo de 12 %, apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, maiores valores de umidade e ou temperatura, bem como desagregação parcial ou total do grão são

condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase, ocorrendo o aumento de ácidos graxos livres (MATLASHEWSKI et alii, 1982; URQUHART et alii, 1983).

A lipase não é afetada pelo congelamento ou liofilização, porém é extremamente lábil ao calor (URQUHART et alii, 1984). A desnaturação enzimática pode ser realizada pela aplicação de vapor à pressão atmosférica em cariopses de aveia com 14-20 % de umidade, por alguns minutos (POMERANZ, 1974). Na indústria, a inativação enzimática é realizada, normalmente, pelo tratamento hidrotérmico (DEANE & COMMERS, 1986). O tratamento hidrotérmico também tem efeito sobre as propriedades funcionais dos produtos de aveia, como a redução de solubilidade das proteínas (JANSSON & LINDAHL, 1991). O monitoramento da intensidade de tratamento térmico aplicado aos produtos de aveia é realizado pela determinação de atividade de enzimas residuais, como a tirosinase ou a peroxidase (WEBSTER, 1986).

EKSTRAND et alii (1992) observaram diminuição na atividade de lipase com a secagem (40 a 80 °C) de grãos de aveia, mas somente a temperaturas acima de 60 °C a atividade reduziu-se consideravelmente. A atividade de peroxidase não foi afetada pelas condições estudadas, mostrando maior estabilidade térmica. Quando a aveia foi tratada termicamente pelo uso de vapor, as enzimas apresentaram atividade insignificante, indicando inativação total das mesmas. O contato direto com a água causa um efeito mais efetivo na transferência de calor e a inativação de enzimas é mais completa. Quando grãos de aveia foram tratados por 10 minutos com vapor na temperatura de 70 °C, mais de 70 % de atividade residual foi detectada. Ao imergir a aveia em água a 80 °C por 10 minutos, a atividade residual de lipase foi de apenas 2 %, o que indica que o tratamento por calor seco é pouco efetivo na inativação enzimática.

EKSTRAND et alii (1993) estudaram a atividade de lipase de aveia por tratamento hidrotérmico. A comparação foi realizada entre aveias que sofreram secagem antes do tratamento hidrotérmico e aveias que somente receberam tratamento hidrotérmico. A atividade de lipase desapareceu após o tratamento a vapor e, permaneceu ativa na aveia que sofreu somente a operação de secagem. A acidez, determinada pela quantidade de ácidos graxos livres, aumentou em todos os tratamentos, porém foi muito mais pronunciada nas amostras que não foram secas ou tratadas termicamente.

Além do tratamento térmico, pelo uso de vapor e temperatura, outras formas de estabilização enzimática foram estudadas em escalas laboratorial ou piloto. FREY & HAMMOND (1975) inativaram a lipase pela moagem de grãos de aveia em etanol a 95 % ou pela fervura do grão em água seguido de secagem a vácuo. MARTIN & PEERS (1953) e URQUHART (1983) inativaram as enzimas por abrasão. Certos produtos químicos, como cloroidrina, óxido de propileno ou tetracloreto de carbono, também foram usados para inibir a atividade de lipase e retardar a deterioração de grãos devido ao crescimento de fungos durante o armazenamento (MATZ & MILNER, 1951).

BOOKWALTER (1985) propôs uma patente para inativar enzimas lipolíticas e oxidativas de cereais sem alterar as propriedades físicas e funcionais. Grãos de cereais intactos (milho, trigo, aveia, sorgo, cevada) ou a fração germe em separado foram aquecidos sob umidade entre 14 e 16 % e temperaturas variando entre 97 e 100 °C até a peroxidase ser inativada. A seguir, resfriados à temperatura ambiente e armazenados. Farinhas com alto teor de lipídios e grãos tratados por este método apresentaram longa vida de prateleira e alto valor nutricional.

FINNETY & LENZ (1990) inativaram as enzimas de cariopses de aveia pelo emprego de ar aquecido a altas temperaturas (204-315 °C) e curtos espaços de tempos (30-120 segundos). Com o tratamento, a umidade foi reduzida para 3-6 % e o amido, parcialmente gelatinizado. Se desejável, os produtos tratados podem ser reumedecidos e flocados para obter cereais matinais quentes (hot oat cereal), que são particularmente adequados para o preparo em forno microondas pelo consumidor. Geralmente, os produtos tradicionais de aveia têm tendência de formar espuma quando preparados em microondas devido ao amido não estar pré-gelatinizado.

LIUKKONEN et alii (1995) estudaram a eliminação da atividade lipolítica pela dispersão de farinha de aveia em diferentes pH. Em pH maior que 8, a hidrólise foi reduzida para 0-20 % do total observado no pH ótimo, independentemente da enzima ou do substrato usado. A eficiência de inibição foi superior aos resultados anteriores (LIUKKONEN et alii, 1993), obtidos nas mesmas faixas de pH. No mínimo quatro fenômenos contribuíram para a inativação:

(1) redução instantânea da atividade catalítica sob elevação de pH;

- (2) redução da dependência de tempo de ativação para aproximadamente 30 minutos de incubação em pH alcalino;
- (3) aumento de sensibilidade ao pH nas reações de hidrólise realizada com baixas concentrações de substrato;
- (4) aumento de sensibilidade ao pH em hidrólises realizadas na presença de detergentes e agentes dispersantes.

Conseqüentemente, o ajuste de pH para a faixa alcalina ofereceu proteção contra a hidrólise. A eficiência deste ajuste é dependente de como os quatro fatores citados acima estão incluídos na aplicação do processo. Processos de moagem úmida podem ser usados para a obtenção de produtos de aveia de alta qualidade através de simples ajuste de pH do processo.

VETRIMANI et alii (1992) inativaram lipase e lipoxigenase de soja, farelo de arroz, farelo e germe de trigo pelo tratamento com microondas. Todos os materiais estudados apresentaram completa inativação de lipoxigenase e persistência de atividade de lipase de 30 %, após 4 minutos de tratamento. A atividade residual de lipase foi devido à presença de lipases estáveis ao calor. Ocorreu redução gradual na extração de proteínas de farelo de trigo com o aumento do tempo de tratamento térmico. Isto indica que a desnaturação de proteínas dependeu do tempo de tratamento térmico aplicado. LEHRACK & VOLK (1992) também estabilizaram flocos de aveia, arroz, cevada, farelo de arroz, farelo e germe de trigo por energia de microondas.

LABEL (1992), empregando radiação infravermelho inativou completamente as enzimas presentes nos produtos de aveia, além de eliminar os microrganismos presentes e provocar gelatinização parcial do amido. Vitaminas, normalmente destruídas pelos processos convencionais de tratamento térmico, foram mantidas quase intactas no processamento de cariopses de aveia por infravermelho.

FRETZDORFF & SEILER (1987) estudaram o efeito do tratamento térmico por extrusão termoplástica na atividade residual de seis enzimas de trigo, centeio e aveia. Em aveia a atividade de α -amilase foi maior nos produtos extrusados em relação ao grão nativo. A atividade das enzimas lipase, peroxidase, BAPAase e catalase diminuiu com o aumento da temperatura de extrusão. Nos produtos extrusados a 30 % de umidade, a atividade das enzimas lipase e peroxidase foi menor quando comparada com a extrusão a 18 % de umidade e temperaturas entre 90 e 98 °C. Entre as enzimas estudadas, a lipase foi a mais estável.

MEISTER et alii (1994) também empregaram a extrusão para avaliar a inativação das enzimas lipase, lipoxigenase e peroxidase de trigo, centeio, milho, e farelo de aveia. Todas as enzimas estudadas foram inativadas pelo emprego de condições brandas de extrusão, ou seja, temperaturas abaixo de 120 °C, 20 % de umidade e baixo cisalhamento mecânico.

d- Monitoramento da estabilidade

A avaliação da estabilidade ao armazenamento de grãos de aveia e seus produtos por meio das propriedades químicas dos seus lipídios é uma prática difundida e que pode ser adotada como rotina, sem maiores problemas e com bons resultados.

Como a hidrólise lipídica ocorre mais rapidamente que a de proteínas ou carboidratos, o índice de acidez é um índice sensível de deterioração incipiente de grãos armazenados e seus produtos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974). Os métodos de determinação normalmente envolvem a obtenção de amostra, óleo ou farinha do produto em estudo, preparo e titulação com uma base de normalidade conhecida. Os valores são expressos em mg de hidróxido de potássio (KOH) por g de amostra ou como percentagem de ácidos graxos livres % AGL), baseado no peso molecular do ácido graxo predominante da amostra em estudo.

SAHASRABUDHE (1982) avaliou o efeito de diferentes níveis de fraturas na produção de ácidos graxos livres de cariopses de aveia, incubadas a 38 °C por 30 minutos. Na cariopse intacta, não foi observado o desenvolvimento de acidez. A cariopse dividida ao meio apresentou aumento em ácidos graxos livres de 4,5 mg de KOH/g de amostra. Quando a cariopse foi cortada em três segmentos horizontais e três verticais, o aumento foi de 7 mg de KOH/g de amostra. Na cariopse completamente moída, o autor verificou aumento de 12,3 mg de KOH/g de amostra. Comportamento semelhante foi verificado por GUTKOSKI et alii (1994) ao estudarem a estabilidade ao armazenamento de grãos de aveia.

MOLTEBERG et alii (1995) armazenaram grãos de aveia a 30, 55 e 80 % de umidade relativa, por 3,5 e 15,5 meses e temperatura de 20 °C. Após 3,5 meses, o índice de acidez foi de 3,5 e 6,6 mg de KOH/g de matéria seca quando armazenado a 30 e 80 % de umidade relativa, respectivamente. Após 15,5 meses, os ácidos graxos livres aumentaram para 5,4 e 11,3 mg de KOH/g de matéria seca. Durante a moagem, os ácidos graxos livres reduziram em torno de 50 %. Esta redução foi devida a complexação dos ácidos graxos livres com os constituintes do grão, enquanto a diminuição do ácido linoléico no armazenamento e

processamento ocorreu em função de sua degradação a compostos menores, detectada pelo aumento do conteúdo de voláteis, através da determinação de n-hexanal.

Os métodos disponíveis para monitorar a rancidez oxidativa em alimentos e sistemas biológicos normalmente determinam as alterações primárias e secundárias da rancidez (SHAHIDI, 1995). As alterações primárias podem ser monitoradas através da diminuição de ácidos graxos insaturados, consumo de oxigênio ou ganho de peso, índice de peróxidos e índice de dienos conjugados. Já as alterações secundárias são monitoradas pela quantificação de compostos carbonílicos (aldeídos e cetonas), através do emprego de cromatografia gasosa; equivalentes em malonaldeídos e outros aldeídos, através da determinação dos índices de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) ou p-anisidina; conteúdo de hidrocarbonetos (etano ou pentano) e produtos de fluorescência (componentes 1-amino-3-iminopropano). O método a ser escolhido depende de vários fatores incluindo a natureza do produto, tipo de informação requerida, tempo disponível e condições laboratoriais. Além disso, é desejável usar combinação de métodos para analisar as alterações primárias e secundárias dos produtos em estudo.

Os hidroperóxidos são produtos primários da rancidez oxidativa e sua taxa inicial de formação normalmente excede a de decomposição, porém isto é revertido nos últimos estágios. O método clássico de quantificação de hidroperóxidos é o Cd 8-53 da *ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOCS* (1990), através da determinação do índice de peróxidos (IP). Este método, embora aplicável para todos os óleos e gorduras, é empírico e qualquer variação no procedimento pode afetar os resultados. Além disso, o método é falho na quantificação de baixas quantidades de peróxidos devido às dificuldades em determinar o ponto final de titulação. Para aumentar a sensibilidade do método, tem sido proposta a substituição da etapa de titulação por técnica eletroquímica, onde o iodo liberado é reduzido por eletrodo de platina, mantido em potencial constante. Durante a determinação, é essencial desaerar todas as soluções, pois a presença de oxigênio pode levar à formação de peróxidos (SHAHIDI, 1995).

MUSTAKAS et alii (1970), analisando condições ótimas de processamento térmico de farinha de soja não desengordurada, mostraram que existem limites para satisfazer os requerimentos de sabor, estabilidade oxidativa e tratamento térmico. O produto é aceitável quando apresentar valores inferiores a 20 mmoles de peróxidos/kg de óleo ou gordura e score igual ou superior a seis para sabor.

GARDNER & INGLET (1971), estudando a estabilidade de germe de trigo processado por secagem, verificaram que o índice de peróxidos de amostras armazenadas a 5 °C e com 6 % de umidade aumentou entre 20-40 mmoles/kg de óleo após 170 dias de armazenamento, quando empregou-se temperaturas superiores a 124 °C. No processamento a 99 °C, o aumento de peróxidos foi entre 4 e 8 mmoles/kg de óleo. Já nas amostras não tratadas, o índice de peróxidos foi relativamente baixo, entre 1,5 e 6 mmoles/kg de óleo, provavelmente, devido à atividade da enzima ácido linoléico hidroperóxido-isomerase, que catalisa a conversão dos hidroperóxidos em produtos não determinados por este indicador.

WELCH (1977) não detectou peróxidos em grãos de aveia nuda e com casca após secagem a diferentes temperaturas (50, 80 e 100 °C) e armazenamento nas umidades de 12, 14, 16 e 18 % por 330 dias. Embora a rancidez oxidativa tenha sido relatada em produtos processados, o autor afirmou não ter encontrado evidências de que a mesma se desenvolva em grãos de aveia intactos.

ODA et alii (1988), avaliando o efeito do processamento de aveia por extrusão, observaram que, após 10 dias de armazenamento a 4 °C o índice de peróxidos foi traços, 13,2 e 9,6 mmoles/kg de óleo para matéria-prima, extrusado a 140 °C e extrusado a 170 °C, respectivamente. Após 12 meses de armazenamento a matéria-prima continuou apresentando apenas traços enquanto que, nas amostras extrusadas a 140 e 170 °C, os valores foram de 31,3 e 32,8 mmoles de peróxidos/kg de óleo, respectivamente.

SHAHIDI (1995) citou a determinação de voláteis individuais ou totais de compostos carbonílicos formados da degradação dos hidroperóxidos como uma alternativa para monitorar a extensão da rancidez oxidativa. O n-hexanal, um dos principais produtos secundários formados durante a oxidação do ácido linoléico (FRANKEL et alii, 1981), bem como outros aldeídos e cetonas têm sido usados para monitorar a rancidez oxidativa de grãos cereais e seus produtos.

PALAMAND & DIECKMANN (1974), analisando os produtos da autooxidação de n-hexanal por cromatografia gasosa e por camada delgada, verificaram que alguns dos sabores produzidos foram similares aos de grãos cereais armazenados, em que o n-hexanal está presente como um dos produtos de oxidação de ácidos graxos insaturados. BUTTERY et alii (1988) identificaram 64 voláteis em arroz cozido e destes os que mais contribuíram para o

sabor foram 2-acetil-pirrolina, 2,4-decadienal, nonanal, n-hexanal, octanal, e decanal. PIGGOTT et alii (1991) verificaram, através da concentração de n-hexanal e de análise sensorial alterações, mais pronunciadas, tanto químicas quanto sensoriais, em arroz subprocessado quando comparado com arroz de processamento normal.

FRITSCH & GALE (1977) determinaram a concentração de n-hexanal como meio de medir a rancidez em produtos de cereais processados. A formação de n-hexanal é uma reação de primeira ordem, o que possibilitou calcular taxas constantes de produção de n-hexanal nos produtos em estudo. O n-hexanal foi comparado com a avaliação sensorial. O início da formação de odor a ranço ocorreu quando a concentração de n-hexanal aumentou entre 5 e 10 mg/kg. Os resultados mostraram que o n-hexanal ocorre antes da formação do odor de ranço. Com produtos de aveia obtiveram boa correlação entre avaliação sensorial e concentração de n-hexanal na faixa de 0,3 e 5 mg de hexanal por kg de amostra. O coeficiente de correlação para as determinações sensorial e n-hexanal foi de 0,99. Os autores afirmam que a determinação de n-hexanal pode ser usada para estudar o efeito de diferentes ingredientes, condições de processamento, materiais de embalagem e desenvolvimento de rancidez nos produtos.

LEGENDRE et alii (1978) sugeriram a combinação de espectrometria de massa (EM) com a cromatografia gasosa (CG) como forma rápida de analisar os voláteis presentes nos cereais e produtos processados. HEYDANEK & MCGORRIN (1981a), empregando esta técnica, verificaram que o grão de aveia nativo não apresenta grandes quantidades de componentes de sabor, dependendo o seu aparecimento das condições de processamento. HEYDANEK & MCGORRIN (1981b) observaram a presença de vários componentes de rancidez oxidativa após o tratamento térmico de cariopses de aveia por 30 minutos em água fervente, liofilização e armazenamento à temperatura ambiente por uma semana em sacos plásticos de polietileno. Os voláteis encontrados em maior abundância foram n-hexanal, pentanal, 1-pentanol e 3,5-octadieno. Foram identificados 45 voláteis, incluindo 24 aldeídos, cetonas e álcoois.

BRUECHERT et alii (1988) estudaram os componentes voláteis gerados por sistemas modelos de zeína, amilopectina e óleo de milho extrusados em extrusor Brabender de parafuso simples (L/D 20:1), temperaturas de 60 °C na primeira zona e de 120 e 165 °C na segunda, através de CG e CG/EM. Os maiores teores de produtos de oxidação de lipídios foram

detectadas em sistemas contendo as três matérias-primas. A quantidade de 2,4-decadienal foi relativamente pequena quando comparada com as quantidades de n-hexanal, heptanal e benzaldeído em cada um dos sistemas analisados. Foram identificados produtos da reação de Maillard, sugerindo que os aldeídos derivados de lipídios podem estar envolvidos na formação de pirazinas substituídas. Para cada modelo estudado, a quantidade de voláteis formados na extrusão a 165 °C foi maior que na de 120 °C.

EKSTRAND et alii (1993) verificaram, através da determinação de n-hexanal, que a formação de compostos voláteis em produtos de aveia foi dependente das condições de processamento, mas a concentração de n-hexanal não correlacionou com a quantidade de ácidos graxos livres. Porém, MOLTEBERG et alii (1995) observaram aumento da concentração de n-hexanal em paralelo com o aumento dos níveis de ácidos graxos livres. Tanto aveia não processada quanto processada, armazenadas a 80 % de umidade relativa por 15,5 meses, apresentaram concentração de n-hexanal duas vezes superior quando comparadas com as armazenadas a 30 % de umidade relativa.

SNYDER et alii (1991) avaliaram a formação de voláteis através da determinação de n-hexanal em soja tratada por microondas e armazenada a 40 °C por 8 semanas. A concentração de n-hexanal na amostra-controle aumentou entre 29 e 94 µg/kg durante o período de armazenamento. Óleo extraído de soja que foi tratada com energia de microondas por 4-6 minutos, apresentou concentração de n-hexanal entre 39 e 44 µg/kg, indicando parcial inativação de lipoxigenase. Contudo, soja tratada por 8 minutos ou mais mostrou oxidação em maior extensão quando comparada com o controle.

2.3 - Moagem do Grão de Aveia

A moagem de cereais consiste, geralmente, na redução gradual do tamanho de grãos e eliminação do farelo, formado pelo pericarpo, testa, hialina, aleurona e do germe (HOSENEY, 1990). O farelo e o germe são relativamente ricos em proteínas, vitaminas, minerais e lipídios. Assim, o produto de moagem é mais pobre nestes constituintes quando comparado com o grão integral.

Em aveia, a moagem não implica necessariamente a redução dos constituintes químicos do grão, pois o germe e o farelo normalmente não são separados (CALDWELL et alii, 1991). A aveia é moída com o objetivo de obter produtos para o preparo de mingaus e bolos, farinha

para alimentos infantis e cereais matinais (*read-to-eat breakfast cereals*), entre outros. A indústria de aveia é a principal fornecedora de produtos para a produção de cereais matinais (WEBSTER, 1986).

A moagem de aveia foi descrita por vários autores (WESTERN & GRAHAM, 1961; SALISBURY & WICHSER, 1971; KENT, 1984; DEANE & COMERS, 1986; BAECKER, 1987; CALDWELL et alii, 1991 e GUTKOSKI, 1994). As operações básicas de moagem envolvem as etapas de limpeza do grão, secagem, classificação, descascamento, corte, tratamento hidrotérmico e flocagem (DEANE & COMMERS, 1986). Na etapa de limpeza, materiais estranhos e impurezas são removidos. A seguir, a aveia é seca e classificada por tamanho para permitir eficiente remoção das cascas. As cariopses, que representam em torno de 75 % do total de aveia processada, são cortadas em dois a quatro pedaços, tratadas hidrotermicamente, flocadas, secas e embaladas.

2.3.1 - Limpeza

Com a limpeza objetiva-se a separação seletiva de matérias estranhas, como pedras, partículas metálicas, poeira e impurezas dos grãos de aveia. A remoção de aveias fora do padrão também é realizada nesta etapa. Entre estas incluem-se:

- (1) aveias duplas (escondidas): a casca do grão primário envolve o grão secundário e normalmente estes grãos são pouco desenvolvidos, apresentando alta percentagem de cascas;
- (2) aveias finas: estas são finas e curtas com ausência ou pequena quantidade de cariopse;
- (3) aveias leves: estas normalmente são separadas por aspiração e embora apresentem o mesmo tamanho das aveias normais, contêm pequenas quantidades de cariopse em comparação aos grãos normais;
- (4) outros tipos de aveias: estas consistem em aveias verdes, descoloridas, descascadas, danificadas mecanicamente ou por pragas e que podem ou não serem removidas nesta etapa (SALISBURY & WICHSER, 1971; BAECKER, 1987).

A primeira máquina do fluxo de limpeza é a de ar e peneiras. Esta combina peneiras grossas e finas em série e eficiente aspiração, separando os grãos por tamanho (largura e espessura). A seguir, as aveias são conduzidas para separadores de discos ou de cilindros com o objetivo de remover os materiais estranhos e impurezas. Não é necessário separar todos os materiais estranhos e impurezas nesta etapa, pois, com a secagem e o descascamento, as

diferenças entre os grãos aumentam, facilitando a limpeza. As aveias limpas são depositadas no silo pulmão e ficam aguardando a etapa seguinte da secagem (VAUGHAN et alii, 1976).

Segundo DEANE & COMMERS (1986), as máquinas de limpeza usadas nas plantas industriais variam em função da capacidade de fluxo do sistema. Plantas maiores contêm máquinas em paralelo para cada separação particular, entretanto as pequenas indústrias operam com número reduzido de máquinas. O número de operações também é variável de indústria para indústria. Separador magnético, separador de pedras e separador eletrônico podem ou não ser usados. O importante é que a aveia esteja mais limpa possível e classificada por tamanho para o descascamento. Porém, antes do descascamento, a aveia deve ser seca.

2.3.2 - Secagem

Aveias são aquecidas antes do descascamento para inativar parcialmente a lipase bem como as demais enzimas presentes, prevenindo, assim, a liberação de ácidos graxos livres e a rancidez durante e após o processamento. Desenvolver sabor levemente tostado, considerado desejável nos produtos de aveia e tornar a casca mais friável, o que facilita a sua remoção no descascamento, também são objetivos da secagem (DEANE & COMMERS, 1986).

Dois processos de secagem foram descritos por DEANE & COMMERS (1986). O método tradicional, que envolve o uso de panelas secadoras e o radiador tipo coluna. Durante o aquecimento, a temperatura dos grãos de aveia varia entre 88 e 93 °C, sendo removido de 3 a 5 % de umidade. O resfriamento de grãos é realizado na saída do secador.

Após a secagem, ainda permanecem 20 a 40 % da atividade original de lipase. Com o tratamento hidrotérmico, realizado antes da flocagem, completa-se a inativação das mesmas garantindo a boa estabilidade dos produtos (CALDWELL et alii, 1991).

Alternativamente, a secagem é realizada após o descascamento (DEANE & COMMERS, 1986). Grãos descascados antes da secagem ficam mais resistentes à quebra, ocorrendo, com isso, menor dano. Conseqüentemente, maior rendimento é obtido, em torno de 1 a 5 %.

2.3.3 - Classificação e descascamento

Para melhorar a eficiência do descascador, é necessário classificar a aveia por tamanho. A separação em grãos longos, curtos, descascados e materiais estranhos normalmente é realizada pelos separadores de discos ou cilindros. Os materiais estranhos são utilizados como subprodutos; as cariopses são transportadas para o silo pulmão de aveia descascada; já os grãos de aveia longos e curtos são descascados separadamente pelo uso do descascador (CALDWELL et alii, 1991).

O descascador de impacto tem substituído o de pedra por ser mais eficiente, produzir maior rendimento e requerer menos energia por unidade produzida (DEANE & COMMERS, 1986). A aveia entra no centro do rotor à alta velocidade, ajustada por uma palheta e, pela força centrífuga, é jogada contra um anel de carborundum ou de borracha, ocorrendo a abertura das cascas e a liberação das cariopses. A velocidade do rotor varia entre 1.400 e 2.200 rpm, em função do tamanho e das condições dos grãos. O uso do anel de borracha é recomendável por causar impacto menos severo, diminuindo, assim, a danificação de grãos e a conseqüente formação de finos.

Após o descascamento, devem ser separados os produtos para que as cariopses prossigam a moagem e os grãos de aveia que não foram descascados retornem ao descascador. Os finos e as cascas são separados por aspiração. Sua velocidade terminal deve ser bem calculada para que grãos de aveia e cariopses possam ser separados das cascas e finos com um mínimo de perda. É extremamente difícil ajustar o volume e a velocidade do ar para não ocorrer a mistura de grãos pequenos e quebrados com os subprodutos, que têm menor valor comercial.

A separação dos grãos de aveia com casca das cariopses é realizada pelo uso de separadores de cilindros e mesa de gravidade. Esta consiste, basicamente, de uma mesa perfurada, de forma retangular ou triangular que permite a passagem de corrente de ar. As cariopses são polidas em máquinas escovadoras, através de leve fricção mecânica (VAUGHAN et alii, 1976) e introduzidas em um cilindro que contém uma escova cilíndrica rotativa. As escovas removem tricomas, cascas aderidas, poeira e, os transportam para a bica de descarga. Um aspirador está acoplado ao polidor para remover as impurezas retiradas das cariopses.

Os grãos com casca são desviados do fluxo de processamento retornando ao descascador, enquanto as cariopses seguem o fluxo normal de moagem. Já os finos e cascas separados durante esta etapa são utilizados como subprodutos (DEANE & COMMERS, 1986).

2.3.4 - Corte

As cariopses são cortadas entre 2 e 4 pedaços pelo moinho de discos, máquina que consiste de um cilindro giratório completamente perfurado e com orifícios redondos. As cariopses alinham-se entre si longitudinalmente e são jogadas pela força centrífuga contra facas estacionárias que estão na parte inferior do moinho e devidamente afastadas do tambor giratório (HOSENEY, 1990). Quando transpassa o orifício, ela é continuamente cortada pelas facas estacionárias. O número de pedaços produzidos varia com a velocidade do tambor giratório (37 a 40 rpm) e o comprimento da cariopse.

Os finos produzidos durante o corte são removidos por peneiras e utilizados como subprodutos. Os pedaços são separados das cariopses por separadores de discos ou de cilindros. As cariopses retornam ao moinho de discos enquanto os pedaços seguem o fluxo de moagem (DEANE & COMMERS, 1986).

2.3.5 - Tratamento hidrotérmico e flocagem

Os pedaços são tratados hidrotermicamente pelo uso de vapor, a pressão atmosférica e, em seguida, conduzidos para a flocagem, separação por peneiras, secagem e empacotamento (DEANE & COMMERS, 1986). O vapor amolece o grão, permitindo a formação de flocos com um mínimo de quebra e, além disso, o calor e a umidade completam a inativação de enzimas que poderiam causar o aumento de ácidos graxos livres e sabor indesejável nos produtos de aveia.

O equipamento consiste de uma câmara cilíndrica ou retangular em que os injetores de vapor estão cuidadosamente arranjados para umedecer uniformemente todas as áreas durante a queda lenta e gradual da massa de grãos cortados. Uma distribuição consistente e homogênea de calor e umidade são essenciais para garantir um bom rendimento de flocos. O excesso de umidade resulta em uma alta percentagem de aglomerados enquanto que a falta de água produz flocos pequenos e grande quantidade de finos. O tratador hidrotérmico normalmente

está equipado com controladores automáticos, que monitoram continuamente a injeção de vapor e a temperatura do sistema (CALDWELL et alii, 1991).

O tempo de retenção no tratador hidrotérmico varia de 12 a 15 minutos, período em que a temperatura das partículas dos grãos aumenta para 97 a 104 °C. Com a injeção de vapor a umidade também aumenta dos 8 a 10 % iniciais para 15 a 17 g/100. Após, os pedaços de cariopses são conduzidos para o flocador, que consiste de dois rolos de aço inoxidável, de tamanho variando entre 30,5 x 76,2 cm a 71,1 x 132,1 cm, em função da capacidade requerida. Os rolos giram na mesma velocidade, entre 250 a 450 rpm, e a uma pressão de 400 kilos Newton (kN), ajustados hidraulicamente (DEANE & COMMERS, 1986).

Os flocos são separados dos finos e aglomerados por peneiras, secos em secadores de leito fluidizado, a 40 °C e umidades inferiores a 10 %. Os finos e aglomerados, após secagem em separado, são moídos no moinho de martelos, para a produção de farinha. Os flocos, embalados e comercializados ou moídos juntamente com os finos e aglomerados para a produção de farinha de aveia (DEANE & COMMERS, 1986).

Os produtos resultantes da flocagem de grãos de aveia, percentagens que variam em função da qualidade da matéria-prima e da eficiência do processo são 40 a 60 % de flocos, 24 a 27 % de cascas, 10 a 20 % de descartes (aveias duplas, finas, leves), 2 a 5 % de materiais estranhos (trigo, cevada, milho) e 2 a 5 % de finos (DEANE & COMMERS, 1986). Os flocos produzidos a partir de pedaços de cariopses são denominados de flocos finos, apresentando espessura média de 0,25 a 0,38 mm. Se a flocagem for realizada a partir de cariopses inteiras, os produtos obtidos apresentam espessura média de 0,50 a 0,63 mm e são denominados de flocos regulares (CALDWELL et alii, 1991).

Além da forma tradicional de obtenção de farinha de aveia, através da moagem em moinho de martelos, também pode ser empregado o moinho de rolos (CALDWELL et alii, 1991). Neste sistema, três a quatro moinhos reduzem gradualmente o tamanho das partículas e após cada etapa de moagem o material é separado por peneiras até obter a granulometria desejada. Toda a farinha de aveia normalmente passa pela peneira de 32 *mesh* (500 µm) e 75 % na de 60 *mesh* (250 µm).

Como a aveia possui altos teores de lipídios, tanto na moagem de rolos quanto de martelos, é necessário usar grandes volumes de ar para desobstruir as aberturas das peneiras, prevenindo, assim, o entupimento e o desgaste mecânico das máquinas.

2.3.6 - Separação da fração farelo

O farelo de aveia, produto que tradicionalmente não é separado do endosperma na moagem, tornou-se visado ultimamente em função de diminuir os níveis de colesterol do sangue e os benefícios na saúde (GORDON, 1989 e WOOD et alii, 1989a). Assim, a indústria passou a separar esta fração do restante do grão.

A separação do farelo consiste da combinação cuidadosa de moagem, peneiragem e aspiração (WOOD et alii, 1989b). A partir de inspeção visual ou por análises de composição proximal, é determinado o grau de concentração de farelo através de aumentos relativos de fibra alimentar total, fibra solúvel e β -glicanas. Também ocorre aumento do conteúdo de proteínas (CALDWELL et alii, 1991).

O primeiro farelo comercial de aveia foi produzido pela Quaker Oats Co., no final dos anos 70. Os grãos foram tratados termicamente, flocados, moídos em moinho de martelos e o material classificado em purificador com peneiras de 538 μ m para obter a fração grossa (farelo de aveia), compreendendo 40-50 % da matéria-prima. O farelo apresentou maiores teores de proteínas, lipídios, cinzas e fibra alimentar. O teor de β -glicanas foi duas vezes o encontrado no material inicial (GOULD et alii, citado por PATON & LENZ, 1993).

Segundo definição da *AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS-AACC* (1989), o farelo não deve ter mais que 50 % da matéria-prima original (taxa de extração), no mínimo 5,5 % de β -glicanas (base seca), no mínimo 16 % de fibra alimentar total (base seca) e do total de fibra alimentar que no mínimo um terço seja solúvel.

Nesta definição, são considerados os tecidos de endosperma aderidos ao farelo. Devido à aveia ser de textura mole e apresentar altos teores de lipídios, o endosperma não se separa eficientemente das camadas externas do grão, ficando o farelo com grandes quantidades de endosperma aderido. Conseqüentemente, nas discussões sobre valor nutricional do farelo devem ser consideradas as propriedades do endosperma. É o caso das β -glicanas, que ocorrem

abundantemente nas camadas de subaleurona e, de acordo com a definição proposta pela AACC, fazem parte do farelo (FULCHER & MILLER, 1993).

Considerando os problemas da quantidade de endosperma aderido, FULCHER & MILLER (1993) propuseram uma definição morfológica para o farelo de aveia: porção do grão descascado composto primariamente das camadas externas (aleurona, hialina, testa e pericarpo) da cariopse, mas apresentando quantidades variáveis de material aderido do endosperma e do germe. Os autores salientam que, na moagem seca, diferentemente da moagem úmida, a quantidade de endosperma aderido ao farelo é superior.

A produção de farelo de aveia é realizada, normalmente, pelo emprego de moinho de rolos ou martelos. Ambos são capazes de produzir um produto dentro das especificações definidas pela AACC (1989), porém existem poucas informações publicadas a respeito das vantagens e desvantagens de cada método (PATON & LENZ, 1993).

A extração de farelo por moinho de rolos é pouco eficiente devido ao entupimento das corrugações e das peneiras causado pelo endosperma mole de aveia. É possível variar a granulometria do farelo, controlando a velocidade dos martelos e a abertura de peneiras no moinho de martelos e a abertura de rolos e de peneiras no moinho de rolos. Mudanças na abertura de peneiras resultam em variações no rendimento e na composição química da fração farelo. Ao aumentar o rendimento de extração de farelo, ocorre diminuição do teor de fibra alimentar total e β -glicanas. As aberturas de peneiras normalmente usadas na extração de farelo são de 710 e 538 μm , mas a de 390 μm também é indicada (PATON & LENZ, 1993).

Farinha de aveia desprovida de farelo é mais clara, apresentando menores teores de proteínas, lipídios e fibra alimentar quando comparada com a farinha tradicional. GORDON et alii citado por PATON & LENZ (1993) sugeriram o emprego deste produto na extrusão termoplástica, pois os baixos níveis de β -glicanas oferecem vantagens nas propriedades funcionais dos extrusados quando comparados com os da farinha tradicional, como é o caso do aumento da expansão.

WOOD et alii (1991), estudando as frações grossas e finas de 11 cultivares de aveia separadas por procedimento simples de moagem, encontraram diferenças significativas em β -glicanas, tanto no grão (3,91-6,82 %) quanto no farelo (5,81-8,89 %). O rendimento de extração de farelo foi de 53,3 %, com concentração de β -glicanas 1,5 vezes superior à matéria-

prima integral. O amido diminuiu de 59,1 %, no grão, para 49,3 % no farelo, enquanto que, na farinha, aumentou para 69,7 %.

2.3.7 - Moagem sem tratamento hidrotérmico

A moagem de grãos de aveia descascados sem tratamento hidrotérmico não é uma operação de rotina e, quando realizada, requer cuidados especiais devido à presença de lipase e outras enzimas capazes de, rapidamente, deteriorar os produtos de moagem.

SYMONS & FULCHER (1988) verificaram, no descascamento, que a proporção de grãos danificados aumentou de forma linear com o aumento do peso de grãos. A maior danificação ocorreu na porção proximal da cariopse, onde o eixo embrionário e o escutelo são mais frágeis. Como essas frações contêm os maiores níveis de lipídios (10,6 e 20,4 % respectivamente), a danificação mecânica nesta etapa pode resultar em uma rápida deterioração do grão.

FROLICH & NYMAN (1988) utilizaram o moinho de laboratório Quadrumat Senior, marca Brabender, para separar o grão de aveia em quatro frações: farelo grosso ($> 1050 \mu\text{m}$), farelo fino ($650\text{-}1050 \mu\text{m}$), farinha escura ($250\text{-}650 \mu\text{m}$) e farinha clara ($< 250 \mu\text{m}$). O rendimento de moagem das frações foi de 30 % de farelo grosso, 21 % de farelo fino, 18 % de farinha escura e 31 % de farinha clara.

GUTKOSKI et alii (1994) realizaram a moagem de cariopses de aveia em moinho de martelos com o objetivo de avaliar a estabilidade ao armazenamento de grãos inteiros descascados, grãos desintegrados e farinha, tratados termicamente pelo emprego de vapor à pressão atmosférica, nos tempos zero, 10, 20 e 30 minutos. A acidez dos produtos de aveia aumentou com o aumento do tempo de armazenamento, porém os aumentos foram menores para os tratamentos com maiores tempos de estabilização. Entre as granulometrias estudadas, a farinha foi a que apresentou os maiores índices de acidez.

Vários métodos de obtenção de concentrados e isolados protéicos de aveia foram relatados por CLUSKEY et alii (1979), porém ainda não adotados industrialmente. Estes processos envolvem basicamente as moagens úmida e seca de grãos, separação mecânica dos componentes da farinha por classificadores a ar e centrífugas, uso de solventes e a separação por densidade.

WILHELM et alii (1989) desenvolveram um processo de fracionamento em escala piloto para produzir amido, proteínas e fibra de aveia. A aveia, além de apresentar amido de grânulos pequenos, interessante para várias utilizações industriais como papel de impressão de alta qualidade e materiais sintéticos biodegradáveis, possui ainda proteínas, lipídios e fibra alimentar, especialmente β -glicanas, de grande importância para a nutrição humana. Cariopses foram moídas e imersas em uma solução com enzimas celulolíticas e hemicelulolíticas. Após a digestão o material foi peneirado para a remoção de fibras e a fase líquida, classificada por multiciclones, produzindo farinha rica em proteínas (50-55 %) e as frações A (1 % de proteínas) e B (10-15 % de proteínas) de amido. Nesse estudo, foi enfocada a produção de amido, valores que variaram entre 55-65 na fração A, 21-31 na fração B, 10 na fração proteína, 2 na fração fibra e 2 % na água de lavagem.

2.4 - Extrusão de Produtos de Aveia

A extrusão termoplástica, inicialmente empregada em alimentos para a mistura e o formato na fabricação de macarrão (HARPER, 1989), converte o material sólido em fluido através de um processo contínuo em que a fricção mecânica é combinada com o aquecimento térmico para misturar continuamente, plasticizar, gelatinizar o amido, desnaturar materiais protéicos, inativar enzimas, reestruturando-os para criar novas texturas e formas (EL-DASH, 1981).

Para RUSSEL (1988), a extrusão é um sistema único que, operando em altas temperaturas e pressões, cria modificações químicas e físicas nas matérias alimentícias em velocidade acelerada. Segundo CHEN et alii (1991), a extrusão é um processo contínuo de um reator que trabalha a altas temperaturas e curtos espaços de tempo (high temperature short time-HTST), em combinação com força de cisalhamento e conteúdos de umidade relativamente baixos, capaz de transformar várias matérias-primas em produtos intermediários ou finais, totalmente modificados.

A utilização da extrusão pela indústria de alimentos difundiu-se muito nos últimos anos por apresentar uma série de vantagens em relação aos processos tradicionais. Trata-se de um processo contínuo com pouco ou nenhum resíduo; baixos requerimentos de mão-de-obra e de espaço por unidade de produção; alta capacidade de produção por unidade de área. Processa materiais relativamente secos ou viscosos; melhora as características de sabor e textura dos alimentos; é considerado de baixo custo em comparação com outros processos de cocção, pois

converte eficientemente a energia elétrica em energia térmica; é muito versátil, proporcionando uma grande variedade de produtos finais (STANLEY, 1986; HARPER, 1989).

A extrusão vem se tornando uma ferramenta promissora no processamento de cereais, não só para o consumo humano, mas também para várias aplicações industriais. Entre as aplicações alimentares da extrusão, pode ser citada a produção de cereais matinais e expandidos, farinhas e amidos pré-gelatinizados, produtos texturizados, inativação de fatores antinutricionais e enzimas, produtos de confeitaria, bebidas e alimentos ricos em fibras. Entretanto, para a utilização efetiva do seu potencial, é necessário conhecer os elementos de engenharia envolvidos, as alterações físicas, químicas e funcionais induzidas pelo processo, bem como os seus mecanismos de controle (EL-DASH, 1981).

2.4.1 - Equipamento

A máquina extrusora permite variações quanto aos aspectos mecânicos e operacionais, utilização de acessórios, desenho, configuração e número de parafusos. Esses aspectos bem como o modelamento matemático e a relação das diferentes variáveis do processo de extrusão, foram descritos por diversos autores (HARPER, 1981; EL-DASH, 1981; JANSSEN, 1989). Independentemente destes aspectos, o extrusor é constituído basicamente por alimentador, parafuso ou rosca, cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte (EL-DASH, 1981).

O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrusado e de um parafuso ou vibrador de alimentação, localizado vertical ou horizontalmente. Tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, essencial para o funcionamento do extrusor, bem como a homogeneidade e a qualidade do produto.

O parafuso, considerado a parte mais importante do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento, gelatinização e a qualidade final do produto. Ele mistura continuamente e conduz o material, gera fricção mecânica e calor, que ajudam a fundir o produto. Possui várias formas e geometrias de construção e a sua relação de diâmetro entre as zonas de alimentação e de alta pressão pode variar desde 1:1 até 1:5.

O cilindro encamisado envolve o parafuso e está manufaturado em seções para permitir a circulação de vapor, óleo, água ou ar, substâncias que ajudam no ajuste perfeito de temperatura entre as várias zonas do extrusor (alimentação, transição e de alta pressão). O cilindro encamisado pode estar equipado com sensores de pressão, temperatura e seus

respectivos mecanismos de controle. As camisas do cilindro geralmente são estriadas no seu interior, com encaixe em linha reta ou espiral, sendo que neste último ocorre melhor transmissão de fluxo.

A matriz apresenta configurações variadas e, além de moldar o produto na forma desejada, funciona como um restritor de fluxo, mantendo a pressão na zona de cocção.

O mecanismo de corte está acoplado na porção final do extrusor, sendo constituído por lâminas horizontais ou verticais que, de acordo com a velocidade de giro, determinam o comprimento do produto. Uma maior velocidade vai originar produtos mais curtos e vice-versa. O mecanismo deve cortar o produto em um comprimento uniforme e com superfícies perfeitas.

Os extrusores foram classificados em simples e duplos de acordo com o número de parafusos (EL-DASH, 1981). O extrusor de parafuso simples é o mais comum na indústria de alimentos e seu nome indica função com somente um parafuso. Este pode ser monopeça, quando for uma peça única, ou multipeças, quando formado por várias partes separadas e intercambiáveis, que podem estar localizadas em um eixo com adaptador ou estar afixado em um suporte adicional. O parafuso monopeça está disponível em vários tipos, como reto, afunilado, afunilado-reto e parafuso tipo corte interrompido.

No extrusor de parafuso duplo, duas roscas giram dentro de um cilindro. Quatro configurações são possíveis para a direção de rotação e posição do parafuso. A configuração mais efetiva para a extrusão de alimentos é a co-rotatória entrelaçada, ou seja, os dois parafusos em contato giram no mesmo sentido e funcionam como uma bomba positiva, aumentando a fluidez e reduzindo o deslizamento do material.

Os extrusores simples são mais baratos, porém têm atuação limitada a matérias-primas com umidades entre 10 e 30 % e baixos teores de lipídios; já os de parafuso duplo são versáteis, operando em ampla faixa de umidade, maior teor de lipídios, baixa velocidade de parafuso e com mecanismo de transporte independente das forças de atrito (JANSSEN, 1989).

2.4.2 - Processo de extrusão

O processo de extrusão compreende as etapas de pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão (EL-DASH, 1981). Os equipamentos para a primeira e a última etapa variam dependendo do

tipo de material a ser produzido, enquanto os de extrusão são basicamente os mesmos, variando somente as condições de processamento. A pré-extrusão inclui a preparação dos ingredientes e a mistura em razão própria. Após a mistura, o material é transportado para ser condicionado em um conteúdo apropriado de umidade.

Na etapa de extrusão, a matéria-prima é introduzida no equipamento através do alimentador, sendo impulsionada pelo parafuso ou parafusos em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas de extrusão (de alimentação, de transição e de alta pressão), ocorre aumento gradativo do atrito mecânico, provocado por modificações da geometria do parafuso e pela matriz. Em consequência, aumentam também a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do produto. Quando a massa atravessa a matriz, a pressão cai rapidamente, ocasionando a evaporação de parte da água superaquecida e a expansão do material. Segundo o autor, a pós-extrusão inclui secagem dos extrusados para umidades inferiores a 10 %, resfriamento, tamisação e aplicação de sabores solúveis em óleo.

O controle do processo de extrusão é bastante complexo devido à natureza dos alimentos e ao grande número de variáveis envolvidas. OSTERGARD & BJÖRCK (1989) relacionaram estas variáveis com a engenharia do equipamento (desenho do parafuso e da matriz), com a matéria-prima (umidade e composição química) e com as condições operacionais (temperatura, velocidade do parafuso e fluxo de alimentação). Para GIMMLER et alii (1994), as variáveis dependem dos parâmetros do processo, dos parâmetros do sistema e dos parâmetros ligados à matéria-prima e são responsáveis pela extensão da quebra estrutural do amido, interferindo, assim, na solubilidade e viscosidade, respostas determinantes quanto ao tipo de aplicação do produto extrusado.

As variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade são chamadas de variáveis independentes. Entre estas incluem-se: a composição dos ingredientes alimentares, umidade, tamanho de partículas, velocidade de alimentação e de parafuso, configuração de parafuso e da matriz, temperatura, pressão e tempo de residência (YACU, 1990).

Por outro lado, as variáveis dependentes ou respostas mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais dos extrusados. Entre estas incluem-se: densidade, volume específico, umidade, expansão, atributos sensoriais, como aparência, sabor, crocância e textura, grau de cozimento, avaliado

através da susceptibilidade enzimática, viscosidade, índices de absorção e de solubilidade em água, difração de raio-X e calorimetria (YACU, 1990). A rancidez dos produtos, avaliada através dos índices de acidez, peróxidos e anisidina, ácido tiobarbitúrico, compostos carbonílicos e hidrocarbonetos, também pode ser determinada quando monitorada a estabilidade ao armazenamento dos produtos (SHAHIDI, 1995).

Estudos dos efeitos combinados dessas variáveis de extrusão foram possíveis com a aplicação da metodologia de superfície de resposta (MSR), como demonstraram os trabalhos de AGUILERA & KOSIKOWSKI, 1976; EL-DASH et alii, 1983; ARTZ et alii, 1990; VAINIONPAEAE, 1991). A MSR é uma técnica de otimização compreensível e de grande eficiência, consistindo na análise dos resultados de experimentos que têm como finalidade identificar uma relação matemática/estatística entre níveis de variáveis independente e a resposta (THOMPSON, 1982). Graficamente, o modelo descreve uma superfície tridimensional na qual níveis de duas variáveis independentes são apresentados nos eixos perpendiculares horizontais e a resposta, no eixo vertical. O gráfico mostra como a variável resposta é afetada pelas variáveis independentes, sugerindo os níveis ótimos para encontrar os atributos específicos do produto em estudo.

2.4.3 - Efeito do processo de extrusão nos produtos de aveia

São poucas as referências sobre o emprego da extrusão termoplástica no processamento de grãos de aveia descascados (inteiros, cortados ou moidos) sem tratamento hidrotérmico, bem como o estudo de propriedades físicas, químicas, funcionais e nutricionais dos seus produtos. Porém, existe um número significativo de trabalhos que utilizaram os produtos de moagem de aveia, farinha e flocos para produzir diversos tipos de extrusados. DANIELS (1974) relatou várias patentes sobre a elaboração de extrusados à base de produtos aveia. EL-DASH (1982) também citou o emprego da farinha de aveia na produção de *snacks* e de flocos por extrusão. *Snacks* com alto grau de expansão foram elaborados a partir da mistura de 65-75 % de farinha de milho degerminada, 15-30 % de farinha de aveia e 5-7 % de açúcar.

O apelo ao consumo de produtos de aveia não se justifica somente pela ingestão de uma dieta sadia, mas também devido ao seu sabor de nozes e textura agradável. Contudo, os teores relativamente altos de lipídios da farinha de aveia (7 a 8 %), além de proteínas e fibra alimentar produzem extrusados densos, duros e de baixa expansão (EXTRUDED, 1990).

Para melhorar as características desses extrusados, altas temperaturas e grandes velocidades de rosca devem ser aplicadas. Porém, estas condições severas de processamento têm como efeitos negativos diminuição de vida útil das roscas e da camisa do extrusor, alto custo de produção e reduzida vida de prateleira dos produtos extrusados, pois a alta temperatura usada no processo promove a rancidez dos lipídios insaturados da farinha de aveia. Quantidades de até 35 % de farinha de aveia é o que a maioria das indústrias têm usado, embora os requerimentos ótimos para a saúde e sabor agradável sejam muito maiores. Farinha ou amido de milho são normalmente incorporados para aumentar a expansão, entretanto o produto ainda permanece duro e denso para o consumo. Para minorar esses efeitos pode-se realizar uma substituição parcial da farinha de milho por amidos instantâneos (cold water swelling -CWS) ou de alta amilose (EXTRUDED, 1990).

Com estes amidos, foi possível produzir extrusados de boa expansão e aparência, utilizando níveis de farinha de aveia acima de 70 %. Os extrusados também apresentaram maior estabilidade ao armazenamento. Após 15 meses, alguns produtos expandidos ainda não estavam rancificados, pois a maior facilidade de expansão levou a utilizar condições mais brandas de extrusão, o que além de reduzir o desgaste do equipamento, prolongou a vida de prateleira dos produtos.

a- Propriedades físicas, químicas, funcionais e nutricionais

Embora se objetive, com o tratamento térmico, inativar as enzimas responsáveis pela rancidez e o amargor dos produtos de aveia, o mesmo também deve realçar o sabor característico dos produtos de aveia e provocar uma gelatinização parcial do amido. Porém, o tratamento térmico empregado necessita ser brando o suficiente para não acelerar ainda mais a rancidez oxidativa ou diminuir o valor nutritivo dos produtos.

MUSTAKAS et alii (1970), estudando o processamento de farinha de soja não desengordurada por extrusão, avaliaram as propriedades químicas, biológicas, sensoriais e de estabilidade dos extrusados para estabelecer as condições ótimas de processamento e suas relações com os fatores de qualidade. Os produtos mostraram que fatores nutricionalmente lábeis, como tiamina e lisina disponível foram mantidas após o processamento. A inativação de fatores antinutricionais foi indicada pelos baixos níveis da atividade de urease, inibidor de tripsina e índice de solubilidade de nitrogênio dos produtos. Os valores do quociente de eficiência protéica aumentaram progressivamente com os aumentos da inativação do inibidor

de tripsina. Análises de condições ótimas de operação do extrusor mostraram que existem limites para satisfazer os requerimentos de bom sabor, estabilidade oxidativa e tratamento térmico do produto.

O tratamento térmico em materiais amiláceos induz as modificações físicas e químicas dos grânulos de amido e seus constituintes, produzindo mudanças texturais e reológicas, aumentando a digestibilidade e a disponibilidade do amido como fonte energética (CHEFTEL, 1986). Dependendo das condições do processo e da composição do material em estudo, há expansão e ruptura dos grânulos de amido, modificações no espectro cristalino, solubilidade em água fria, redução da viscosidade e completa liberação de amilose e amilopectina (LINKO et alii, 1981). Já as mudanças químicas nos constituintes das fibras alimentares é complexa, em virtude da variedade de métodos de análises. A extrusão não muda os níveis significativamente, apenas tem-se notado leve aumento no teor de fibra solúvel (BJÖRK et alii, 1984).

ODA et alii (1988) estudaram o efeito do processamento de grãos de aveia descascados, tipo cortados e de farinha de aveia desengordurada em extrusor de parafuso duplo nas alterações composicionais da fração fibra alimentar e de sua atividade hipocolesterolêmica em ratos. Os conteúdos de fibra alimentar solúvel e insolúvel das matérias-primas e dos produtos extrusados foram separadamente determinados. Todos os produtos extrusados apresentaram maiores níveis de fibra solúvel em relação à matéria-prima correspondente, sugerindo que parte das fibras insolúveis foram transformadas em solúveis com o processo de extrusão. Ratos em idade de cinco semanas foram alimentados com dietas contendo 55 % de farinha de aveia extrusada ou tratada termicamente por vapor. A aveia extrusada a 177 °C reduziu os níveis de colesterol sérico em comparação com a aveia processada convencionalmente, porém não houve diferenças significativas entre a aveia desengordurada extrusada a 139 °C e a tratada termicamente. Os produtos extrusados diminuíram o acúmulo aparente de níveis de colesterol no fígado de ratos. As condições de extrusão foram 9,3 e 12 % de umidade da matéria-prima, 100 e 180 rpm de velocidade de rosca e temperaturas de 139 e 177 °C.

CAMIRE & FLINT (1991) estudaram o efeito do cozimento por extrusão e por forno convencional na composição de fibra alimentar e na capacidade de hidratação de farinhas de milho, aveia e casca de batata. O total de fibra insolúvel da farinha de aveia aumentou após os

dois processos, mas a proporção de fibra solúvel para fibra insolúvel foi maior na aveia processada por extrusão.

GUALBERTO (1994) observou que a velocidade de parafuso do extrusor não afetou o conteúdo de fibra alimentar insolúvel do farelo de trigo, ocorrendo, contudo, uma variação nos farelos de aveia e arroz. Altas velocidades de parafuso levaram a um aumento dos teores de fibra alimentar insolúvel. As condições de extrusão não afetaram o conteúdo de fitato dos produtos estudados.

As mudanças estruturais nas proteínas com o processo de extrusão ocorrem sequencialmente, através de desnaturação, associação, ruptura de algumas ou todas as associações pelo calor e cisalhamento para formar uma solução concentrada ou fase fundida, possível formação de algumas ligações covalentes a altas temperaturas, formação de ligações não covalentes e pontes dissulfeto sob resfriamento e transição de regiões amorfas para o estado vítreo se o conteúdo de umidade for suficientemente baixo (MITCHELL & AREAS, 1992).

As proteínas e os aminoácidos limitantes (lisina) são sensíveis ao calor e cisalhamento, podendo reagir com os vários constituintes dos alimentos extrusados (BJÖRK & ASP, 1983). Em processamento térmico drástico a digestibilidade da proteína diminui e a disponibilidade biológica dos aminoácidos é afetada. A diminuição de lisina disponível é devida à reação de Maillard, pois amido e açúcares não redutores são hidrolisados durante a extrusão, formando açúcares redutores (CAMIRE et alii, 1990). Em condições brandas de extrusão, a digestibilidade da proteína se eleva, provavelmente, devido a desnaturação protéica (CHEFTEL, 1986) e inativação de inibidores proteolíticos (MERCIER, 1993).

SRIHARA & ALEXANDER (1984), avaliando o efeito do tratamento térmico por extrusão e microondas na qualidade protéica de cinco farinhas compostas, verificaram que ambos os tratamentos melhoraram a qualidade, mas, nas farinhas processadas por extrusão, a melhoria foi significativa.

McAULEY et alii (1987) observaram que cereais matinais processados por extrusão apresentaram menor perda de lisina disponível quando comparados aos processados por flocagem ou tostagem. A luminosidade (L Hunter) correlacionou negativamente com os teores

de lignina dos cereais e, positivamente, com as determinações de lisina e digestibilidade da proteína.

WANG & KLOPFESTEIN (1993) avaliaram o efeito do processamento por extrusão na qualidade nutricional, incluindo efeito hipocolesterolêmico de grãos de aveia com cascas, cevada com cascas e trigo. Os grãos de aveia foram moídos (<3,2 mm) e processados em extrusor de parafuso duplo em co-rotação. Os extrusados foram secos, moídos na mesma granulometria da matéria-prima e armazenados à temperatura ambiente até o momento de uso nas dietas. O ganho de peso dos ratos e a eficiência alimentar das dietas à base de aveia extrusada (25 % do peso total) não diferiram significativamente da dieta com aveia nativa. Porém, os animais alimentados com farinhas extrusadas apresentaram menores níveis de colesterol em relação aos alimentados com farinhas de grãos nativos, sugerindo maior efeito hipocolesterolêmico.

b- Estabilidade ao armazenamento

A extrusão tem sido recomendada por vários autores (EL-DASH, 1981; SAYRE, et alii, 1982; CHEFTEL, 1986; FRETZDORFF & SEILER, 1987) como um processo adequado para a estabilização de grãos de cereais e de seus produtos. SAYRE et alii (1982) reportaram que o farelo de arroz deve ser estabilizado imediatamente após o polimento para prevenir a hidrólise do óleo e também ajudar no controle do crescimento de microrganismos e insetos. A extrusão tem sido recomendada por ser um processo simples em instalações e operação; além disso, não requer geração de vapor ou a subsequente secagem do farelo, mostrando-se viável economicamente quando comparada aos demais processos. Por outro lado, informações sobre a estabilidade de armazenamento do farelo tratado pelos vários sistemas, bem como sobre a qualidade do óleo extraído de farelo estabilizado são limitadas e conflitantes.

KIM et alii (1987) examinaram o efeito das variáveis umidade, número de aberturas da matriz e taxa de produção na estabilização de farelo de arroz por um extrusor monorosca autógeno. Em temperaturas acima de 128 °C, toda a atividade de lipase do farelo foi perdida, independentemente do conteúdo de umidade usado. A energia mecânica específica variou com o número de aberturas da matriz e conteúdo de umidade, entretanto a energia mecânica total aumentou com o aumento de produção sem ocorrer alteração da energia mecânica específica. A taxa de percolação foi nove vezes maior no extrusado quando comparado com a matéria-

prima, e o tempo de extração de óleo foi reduzido para 10 dos 100 minutos requeridos na matéria-prima.

FRETZDORFF & SEILER (1987) estudaram a estabilização enzimática de aveia, trigo e centeio através do emprego de um extrusor de parafuso duplo, co-rotação e entrelaçado. Foi utilizada rosca de 58 mm de diâmetro, cilindro consistindo de cinco camisas segmentadas e de comprimento igual a $20 \times D$. As condições de extrusão variaram com o tipo de cereal processado. Para a aveia, os autores empregaram temperatura de 80 a 98 °C, velocidade de rosca de 70 a 100 rpm, umidades de 18 e 30 %, pressões de 105 a 63 atm na primeira secção e de 63 a 11 na última. Como condições fixas, utilizaram matriz de 8 mm, velocidade de alimentação de 700 g/min e elementos de condições brandas de processamento. Os dados de pressão refletiram o fato de que, no processamento de aveia com rosca de geometria fixa, houve diminuição significativa de pressão na última secção do cilindro, com simultâneo aumento da velocidade de rotação e aumento de temperatura da massa. Este comportamento foi devido ao alto conteúdo de lipídios, que é seis a sete vezes maior quando comparado com trigo ou centeio. O efeito de lubrificação no cilindro do extrusor foi a principal razão para a queda de pressão. Em geral, a inativação enzimática aumentou com o aumento da temperatura de extrusão.

POSKOCILOVA et alii (1988) verificaram que extrusados de aveia podem ser armazenados por 1,5 meses sem perda de qualidade. Contudo, ao submeter os extrusados a operações como moagem ou tostagem, a qualidade dos produtos reduziu-se significativamente. O alto teor de umidade da matéria-prima original teve efeito favorável na manutenção de qualidade dos produtos extrusados. No trabalho realizado por ODA et alii (1988), o índice de peróxidos foi de apenas traços para a aveia não processada, enquanto que, para a farinha extrusada a 177 °C, os valores encontrados, em mmoles/kg, foram 9,6 e 32,8 aos 10 dias e aos 12 meses após a extrusão, respectivamente.

LEHRACK & VOLK (1992), avaliando novas possibilidades de tratamento hidrotérmico em arroz, flocos de aveia, farelo de arroz, cevada, farelo e germe de trigo, verificaram que a técnica de extrusão foi efetiva na estabilização de flocos de aveia e farelo de arroz. O tratamento por microondas apresentou condições especiais de processamento, pois foram mínimas as reduções no valor nutritivo e as alterações de cor dos produtos extrusados.

Um novo método de produção de farinha de aveia foi proposto por MEL'NIKOV et alii (1990) através do emprego da extrusão termoplástica. Este método, além de economizar energia e encurtar o processo, melhora a estabilidade do produto final. Envolve o tratamento hidrotérmico de grãos de aveia sob pressão de 1,5-2,0 atm, descascamento, remoção de cascas, fragmentação e moagem. O material moído é novamente tratado hidrotermicamente por 8-12 minutos, extrusado a 150-170 °C, resfriado e moído para obter a farinha de aveia.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Matéria-prima

Para a realização do presente trabalho, utilizaram-se grãos de aveia (*Avena sativa* L.), cultivar UPF 16. Esta cultivar foi selecionada pela Universidade de Passo Fundo a partir da linhagem UPF 850380, tendo sido lançada no mercado em 1993. As principais características da cultivar são: hábito de crescimento ereto, panícula de coloração amarela e de forma piramidal, resistência à ferrugem do colmo e grãos de coloração branca. Quanto aos aspectos de qualidade/rendimento, a cultivar apresenta peso hectolítrico de 58 kg/hl, peso de mil sementes de 31 g, rendimento de grãos de 2.671 kg/ha e rendimento industrial de 74,7 % (RECOMENDAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O CULTIVO DE AVEIA, 1995).

A aveia, oriunda da região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, colhida nas safras agrícolas de 1993 e 1994, pelo emprego de colhedora automotriz e apresentando umidade entre 15 e 18 %, foi submetida às operações de pré-limpeza, secagem e armazenada em silos. Os grãos de aveia foram limpos em máquinas de ar e peneiras, descascados pelo emprego de moinho de impacto Imack; as cariopses foram separadas das cascas por mesa de gravidade e aspiração, imediatamente acondicionadas em sacos plásticos de polietileno e armazenadas a -18 °C até o momento da realização dos experimentos.

3.1.2 - Reagentes

Os reagentes utilizados nas análises da matéria-prima e dos produtos de moagem e extrusão, de várias procedências, apresentam as especificações requeridas para as metodologias empregadas.

3.1.3 - Aparelhos e equipamentos

Foram utilizados, além da vidraria e de outros instrumentos comuns de laboratório, os seguintes aparelhos e equipamentos:

- Agitador Fisaton, modelo 710;
- Agitador horizontal de tubos Brabender;
- Agitador magnético Fanem, modelo 257;

- Analisador de aminoácidos Beckman, modelo 7.300;
- Analisador rápido de viscosidade, modelo RVA-3D+;
- Balança analítica Metler Toledo, modelo AB204;
- Balança semi-analítica Metler Toledo, modelo PB3.002;
- Bomba calorimétrica adiabática tipo PARR, modelo 1.261;
- Banho-maria com controle de temperatura FANEM, modelo 145;
- Centrífuga FANEM, modelo 204-NR;
- Centrífuga Sorvall, modelo RC5C;
- Cromatógrafo gasoso Varian, modelo 3.400;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência Varian, modelos 5.000 e 8.500;
- Digestor e destilador de proteínas Kjeldahl Tecnal;
- Determinador de umidade por infravermelho AND, modelo AD4714A;
- Determinador de umidade Brabender;
- Espectrômetro de emissão de plasma de argônio ICP-2.000;
- Espectrofotômetro de refletância difusa Macbeth, modelo Color Eye 2.020;
- Espectrofotômetro Beckman, modelo DV-70;
- Estufa com circulação forçada de ar Fanem, modelo 320/2;
- Evaporador rotativo Tecnal, modelo TE120;
- Extrusor de laboratório Brabender, modelo 20 D/N-GNF 1.014/2;
- Misturador planetário Brabender, modelo 826.801;
- Moinho de laboratório Tecnal, modelo TE020;
- Moinho de rolos Brabender, modelo Quadrumat Senior;
- Moinho de facas Renard, modelo MFC-180-71-01;
- Mufla Flyever, modelo FE30;
- pHmetro Digimed, modelo DM20.

3.2 - Métodos Experimentais

3.2.1 - Delineamento estatístico para o estudo de moagem

O delineamento central composto rotacional aplicável à metodologia de superfície de resposta (BOX & WILSON, 1951) foi utilizado com a finalidade de estudar o efeito combinado das variáveis temperatura de secagem e umidade de condicionamento nas características das frações de moagem de aveia.

As variáveis foram estabelecidas em três níveis codificados como -1, 0, +1. Os valores reais correspondentes a estes níveis aparecem na Tabela 01 e foram calculados de acordo com a seguinte equação:

$$xi = \frac{Xi - Y}{\Delta Xi}$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Y = valor real da variável no ponto central;

ΔXi = módulo da diferença entre dois valores consecutivos.

As variáveis e os níveis de variação foram estabelecidos de acordo com as possibilidades operacionais e resultados obtidos em testes preliminares.

O delineamento estatístico para modelos de segunda ordem requer um número mínimo de tratamentos. Neste experimento, foram usados 11 tratamentos, sendo quatro fatoriais (combinam os níveis -1 e +1), quatro axiais (uma variável no nível $\pm\alpha$ e a outra em 0) e três centrais (as duas variáveis no nível 0). Os pontos de nível zero estão posicionados no centro de um círculo de raio um e servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial (COCHRAN & COX, 1964).

Esse delineamento apresenta ainda dois níveis de variáveis axiais que estão codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor de α depende do número de pontos da porção fatorial ($F=2$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($K=2$), sendo definido pela seguinte equação:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1,414 \text{ ou } \sqrt{2}$$

Na Tabela 02, apresentam-se os valores codificados e reais do delineamento experimental central composto rotacional para duas variáveis independentes e três níveis de variação. As respostas (y) estudadas foram: rendimento de moagem, composição centesimal aproximada (umidade, proteína, lipídios, cinzas, carboidratos), cor, atividade de lipase, atividade de peroxidase, índice de acidez e índice de peróxidos.

Tabela 01 -Variáveis e níveis de variação do experimento de moagem

Variáveis independentes	Níveis de variação				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
T - temperatura de secagem (°C)	44,6	55	80	105	115,4
U - umidade de condicionamento (%)	5,8	07	10	13	14,24

$\alpha = 1,414$ para $K = 2$ (duas variáveis independentes).

Tabela 02 -Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis e três níveis utilizado no experimento de moagem

Tratamento	Unidades			
	codificada		real	
	temperatura	umidade	temperatura (°C)	umidade (%)
1	-1	-1	55	07
2	1	-1	105	07
3	-1	1	55	13
4	1	1	105	13
5	$-\alpha$	0	44,6	10
6	$+\alpha$	0	115,4	10
7	0	$-\alpha$	80	5,76
8	0	$+\alpha$	80	14,24
9	0	0	80	10
10	0	0	80	10
11	0	0	80	10

$\alpha = 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes).

As determinações dos índices de acidez e de peróxidos foram realizadas periodicamente (0, 15, 30 e 60 dias) para para que se pudesse estudar a estabilidade ao armazenamento de frações de moagem de aveia.

3.2.2 - Moagem da cariopse de aveia

Em cada tratamento, as cariopses de aveia foram condicionadas para 18 % de umidade, utilizando-se o misturador planetário Brabender. Água destilada foi adicionada lentamente por aspersão, mantendo-se o misturador na velocidade de 30 rpm. Após adicionar toda a água, continuou-se a mistura por mais cinco minutos a 60 rpm. A seguir, as amostras foram recolhidas em sacos plásticos e armazenadas a 4 °C por 12 horas, para se obter o equilíbrio hídrico.

A secagem das amostras foi realizada em estufa com circulação forçada de ar, previamente calibrada nas temperaturas e tempos necessários de cada tratamento. As cariopses de aveia foram colocadas em bandeijas de alumínio em uma espessura de 2,0-2,5 cm. Os tempos variaram em função das temperaturas de secagem e das umidades finais. Os níveis de temperaturas de secagem e umidades de condicionamento usados estão apresentados no delineamento experimental (Tabela 02). O teor final de umidade de cada tratamento foi confirmado através do uso do determinador de umidade por infravermelho AND, utilizando-se cariopses de aveia moídas e a condição de 180 °C por cinco minutos.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos à temperatura ambiente por 24 horas; foi determinada novamente a umidade para confirmar o teor desejado e realizada a moagem no moinho de rolos, marca Brabender, modelo Quadrumat Senior, sendo utilizada somente a seção de quebra do equipamento. As frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm foram separadas pelo sistema de peneiras do moinho e recolhidas em sacos plásticos. Após pesagem, as frações foram armazenadas a -18 °C até sua posterior utilização nas análises.

Para o estudo da estabilidade ao armazenamento das frações de moagem de aveia, acondicionaram-se subamostras em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (70 µm de espessura). As subamostras, após identificação e vedação hermética, foram armazenadas à temperatura ambiente (25 °C±2) e ao abrigo de luz, sendo utilizadas periodicamente nas determinações dos índices de acidez e peróxidos.

3.2.3 - Delineamento estatístico para o estudo de extrusão

Em nível exploratório, realizaram-se várias extrusões das frações de moagem de aveia, variando-se teor de umidade, rotação de parafuso, temperatura, diâmetro de matriz e taxa de compressão. Diante dos produtos obtidos, optou-se por estudar as variáveis umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão.

Para o estudo do efeito combinado dessas variáveis nas propriedades físicas, químicas, funcionais, nutricionais e de estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados, foi estabelecido um delineamento central composto rotacional aplicável à metodologia de superfície de resposta, conforme descrito em 3.2.1.

Os níveis das variáveis independentes e o delineamento composto rotacional para duas variáveis e três níveis estão apresentados nas Tabelas 03 e 04, respectivamente. As respostas (y) estudadas foram: densidade aparente, energia mecânica específica, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, viscosidade, força do gel, cor, fibra alimentar, índice de solubilidade de nitrogênio, lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro*, atividade de lipase, atividade de peroxidase, índice de acidez, índice de peróxidos e concentração de n-hexanal.

As determinações de n-hexanal e dos índices de acidez e peróxidos foram realizadas periodicamente (0, 21, 42, 84 e 126 dias) com o objetivo de se estudar a estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados de aveia.

Tabela 03 -Variáveis e níveis de variação dos experimentos de extrusão

Variáveis independentes	$-\alpha$	Níveis de variação			
		-1	0	+1	$+\alpha$
T - temperatura de extrusão (°C)	77,6	90	120	150	162,4
U - umidade da matéria-prima (%)	15,55	17	20,5	24	25,45

$\alpha = 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes).

Tabela 04 -Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis e três níveis utilizado nos experimentos de extrusão

Tratamento	Unidades			
	codificada		real	
	temperatura	umidade	temperatura (°C)	umidade (%)
1	-1	-1	90	17
2	1	-1	150	17
3	-1	1	90	24
4	1	1	150	24
5	$-\alpha$	0	77,6	20,5
6	$+\alpha$	0	162,4	20,5
7	0	$-\alpha$	120	15,5
8	0	$+\alpha$	120	25,5
9	0	0	120	20,5
10	0	0	120	20,5
11	0	0	120	20,5

$\alpha = 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes).

3.2.4 - Extrusão de frações de aveia

Após tabulação e análise estatística dos resultados do experimento de moagem, selecionou-se a condição de moagem a 10 % de umidade de condicionamento e temperatura de secagem de 80 °C para ser usada nos experimentos de extrusão de frações de aveia.

Outra definição tomada com base nos resultados do experimento anterior foi a de trabalhar com duas frações, a de granulometria superior a 532 µm e a de granulometria inferior a 532 µm (composta pela mistura das frações de partículas inferiores a 532 µm). Cariopses de aveia, após condicionadas a 10 % de umidade pelo emprego de estufa com circulação de ar e regulada na temperatura de 80 °C, foram moídas no moinho de rolos, marca Brabender, modelo Quadrumat Senior, através de uma passagem pela seção de quebra e separadas em duas frações.

a- Equipamento

A extrusão das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a a 532 µm foi realizada em extrusor de laboratório, marca Brabender (modelo 20 D/N-GNF1014/2, Brabender OHG, Duisburg, Alemanha), tipo monorosca e movido através do Brabender Do-Corder com motor D.C. de variação contínua de velocidade. Os principais acessórios e características apresentados pelo extrusor são alimentador acoplável à parte superior do cilindro encamisado e constituído de um cone de aço inox com parafuso vertical, de velocidade variável, que permite manter o fluxo de alimentação constante.

Cilindro encamisado com ranhuras internas, longitudinais e retilíneas, apresentando três zonas distintas para temperatura. Estas zonas são aquecidas por resistência elétrica, sendo a temperatura controlada por termopares, localizados nas diferentes zonas e ligados ao registrador. Outros dispositivos, como circulação de água na primeira zona e de ar comprimido nas segunda e terceira, evitam elevações de temperatura, provocadas pelo atrito.

Parafuso sem fim, único, apresentando comprimento de 380 mm, 19 mm de diâmetro, taxa de compressão 3:1 e passo unitário. Matriz circular e de 6 mm de diâmetro, fixada na extremidade do cilindro encamisado. Dinamômetro Do-Corder, acoplado ao extrusor para controlar a velocidade de rotação do parafuso e o registrador, para acompanhar as mudanças do valor de torque durante o processamento, através do gráfico.

b- Preparo e condicionamento das amostras

As frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm, separadas pelo sistema de peneiragem do moinho, foram imediatamente recolhidas em sacos plásticos, condicionadas nos níveis de umidade desejados (Tabela 04) e extrusadas. Esta metodologia foi adotada por ter a acidez das frações de aveia aumentado rapidamente após as etapas de moagem e condicionamento, conforme mostraram os resultados preliminares dos ensaios de extrusão (Figura 1a).

O condicionamento das amostras foi realizado utilizando-se o mesmo misturador do experimento de moagem. Água destilada foi adicionada lentamente e por aspersão, mantendo-se o misturador na velocidade de 50 rpm. Após adicionar toda a água, continuou-se a mistura por mais cinco minutos a 100 rpm. A seguir, as amostras foram recolhidas em sacos plásticos, sendo determinada novamente a umidade, para a confirmação do teor desejado, e extrusadas. A umidade das amostras já condicionadas foi determinada por aparelho infravermelho a 180 °C por cinco minutos.

A quantidade de água utilizada no condicionamento das amostras foi calculada pela seguinte relação:

$$y = \frac{(U_f - U_i)}{100 - U_f} \times PA$$

onde:

y = quantidade de água a ser adicionada (ml);

U_f = umidade final da amostra;

U_i = umidade inicial da amostra;

PA = peso da amostra (g).

c- Processamento

Em todos os tratamentos mantiveram-se fixos os seguintes parâmetros operacionais do extrusor: velocidade do parafuso de 100 rpm, taxa de compressão de 3:1, diâmetro da matriz de 6 mm, temperatura de extrusão de 80 °C na primeira zona do extrusor e taxa de alimentação de 70 g/min. Para manter constante a taxa de alimentação, foram construídos gráficos em cada nível de umidade usado, relacionando-se a velocidade de parafuso do

alimentador com a quantidade de material escoado por minuto. Esta relação foi verificada com o alimentador separado do restante do extrusor. A partir dos gráficos, escolheu-se a velocidade correspondente a vazão de 70 g/min para cada tratamento.

Após as zonas de aquecimento atingirem as temperaturas desejadas, 80 °C na primeira de todos os tratamentos e variadas para a segunda e terceira, conforme definido no delineamento estatístico dos experimentos de extrusão (Tabela 04), foi iniciada a alimentação, tendo-se o cuidado de manter o nível de material sempre constante durante o processo.

Os extrusados foram coletados após o processo atingir o seu equilíbrio, verificado pela constância no gráfico de torque. As amostras foram colocadas em bandejas de alumínio, pesadas após uma hora para a determinação do fluxo de produto em função do tempo de extrusão (kg/h) e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 45-50 °C por 15 horas. Após secagem, as amostras foram moídas em moinho de facas e de rolos (< 500 µm), sendo determinada a umidade pelo método de estufa até peso constante; foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a -18 °C até sua posterior utilização nas análises.

Para o estudo da estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm, subamostras dos produtos moídos foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (70 µm de espessura). As subamostras, após identificação e vedação hermética foram armazenadas à temperatura ambiente (25 °C±2) e ao abrigo de luz, sendo utilizadas periodicamente nas determinações de n-hexanal e dos índices de acidez e de peróxidos.

3.3 - Métodos Analíticos

3.3.1 - Composição centesimal aproximada

a- Umidade. Foi determinada em estufa a 130±3 °C por uma hora, segundo o método nº 44-15A da AACC (1995).

b- Proteína bruta. Foi realizada pelo emprego de micro-Kjeldahl, método nº 46-13 da AACC (1995), através da determinação de nitrogênio multiplicando-se o valor por 6,25 para obter o total de proteína bruta.

c- Lipídios totais. Foram determinados segundo a metodologia proposta por BLIGH & DYER (1959), através do emprego dos solventes clorofórmio, metanol e água.

d- Cinzas. Foram determinadas pela calcinação do material a 550 °C até peso constante, de acordo com o método nº 08-01 da AACC (1995).

e- Fibra alimentar. Foi realizada de acordo com o método nº 32-21 da AACC (1995). Este método descreve a determinação de fibra alimentar insolúvel, solúvel e total. Amostras, em quadruplicatas, foram gelatinizadas na presença de α -amilase termoestável (Sigma-A3306) e então digeridas enzimaticamente com protease (Sigma-P3910) e amiloglucosidase (Sigma-A9913) para a remoção de proteínas e amido.

f- Açúcares totais. Os açúcares foram extraídos com solução de clorofórmio, metanol e água, proporção 1:1:1 (v/v/v). A camada superior (metanólica) foi separada, filtrada e evaporada. O resíduo restante (açúcares) foi ressuspenso em concentração conveniente de água destilada e determinado espectrofotometricamente pelo uso de fenol a 5 % em ácido sulfúrico, de acordo com a metodologia proposta por DUBOIS et alii (1956). A curva padrão foi realizada com sacarose na absorvância de 490 nm.

g- Amido. Foi estimado por diferença, subtraindo-se de 100 a somatória dos teores de umidade, proteína bruta, lipídios totais, cinzas, fibra alimentar total e açúcares totais.

h- Carboidratos. O teor de carboidratos das frações de aveia do experimento de moagem foi estimado por diferença, subtraindo-se de 100 a somatória dos teores de umidade, proteína bruta, lipídios totais e cinzas.

3.3.2 - Energia bruta

A energia foi determinada em bomba calorimétrica adiabática PARR, modelo 1261 e referida como a quantidade de calor liberado pela amostra, quando esta foi completamente oxidada em ambiente contendo 25 a 30 atm de oxigênio. O calor de combustão da amostra foi comparado com o padrão de ácido benzóico, sendo o resultado expresso em Kcal/100 g (SILVA, 1981).

3.3.3 - Energia metabolizável

A energia metabolizável foi calculada a partir dos dados de composição centesimal aproximada. No cálculo foi usado o fator de Atwater, ou seja, 4, 9 e 4 Kcal/g para proteínas, lipídios e carboidratos, respectivamente (ANDERSON et alii, 1988), e os valores expressos em Kcal/100 g. O teor de carboidratos foi obtido pela soma dos componentes amido, açúcares totais e fibra alimentar solúvel.

3.3.4 - Determinação de vitaminas

a- Vitaminas B₁ e B₂. As vitaminas B₁ e B₂ foram extraídas após hidrólise ácida e enzimática, que transforma a forma combinada em forma livre (STRHECHER & HENNING, 1967). A quantificação das vitaminas B₁ e B₂ foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) conforme metodologia proposta por VAN DE WEERDHOFF et alii (1973). O cromatógrafo utilizado foi o Varian 8.500 com integrador acoplado Varian 2.070. As condições usadas para a determinação de vitamina B₁ foram: coluna empacotada C 18, 12,5 cm, 5 µm; a fase móvel, solução do complexo B e água de 50:50 (v/v); fluxo da fase móvel de 0,5 mL/min; reator pós coluna com fluxo de 0,6 mL/min; detector de fluorescência, λ excitação de 362 nm; λ emissão de 464 nm. As condições usadas para a determinação da vitamina B₂ foram as mesmas da vitamina B₁ com exceção do λ excitação = 432 nm e λ emissão = 545 nm. O volume de amostra injetado para a determinação das vitaminas B₁ e B₂ foi de 100 µL.

b- Niacina. A niacina foi extraída por uma solução de ácido sulfúrico 1 N (LARA et alii, 1976). A quantificação foi realizada por CLAE, conforme metodologia proposta por LAN et alii (1984). O cromatógrafo utilizado foi o Varian 5.000 com integrador acoplado ao aparelho. As condições usadas foram: coluna C 18, 12,5 cm, 5 µm; temperatura de 45°C; a fase móvel, solução do complexo B e água de 40:60 (v/v); fluxo da fase móvel de 0,2 mL/min; detector ultravioleta; comprimento de onda de 270 nm. O volume de amostra injetado foi de 10 µL.

c- Vitamina E. Os tocoferóis totais (vitamina E) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por CONTRERAS-GUZMAN & STRONG (1982) através da extração com etanol e heptano, separação por sulfato de sódio a 1,25 % e quantificação dos mesmos. A quantificação baseou-se na redução dos íons cúpricos, complexação dos íons cuprosos com cuproína e leitura em espectrofotômetro a 545 nm.

3.3.5 - Determinação de minerais

Cálcio, fósforo, potássio, sódio, magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre e bário foram determinados após mineralização em mufla a 480 °C e diluição em ácido nítrico a 5 % (ANGELUCCI & MANTOVANI, 1986). A quantificação foi realizada em espectrômetro de emissão de plasma de argônio (I.C.P-2000 BAIRD), versão simultânea, gerador de frequência de 40 Mhz, nebulizador pneumático concêntrico e tocha de baixo fluxo. Os fluxos de amostra e argônio foram 2 mL/min e 14 mL/min, respectivamente (IMO INDUSTRIES INC. ICP-2000 BAIRD, 1990).

3.3.6 - Composição em ácidos graxos

A extração do óleo foi realizada segundo a metodologia proposta por BLIGH & DYER (1959), preparação das amostras para injeção no cromatógrafo, na forma de ésteres metílicos de ácidos graxos, segundo HARTMAN & LAGO (1973) e a composição em ácidos graxos determinada no cromatógrafo gasoso Varian 3400, conforme o método Ce 1-62 da AOCS (1990). As condições usadas no aparelho foram: coluna empacotada de 2 m de comprimento x 1/8" de diâmetro, OV275, 15 % CWAW (80 a 100 mesh) e detector de ionização de chama; fluxo de nitrogênio (gás de arraste) de 30 mL/min. A temperatura programada da coluna foi de 155 a 162 °C na taxa de 3 °C por min; temperaturas do detector e injetor de 300 °C e 230 °C, respectivamente. Foi injetado 1 µL de amostra, sendo os ácidos graxos identificados por comparação com os tempos de retenção dos padrões (SIGMA - 89F-9012) e quantificados por cálculo automático de área com o integrador Varian 4.400.

3.3.7 - Composição em aminoácidos

a- Hidrólise com HCl. Foram determinados os aminoácidos totais com exceção de metionina, cisteína e triptofano. As amostras foram submetidas à hidrólise com HCl 6 N em ampolas de vidro (18 x 150 mm), seladas a vácuo e mantidas a 110 °C por 22 horas. Após este período de incubação, o ácido clorídrico foi evaporado em dessecador. O conteúdo foi então diluído e transferido quantitativamente para um balão de 5 mL, com tampão citrato de sódio 4 M, pH 2,2 com 15 % de polietilenoglicol 400.

b- Hidrólise após prévia oxidação com ácido perfórmico. Foram determinados os aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína). Após oxidação prévia com ácido perfórmico, seguiu-se a hidrólise com HCl 6 N. Metionina e cisteína foram detectadas como metionina

sulfona e ácido cistéico, respectivamente. O método proposto por MOORE (1963) consiste na utilização do ácido perfórmico, preparado com um mL de peróxido de hidrogênio a 30 % em 9 mL de ácido fórmico a 88 %, deixado reagir por uma hora à temperatura ambiente; em seguida, é colocado em banho de gelo para uso imediato. O material a ser oxidado foi colocado em ampolas de vidro (18 x 150 mm), sob banho de gelo, adicionando-se 2 mL de ácido perfórmico. As ampolas foram mantidas em banho de gelo durante 4 horas; após este período, o excesso do reagente foi destruído pela adição de 300 μ L de ácido bromídrico a 48 %, também gelado. O conteúdo da ampola foi seco em dessecador, sendo o resíduo submetido à hidrólise com HCl 6 N, conforme descrito no item anterior.

c- Hidrólise com hidróxido de lítio. Para determinação do triptofano, as amostras foram hidrolisadas com LiOH 4 N, segundo metodologia proposta por LUCAS & SOTELO (1980). As amostras (500 mg de proteína) foram colocadas em ampolas de vidro (18 x 150 mm), adicionando-se 0,5 mL de LiOH 4 N. As ampolas foram seladas a vácuo e mantidas a 100 °C por 24 horas. Após este período de incubação, o conteúdo da ampola foi neutralizado (pH 7-7,5) com ácido ortofosfórico a 85 %. O conteúdo da ampola foi transferido quantitativamente para um balão, sendo o volume completado para 5 mL.

d- Aminograma. A composição qualitativa e quantitativa de aminoácidos das amostras foi determinada por cromatografia de troca iônica (SPACKMAN et alii, 1958) em analisador de aminoácidos Beckman, modelo 7.300. Este analisador consiste de um sistema de duas colunas, uma curta (0,6 x 17 cm) e outra longa (0,6 x 42 cm), empacotadas com resina de troca iônica. A detecção foi realizada a 570 nm e 440 nm, na escala de 0,0 até 0,1 de absorvância. O sistema foi calibrado com solução de aminoácidos padrão Pierce H, através do qual é determinada a constante em relação à concentração/altura do pico de absorção.

3.3.8 - Lisina disponível

A lisina disponível foi determinada segundo a metodologia proposta por KAKADE & LIENER (1969), pelo uso de TNBS 0,1 % em água. Uma alíquota foi misturada com solução de TNBS, reagindo a 40 °C por 2 horas, no escuro. A seguir foi adicionado HCl 8 N, autoclavado por uma hora (120 °C), extraídos os subprodutos amarelos com éter etílico, sendo realizada a leitura na absorvância de 346 nm. A quantificação da lisina disponível foi efetuada aplicando-se a equação colorimétrica de Lambert Beer e coeficiente de extinção molar (E) de $1,46 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$. A percentagem de lisina disponível foi obtida a partir da relação entre a

lisina disponível em cada um dos produtos e a lisina presente nas matérias-primas, determinada pelos aminogramas. O valor obtido foi multiplicado por 100 para expressar os resultados em percentagem.

3.3.9 - Digestibilidade da proteína *in vitro*

A digestibilidade da proteína *in vitro* foi realizada de acordo com a metodologia proposta por AKESON & STAHMANN (1964) através da digestão das amostras com pepsina e pancreatina, separação da fração não digerida (sólida) por precipitação em ácido tricloroacético a 30 % e centrifugação. O mesmo processo foi utilizado para a obtenção dos brancos da enzima e da amostra. Para o cálculo de digestibilidade foi, considerado o nitrogênio do hidrolisado, obtido por micro-Kjeldahl e empregado-se a seguinte relação:

$$D = \frac{NH - (NBE + NBA)}{NA} \times 100$$

onde:

D = digestibilidade da proteína;

NH = nitrogênio do hidrolisado;

NBE = nitrogênio do branco da enzima;

NBA = nitrogênio do branco da amostra;

NA = nitrogênio da amostra.

3.3.10 - Índice de solubilidade de nitrogênio

A dispersibilidade de nitrogênio foi determinada de acordo com o método nº 46-23 da AACC (1995) através da pesagem de 5 g de amostra finamente moída (< 80 mesh), dispersão em 200 mL de água destilada a 30 °C e agitação mecânica com o agitador Fisatron a 120 rpm por 120 minutos. Durante a agitação a temperatura foi mantida a 30 °C pela imersão do béquer em banho-maria. Uma alíquota do material, após decantação e centrifugação, foi usada para a determinação de nitrogênio, sendo o índice de solubilidade expresso em percentagem, através da relação entre nitrogênio solúvel em água e nitrogênio total da amostra.

3.3.11 - Escore químico

O escore químico foi estabelecido pela relação de cada um dos aminoácidos essenciais da proteína em estudo com o aminoácido correspondente do padrão de referência da FAO/WHO/UNU (1985), para crianças de dois a cinco anos. Os quocientes indicaram a ordem

dos aminoácidos limitantes, sendo o valor encontrado para o aminoácido mais limitante considerado uma estimativa do valor biológico da proteína em estudo, ou seja:

$$EQ = \frac{\text{mg de aminoácido / g N da proteína teste}}{\text{mg de aminoácido/g N padrão de referência}} \times 100$$

3.3.12 - Índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI)

O procedimento para o cálculo do índice de aminoácidos essenciais de Oser, modificado por Mitchell (MEAAI), foi realizado segundo a metodologia proposta por SHEFFNER (1967). A partir do padrão-referência de proteína de ovo integral (His=2,6; Lys=7,8; Met+Cys=5,3; Phe+Tyr=9,3; Leu=8,8; Ile=5,9; Val=7,1; Thr=4,9 e Trp=1,4 g/16g N), calculou-se a razão-ovo (RO) de cada um dos aminoácidos essenciais. Em seguida, fez-se correção das RO, pela redução a 100 daqueles que ultrapassaram este valor. Calcularam-se, então, os logaritmos decimais de cada RO corrigida, estabelecendo-se, a seguir, a média aritmética destes valores. O MEAAI correspondeu ao antilogaritmo desta média.

3.3.13 - Coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C)

O coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) foi determinado segundo a metodologia proposta por PELLET & YOUNG (1980), com base na seguinte relação:

$$NPU - C = \frac{MEAAI \times D}{100}$$

onde:

MEAAI=Índice de aminoácidos essenciais modificado (item 3.3.12);

D = Digestibilidade da proteína *in vitro* (item 3.3.9).

3.3.14 - Rendimento de moagem

As amostras de cariopses aveia, após sofrerem os tratamentos conforme definidos no delineamento experimental (Tabela 02) e condicionamento à temperatura ambiente por 24 horas, foram submetidas à moagem em moinho experimental de rolos Brabender, modelo Quadrumat Senior. Foram usados a seção de quebra e o sistema de peneiragem do moinho. Ao final da moagem, foram obtidas três frações: a de granulometria superior a 532 µm, a de granulometria intermediária (partículas entre 532 µm e 150 µm) e a de granulometria inferior a

150 µm, separadas pelas peneiras nº 7 (36GG), 9 (9XX) e 12 (9XX) do próprio moinho. As frações foram recolhidas separadamente e pesadas, determinando-se o rendimento de moagem com base no peso total dos produtos obtidos; os resultados foram expressos em base seca.

3.3.15 - Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada através da colocação de 50 g de amostra moída (<500 µm) em um cilindro graduado, agitado por cinco vezes, realizando-se a leitura do volume global (LEWIS 1993). O resultado médio da relação entre massa e volume global de cinco leituras foi expresso em kg m⁻³.

3.3.16 - Energia mecânica específica

A energia mecânica específica fornecida ao parafuso pelo motor do extrusor, valor que pode estar mais ou menos próximo da energia total, pois esta é a soma das energias mecânica e térmica, foi determinada de acordo com o procedimento proposto por HARPER (1981). O torque foi calculado a partir dos gráficos fornecidos pelo registrador Do-Corder, que determina o trabalho realizado pelo motor para impulsionar as amostras em direção à matriz. Foi tomado o valor médio durante a fase mais estável. Os resultados, fornecidos em grama força metro (gfm) pelo registrador, foram transformados para kilo Newton metro (kNm) através da multiplicação do valor obtido por $9,81 \times 10^{-6}$, ou seja, 1gfm equivale a $9,81 \times 10^{-6}$ kNm. Para o cálculo da energia mecânica específica utilizou-se a seguinte equação:

$$EM = \frac{T \times w}{m}$$

onde:

EM = energia mecânica específica (kWh/kg);

T = torque (kNm);

w = velocidade do parafuso (rps);

m = fluxo do produto processado (kg/h)(b.u).

3.3.17 - Índices de absorção de água e de solubilidade em água

A determinação dos índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) seguiu a metodologia proposta por ANDERSON et alii (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados cerca de 2,5 g de mostra e 30 mL de água destilada a 30 °C. Os tubos foram agitados durante 30 min e, neste período, mantidos a 30 °C,

em seguida centrifugados a 3.000 x g por 10 min. O sobrenadante foi escorrido em placa de Petri. O gel remanescente foi pesado e o IAA, calculado na forma de g de gel/ g de amostra através da seguinte relação:

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo de centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (b.s.) (g) - Peso do resíduo de evaporação (g)}}$$

O índice de solubilidade em água foi determinado a partir da evaporação do sobrenadante obtido em IAA e expresso em percentagem:

$$ISA = \frac{\text{Peso resíduo evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (b.s.) (g)}} \times 100$$

3.3.18 - Viscosidade

A viscosidade dos produtos extrusados foi determinada usando-se o analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser), modelo RVA-3D+ da Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália, provido do *software Termocline*. O tempo (min) e a temperatura (°C) utilizados nesta determinação foram distribuídos da seguinte forma:

0	4:45	7:15	11:00	13:00
50 °C	Aquecimento, 95 °C	Resfriamento, 50 °C	Tempo,	min
	Zona de temperatura constante		-	

O analisador rápido de viscosidade foi projetado para determinações de viscosidade de produtos amiláceos a partir de pequenas quantidades de amostra (3-4 g) e em curto espaço de tempo (13-20 min). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento são monitoradas automaticamente por computador (WALKER et alli, 1988). Foram tomados 25 mL de água destilada e 3,5 g de amostra (<250 µm), previamente corrigidos para 14 % de umidade e colocados em um copo padrão. Após a inserção da paleta e da colocação do copo no aparelho, o ciclo do teste foi iniciado, sendo os resultados das análises interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo software do aparelho. Os parâmetros usados na interpretação dos resultados (unidades viscoamilográficas-UVA) foram:

- **viscosidade inicial** - valor da viscosidade no ponto onde se inicia o amilograma à temperatura de 50 °C;
- **viscosidade à temperatura constante** - valor da viscosidade máxima obtida durante o aquecimento à temperatura constante de 95 °C;

- **viscosidade final** - valor da viscosidade, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50 °C.

3.3.19 - Força do gel a 4 °C

Após a realização das análises de viscosidade, os resíduos (concentração de 14 %) foram colocados em béqueres de 50 mL, os quais foram vedados com filme plástico de PVC transparente e armazenados a 4 °C por 24 horas. A seguir, foram realizadas as leituras de força do gel usando-se o analisador de textura TA.XT2 (Texture Technologies, Scarsdale, NY/Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, England) e empregando-se o software XTRAD com as seguintes condições: força de compressão de 25 kg, velocidade de 5 cm min⁻¹, sensibilidade de 1 g para força e de 0,0025 mm para distância. Um probe cilíndrico de 10 milímetros de diâmetro (P-10) foi utilizado para avaliar a força do gel das amostras (gramas), sendo os resultados expressos como valor médio de três leituras.

3.3.20 - Cor

A cor foi determinada pelo Espectrofotômetro de Reflectância Difusa (Macbeth), modelo Color Eye 2020 com sensor ótico geométrico de esfera. O aparelho foi calibrado com cerâmica, realizando-se a leitura por reflexão e utilizando-se ângulo de observação de 10°, iluminante principal D65 (luz do dia) e iluminante secundário Flu-Branca Fria. A leitura foi realizada em uma pequena área de observação, sendo utilizada a equação CIELAB de cor. Foram inclusos o componente especular e a radiação ultravioleta. No sistema Hunter de cor, corrigido pela CIE, os valores L* (luminosidade) flutuam entre zero (preto) e 100 (branco), -a* (verde) até +a* (vermelho), e -b* (azul) até +b* (amarelo). O grau de brancura foi fornecido pelo aparelho através da fórmula do *Whiteness-index*, de acordo com a ASTM E 313. As amostras, apresentando opacidade comprovada e granulometria inferior a 500 µm por ocasião das leituras, foram transferidas para placas de vidro do próprio aparelho, compactadas, colocadas sobre o sensor ótico de 10 x 5 mm, realizando-se duas repetições para cada amostra e leitura em duas posições diferentes.

3.3.21 - Atividade de lipase

A atividade de lipase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por KAUR et alli (1993), através do preparo de substrato pela homogeneização de 2 g de álcool polivinílico, 40 mg de desoxicolato de sódio e 50 mL de óleo de oliva em 100 mL de tampão

fosfato 0,2 M, pH 7,4 (0,5:1) por 2,5 minutos. A seguir, 2 g de amostra (<250 μ m) foram dispersas em 5 mL de substrato, incubado a 38 °C por 24 horas, sendo a reação paralisada pela adição de 20 mL de solução de álcool etílico e acetona (1:1), neutralizada. A quantidade de ácidos graxos livres foi estimada pela titulação da mistura com KOH 0,1 N até pH 8,3 e a atividade de lipase expressa em % de hidrólise com base no índice de saponificação do substrato.

A cinética de hidrólise enzimática da lipase foi determinada nos tempos de incubação zero, 1, 2, 4, 6, 12, 18, 24, 30, 48 e 72 horas, avaliando-se a velocidade de hidrólise do substrato em função do tempo de reação (Figura 2a).

3.3.22 - Atividade de peroxidase

A atividade de peroxidase foi determinada através da dispersão de 0,625 g de amostra em 25 mL de tampão TRIS-HCl 0,2M, pH 8,5, agitação por 10 minutos e centrifugação por 15 minutos a 2.000 x g. Uma alíquota de 0,5 mL do sobrenadante foi misturada com 3 mL da solução de substrato, realizando-se a leitura em espectrofotômetro na absorvância de 420 nm. O substrato foi preparado pela homogeneização de 50 mM de guaiacol, 20 mM de peróxido de hidrogênio e 5 % de etanol em tampão acetato de sódio 0,1M, pH 5,0 (EKSTRAND et alii, 1992). Uma atividade de peroxidase correspondeu ao aumento de 0,001 na absorvância a 420 nm/minuto/g de amostra.

3.3.23 - Índice de acidez

O índice de acidez foi determinado de acordo com o método número Ca 5a-40 da AOCS (1990) e expresso em mg de KOH/g de óleo. A extração de óleo foi realizada pelo emprego da mistura clorofômio, metanol e água (49:49:2). A mistura de solvente e óleo foi separada da amostra; traços de água foram retirados pela adição de sulfato de sódio anidro e filtrada. Finalmente, o clorofômio foi separado da gordura pelo uso de estufa com circulação de ar a 105 °C, sendo os ácidos graxos do óleo quantificados por titulação com KOH 0,05 N em presença de solução indicadora de fenolftaleína.

3.3.24 - Índice de peróxidos

O índice de peróxidos foi determinado de acordo com o método número Cd 8-53 da AOCS (1990), que determina todas as substâncias em termos de milimoles de peróxidos por

quilo de óleo ou gordura que oxidam o iodeto de potássio sob condições de teste. A extração do óleo de aveia foi realizada a frio pelo emprego de éter de petróleo, proporção de 3:1 (éter: amostra), por 90 minutos e sob agitação constante. O material extraído foi centrifugado por 15 minutos a 2.000 x g, traços de água retirados pela adição de sulfato de sódio anidro e filtrado. Finalmente, o éter de petróleo foi separado do óleo pelo uso de rotavapor a 35-40 °C, sob vácuo, sendo os peróxidos quantificados por titulação com tiosulfato de sódio 0,005 N.

3.3.25 - n-Hexanal

O n-hexanal foi determinado de acordo com a metodologia proposta por FRITSCH & GALE (1977), pela pesagem de 15 g de amostra em erlenmeyer de 250 mL, adição de 0,1 µL de padrão interno, diluído previamente em etanol pela adição de 50 µL de 4-heptanona em 250 mL, e completado o volume para 150 mL com água destilada em ebulição. O frasco foi vedado hermeticamente com rolha de borracha e fita vedarosa, mantido sob agitação; após um minuto, foi coletado com seringa apropriada (Precision Sampling Corp., Botton Rouge, Lousiana - U.S.A.) 1 mL de espaço de cabeça para injetar no cromatógrafo gasoso Varian, modelo 3.400, acoplado com o integrador Varian, modelo 4.400. As condições usadas no cromatógrafo foram: coluna empacotada de aço inoxidável medindo 2 m de comprimento x 1/8" de diâmetro, 4 %OV101/6 %OV210 CWHF (80 a 100 mesh); detector de ionização de chama, injetor tipo *on column*, atenuação de 2×10^{-12} ; temperaturas de 100 °C da coluna, 150 °C do injetor e 200 °C do detector. O fluxo dos gases foi de 25 mL/min para o hidrogênio (gás de arraste) e 165 mL/min para o ar sintético, usado no detector de ionização de chama.

Os cromatogramas foram graficados e integrados eletronicamente no integrador. O valor (X) da relação entre a área do pico de n-hexanal da amostra e a área do pico de padrão interno (PI) foi utilizado para calcular a concentração de n-hexanal das amostras (mg/kg) através da seguinte equação de regressão: $y = 0,3876 + 4,1929X$ ($R = 0,9980$). A equação de regressão foi obtida pela construção de uma curva padrão de 8 pontos, usando-se quantidades crescentes de n-hexanal padrão e realizada nas mesmas condições de teste, exceto o uso da amostra (Figura 3a). Para a construção da curva, o valor da relação entre a área do pico de n-hexanal padrão e a área do pico de padrão interno foi plotado contra a concentração de n-hexanal (mg/kg), calculada através da seguinte equação:

$$mg / kgHexanal = \frac{\mu L \quad PI \quad x \quad d \quad x \quad p}{Peso \quad amostra \quad (g)} \times 1.000$$

onde:

PI = padrão interno (4-heptanona);

d = densidade do padrão interno (0,8335);

p = pureza do padrão interno (0,99).

3.4 - Métodos Estatísticos

Os resultados reportados neste trabalho foram obtidos através da análise de amostras no mínimo em triplicata, exceto para aminoácidos, feita em duplicata; portanto, representam o valor médio dessas determinações.

3.4.1 - Análise univariada

Para avaliar os resultados de caracterização química empregou-se o método de análise estatística univariada, obtendo-se a análise descritiva dos dados, como número de dados, média, desvio padrão ou através da análise de variância e verificação da significância do modelo pelo emprego do teste F ($p \leq 0,05$).

Nos modelos significativos pelo teste F, as médias das respostas foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, verificando-se aquelas estatisticamente diferentes ao nível de 0,05 ou através do emprego de análise de regressão (variáveis quantitativas), utilizando-se como resposta a equação de melhor ajuste.

3.4.2 - Análise de superfície de resposta

A análise dos resultados dos experimentos de moagem e de extrusão foi realizada através da metodologia de superfície de resposta (BOX & DRAPER, 1987). Esta técnica descreve o comportamento da variável dependente (y) frente às mudanças nas variáveis independentes (x_k) dentro do intervalo estudado. A resposta esperada da variável resposta pode ser escrita como:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Através da análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (y) o polinômio completo de segunda ordem com as variáveis independentes (x_k). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

onde:

y = função resposta;

x_1, x_2 = são os valores das variáveis independentes;

β_0 = é a intersecção do plano com o eixo resposta;

β_1, β_2 = coeficientes lineares das variáveis independentes;

β_{11}, β_{22} = coeficientes dos quadrados das variáveis independentes;

β_{12} = coeficiente de interação entre as variáveis independentes;

ε = residuo que representa a distorção do modelo.

O polinômio preditivo para cada resposta somente pode ser empregado dentro do intervalo estudado, fixado pelos níveis extremos das variáveis independentes (x_k).

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (teste F). Para o estudo da significância dos efeitos individuais da variável resposta (y), as variáveis independentes foram ajustadas através do procedimento *stepwise* do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, 1985) ao nível de 0,10 de significância. Os termos não significativos foram automaticamente retirados do modelo, levando a um novo ajuste, utilizando-se no modelo final somente os termos significativos ($p \leq 0,10$).

Entre os testes para verificar a normalidade dos dados observados, foram utilizados o gráfico de distribuição normal de probabilidade, o gráfico de distribuição dos resíduos e a falta de ajuste do residuo, verificando-se assim, a distribuição normal dos dados ou a existência de valores aberrantes.

O processamento de dados e a análise estatística foram elaborados com o auxílio de um computador Pentium e uso do programa estatístico SAS®. Os gráficos tridimensionais foram elaborados a partir das equações ajustadas, utilizando-se o pacote *Statistica for Windows* 5,0®.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudaram-se os efeitos de diferentes níveis de umidade e temperatura nas características tecnológicas e de estabilidade ao armazenamento das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . Além disso, frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm (composta pela mistura das frações de partículas menores de 532 μm) foram processadas pelo emprego da extrusão termoplástica para a obtenção de farinhas estabilizadas. A avaliação de propriedades físicas, químicas, funcionais, nutricionais e de estabilidade dos produtos permitiu que se verificasse a efetividade dos tratamentos aplicados. A seguir, serão discutidos os resultados e os aspectos mais importantes do presente trabalho.

4.1 - Caracterização Química e Nutricional da Matéria-Prima

Cariopses de aveia da cultivar UPF 16 foram moídas em moinho de facas e caracterizadas através de diferentes análises físicas, químicas e nutricionais.

4.1.1 - Composição química

O estudo da composição centesimal aproximada foi realizado através de análises quantitativas referentes à constituição da cariopse de aveia em termos de proteína bruta, lipídios, cinzas, umidade, fibra alimentar, açúcares totais e amido (Tabela 05).

A concentração de proteínas na aveia varia consideravelmente entre cultivares, bem como na mesma cultivar quando exposta a diferentes locais de cultivo. A matéria-prima estudada apresentou 14,04 % de proteínas.

Os lipídios também estão presentes em quantidades relativamente altas na cultivar estudada, na qual se encontrou o teor de 8,01 %. Embora sejam importantes nutricionalmente, os lipídios, aliados às enzimas hidrolíticas, são apontados como os responsáveis pela instabilidade ao armazenamento de grãos e produtos de aveia (GALLIARD, 1983; LIUKKONEN, 1992).

A fibra alimentar de aveia tem recebido uma atenção especial devido aos seus efeitos hipocolesterolêmicos e na diabetes (TOPPING, 1991; SHINNICK et alii, 1991). O teor de fibra alimentar total obtido foi de 11,54 %, sendo 47 % fibra solúvel e o restante insolúvel.

Tabela 05 -Composição centesimal aproximada e valor energético da cariopse de aveia

	(%)
Proteína bruta (N x 6,25)	14,04±0,06
Lipídios totais	8,01±0,04
Cinzas	1,78±0,01
Umidade	9,42±0,14
Fibra alimentar total	11,54±0,06
Fibra alimentar solúvel	5,47±0,11
Fibra alimentar insolúvel	6,13±0,04
Açúcares totais	1,14±0,07
Amido ¹	54,03±0,22
	(Kcal/100 g)
Energia bruta	426,63±0,06
Energia metabolizável	371,03±0,25

Resultados representam a média de três repetições ± desvio padrão;

1. calculado por diferença.

A aveia fornece um aporte energético relativamente alto (Tabela 05). Este fato se deve à forma de determinação da energia bruta, ou seja, através de uma oxidação completa da amostra em bomba calorimétrica, num ambiente que contém 25 a 30 atm de oxigênio. Porém, o valor energético da cariopse de aveia está abaixo dos encontrados em trigo, arroz e milho, que foram 442,2, 439,8 e 449,3 Kcal/100 g, respectivamente (PEDERSEN & EGGUM, 1983a, 1983b e 1983c). Quanto à energia metabolizável, calculada a partir dos constituintes proteína bruta, lipídios, amido, açúcares totais e fibra alimentar solúvel, verificou-se um valor relativamente menor.

Os valores encontrados para a composição centesimal aproximada e valor energético da cariopse de aveia estudada estão em concordância com os da literatura (EGGUM & GULLORD, 1983; McMULLEN, 1991; ASP et alii, 1992).

A concentração dos minerais Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu e Ba da cariopse de aveia da cultivar UPF 16 encontra-se na Tabela 06. Entre esses fósforo, potássio, magnésio e cálcio estão presentes em maiores quantidades. Observações semelhantes foram realizadas por FROLICH & NYMAN (1988) ao analisarem a concentração de minerais de cariopses de aveia. Quanto à distribuição dos minerais no grão, as percentagens encontradas pelos autores foram de 31-47 na casca, 15-30 no farelo grosso, 16-22 no farelo fino e 8-47 na farinha.

Tabela 06 - Teores de minerais da cariopse de aveia

	(mg/100 g)	RDA ¹ (mg/100 g)
Cálcio	35,66±2,08	800
Fósforo	340±5,00	800
Potássio	320±3,51	1600
Sódio	26,33±1,17	400
Magnésio	116±3,32	120
Ferro	3,52±0,02	10
Zinco	2,48±0,02	10
Manganês	2,60±0,17	1,0-1,5
Cobre	0,72±0,02	1,5-2,0
Bário	0,19±0,01	-

Resultados representam a média de três repetições ± desvio padrão;

1. Recommended Dietary Allowances- RDA, 1989; crianças de 4-6 anos.

Tabela 07 - Teores de vitaminas da cariopse de aveia

	(mg/100 g)	RDA ¹ (mg/100 g)
Vitamina E	4,96±0,21	7,0
Tiamina (B1)	0,08±0,00	0,9
Riboflavina (B2)	0,02±0,00	1,1
Niacina (PP)	traços	12

Resultados representam a média de três repetições ± desvio padrão;

1. Recommended Dietary Allowances- RDA, 1989; crianças de 4-6 anos.

O teor de magnésio foi 116 mg/100 g, atendendo a 0,96 do recomendado pela RDA (1989). O manganês apresentou valores acima do recomendado, em oposição aos demais minerais estudados, cujas concentrações ficaram abaixo.

Determinaram-se as vitaminas E, tiamina, riboflavina e niacina da matéria-prima estudada (Tabela 07). A concentração encontrada em tocoferóis totais (vitamina E) foi de 4,96 mg/100 g. Já os teores de tiamina, riboflavina e niacina ficaram abaixo dos citados em literatura devido, provavelmente, às metodologias empregadas nas determinações desses. SHUKLA (1975) observou que a aveia contribui com uma pequena quantidade de vitaminas na dieta, correspondendo as do complexo B e a vitamina E. Os valores reportados pelo autor para as vitaminas E, tiamina, riboflavina, niacina e ácido pantotênico, foram 3, 0,67, 0,14, 0,98 e 1,48 mg/100 g, respectivamente. Mesmo que se considerem os dados reportados por

SHUKLA (1975), verifica-se que as concentrações obtidas estão abaixo do mínimo recomendado pela RDA (1989).

A composição em ácidos graxos do óleo da cariopse de aveia estudada encontra-se na Tabela 08. Do total de ácidos graxos presentes, 20,65 % corresponderam aos ácidos graxos saturados e 79,35, aos ácidos graxos insaturados. Linoléico, oléico e palmítico foram os maiores representantes, com 39,16, 38,99 e 18,21 %, respectivamente. Esses, correspondem a 96,36 % do total de ácidos graxos presentes no óleo da cariopse de aveia. Mirístico, esteárico, araquidônico e linolênico contribuíram com apenas 3,64 %. Os valores estão em acordo com os resultados obtidos por KAHN (1989) e PETERSON (1992).

Segundo PETERSON (1992), a composição de lipídios na aveia é favorecida pelo alto teor de ácidos graxos insaturados. Entre estes, o linoléico, considerado essencial para a nutrição humana, é o mais abundante. Por outro lado, essa composição contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia e para a formação de compostos indesejáveis como o n-hexanal (SHAHIDI, 1995).

O índice de acidez da cariopse de aveia estudada foi de 10,04 mg KOH/g de óleo (Tabela 08), valor relativamente alto para uma matéria-prima que ainda será processada. Estes níveis de acidez devem-se, provavelmente, às características agronômicas da cultivar, as condições de colheita e ao longo período de armazenamento das cariopses de aveia.

Tabela 08 -Composição em ácidos graxos do óleo da cariopse de aveia

		(%)
Mirístico	C14:0	0,11±0,01
Palmítico	C16:0	18,21±0,25
Esteárico	C18:0	1,39±0,06
Araquídico	C20:0	0,94±0,23
Total saturados		20,65±0,05
Oléico	C18:1	38,99±0,08
Linoléico	C18:2	39,16±0,07
Linolênico	C18:3	1,20±0,12
Total insaturados		79,35±0,03
Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)		10,04±0,04

Resultados representam a média de três repetições ± desvio padrão.

A composição em aminoácidos das proteínas da matéria-prima estudada e o padrão teórico da FAO/WHO/UNU (1985) encontram-se na Tabela 09. Os aminoácidos leucina, treonina, histidina e lisina ficaram abaixo do recomendado pela FAO/WHO/UNU (1985).

A cultivar estudada apresentou um balanço de aminoácidos essenciais bom, porém, como nos demais cereais, a lisina foi o primeiro aminoácido limitante, seguido de treonina. Este fato foi semelhante ao verificado por EGGUM & GULLORD (1983) e ZARCADAS et alii (1995). A concentração de lisina foi de 3,62 g/16 g N, ficando acima dos 2,9 g/16 g N encontrados de trigo (MATTERN, 1991) e dos 2,95 g/16 g N do milho (PEDERSEN e EGGUM, 1983c). Para a treonina, o valor determinado foi de 2,89 g/16 g N, estando abaixo dos 3,3 g/16 g N verificados por ROBBINS et alii (1971) em seu estudo sobre a composição em aminoácidos de diferentes cultivares de aveia.

Já o conteúdo de aminoácidos sulfurados (metionina+cistina) foi de 3,32 g/16 g N, ficando acima dos 2,5 g/16 g N recomendados pela FAO/WHO/UNU (1985). EGGUM & GULLORD (1983) encontraram uma concentração de 4,0 g/16 g N de aminoácidos sulfurados totais em aveia.

Tabela 09 -Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse de aveia

	(g/16g N)	Padrão da FAO ¹ (g/16g N)
Valina	4,57±0,01	3,5
Isoeucina	3,50±0,05	2,8
Leucina	5,10±0,55	6,6
Treonina	2,89±0,03	3,4
½ Cistina	1,82±0,03	
Metionina	1,50±0,03	
Sulfurados totais	3,32±0,03	2,5
Tirosina	3,34±0,16	
Fenilalanina	4,68±0,13	
Aromáticos totais	8,02±0,29	6,3
Histidina	1,75±0,17	1,9
Lisina	3,62±0,08	5,8
Triptofano	1,81±0,09	1,1
Ácido aspártico	6,71±0,22	
Serina	3,96±0,12	
Ácido glutâmico	17,55±1,11	
Prolina	4,83±0,05	
Glicina	4,47±0,09	
Alanina	3,75±0,14	
Arginina	5,53±0,69	

Resultados representam a média de duas repetições ± desvio padrão;

1. padrão teórico da FAO/WHO/UNU, 1985; crianças de dois a cinco anos.

4.1.2 - Valor nutritivo das proteínas

O valor nutritivo das proteínas da aveia estudada foi avaliado através das determinações de lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro*, escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado (MEEAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) (Tabela 10).

A lisina disponível da cariopse foi de 3,09 g/16 g N. A percentagem de disponibilidade de lisina foi calculada através da relação entre lisina disponível e total, de 85 %. Este valor está abaixo dos 98 % encontrados por CARPENTER et alii (1989) ao estudarem a percentagem de disponibilidade de lisina de aveia, o que se deveu, provavelmente, às diferenças na extração e metodologias usadas. O valor também ficou abaixo dos observados em trigo (90,8 %), milho (91 %) e cevada (94 %) (TAVERNER & FARREL, 1981).

Quanto à digestibilidade da proteína *in vitro*, observa-se que a cariopse apresentou 86,12 %, valor levemente superior aos encontrados em arroz (84,8 %), trigo (83,7 %) e farinha de trigo (85,8 %) (WOLZACK et alii, 1981).

O escore químico deve ser visto como forma de identificar, quantificar e predizer os fatores limitantes das proteínas, permitindo a avaliação do seu valor nutricional (BETSCHART, 1982). O valor encontrado foi de 62,25 %, portanto, acima dos relatados em trigo (44,3 %), arroz (56,4 %) e milho (50,8 %) (PEDERSEN & EGGUM, 1983a, 1983b e 1983c). Já o MEAAI, índice que estima o valor biológico da proteína em estudo considerando todos os aminoácidos essenciais, apresentou um valor ligeiramente superior quando comparado ao escore químico (Tabela 10).

Tabela 10 -Lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro*, escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse de aveia

Lisina disponível (g/16 g N)	3,09±0,03
Digestibilidade da proteína <i>in vitro</i> (%)	86,12±1,21
Escore químico (%)	62,25±1,46
MEAAI (%)	70,80±1,41
NPU-C (%)	60,98±2,08

Resultados representam a média de três repetições ± desvio padrão.

Segundo PELLET & YOUNG (1980), os escores aminoácídicos devem ser comparáveis à fração de nitrogênio absorvido e efetivamente retido no organismo, ou seja, ao valor biológico (VB). Os autores afirmam que, particularmente nas proteínas de origem vegetal, é possível obter uma estimativa do quociente de utilização líquida da proteína (NPU), fração do nitrogênio ingerido que é retido pelo organismo, multiplicando-se o MEAAI pela digestibilidade *in vitro*. Assim, o produto da digestibilidade *in vitro* da matéria-prima estudada foi multiplicado pelo MEAAI correspondente e empregado para estimar o coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C). O valor encontrado foi de 60,98 %.

4.2 -Efeito de Umidade de Condicionamento e Temperatura de Secagem no Rendimento de Moagem, Composição Química e Estabilidade de Frações de Aveia

A moagem de cariopses de aveia foi realizada em moinho experimental de rolos, marca Brabender, modelo Quadrumat Senior, separando-se as frações de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm pelo sistema de peneiragem. As frações de aveia oriundas do experimento de moagem (Tabela 02) foram caracterizadas através de diferentes análises físicas e químicas.

4.2.1 - Rendimento de moagem

Nas Tabelas 11 a 13, apresentam-se, em base seca, os resultados do rendimento de moagem das frações de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm , obtidas de cariopses de aveia, em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que esses são significativos ($p \leq 0,01$) e os resíduos não apresentam falta de ajuste, exceto na fração de granulometria inferior a 150 μm . Em todas as frações estudadas, foi significativa ($p \leq 0,05$) somente a variável umidade de condicionamento (Tabelas 01a a 03a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Tabela 11 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		Determinações (%)				
	T	U	Rendimento	Proteína bruta	Lipídios totais	Cinzas	Carboidratos
1	55	07	40,85	22,18	9,40	3,43	64,99
2	105	07	40,49	22,17	9,36	3,46	65,01
3	55	13	59,91	21,46	9,10	3,17	66,27
4	105	13	57,42	21,51	9,16	3,15	66,18
5	44,6	10	54,40	21,35	9,23	3,18	66,24
6	115,4	10	52,33	21,78	9,21	3,23	65,78
7	80	5,76	38,89	22,92	9,57	3,55	63,96
8	80	14,24	59,96	21,11	9,08	2,91	66,90
9	80	10	55,30	21,38	9,24	3,17	66,21
10	80	10	54,14	21,42	9,27	3,17	66,14
11	80	10	54,86	21,41	9,22	3,17	66,20
Matéria-prima			-	18,35	8,50	2,24	70,91

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 12 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e do rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

Nº	Variáveis ¹		Determinações (%)				
	T	U	Rendimento	Proteína bruta	Lipídios totais	Cinzas	Carboidratos
1	55	07	35,86	16,73	8,82	2,17	72,28
2	105	07	35,57	16,66	9,00	2,27	72,07
3	55	13	25,64	14,27	8,28	1,16	76,29
4	105	13	22,67	14,46	8,25	1,17	76,12
5	44,6	10	23,94	14,38	8,25	1,22	76,15
6	115,4	10	25,89	14,51	8,31	1,23	75,95
7	80	5,76	34,97	16,98	9,09	2,20	71,73
8	80	14,24	26,02	13,93	8,02	1,01	77,04
9	80	10	23,75	14,25	8,58	1,24	75,93
10	80	10	25,21	14,32	8,54	1,22	75,92
11	80	10	24,61	14,23	8,53	1,22	76,02
Matéria-prima			-	18,35	8,50	2,24	70,91

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 13 -Valores experimentais, em base seca, das determinações dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria inferior a 150 μm

N ^o	Variáveis ¹		Determinações (%)				
	T	U	Rendimento	Proteína bruta	Lipídios totais	Cinzas	Carboidratos
1	55	07	23,30	14,19	7,34	0,79	77,68
2	105	07	23,92	14,00	7,41	0,78	77,81
3	55	13	19,45	12,55	7,16	0,70	79,59
4	105	13	19,91	12,24	7,12	0,64	80,00
5	44,6	10	21,66	12,71	7,31	0,72	79,26
6	115,4	10	21,78	12,81	7,27	0,73	79,19
7	80	5,76	26,14	14,40	7,79	0,80	77,01
8	80	14,24	14,02	12,32	7,10	0,65	79,93
9	80	10	20,95	12,52	7,27	0,72	79,49
10	80	10	20,64	12,57	7,23	0,70	79,50
11	80	10	20,53	12,61	7,24	0,74	79,41
Matéria-prima			-	18,35	8,50	2,24	70,91

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e nível de significância de rendimento de moagem das frações de aveia estudadas, encontram-se na Tabela 14. Verifica-se que os termos lineares e quadráticos da variável umidade são significativos ($p \leq 0,10$) nas frações de granulometrias superior a 532 μm e intermediária (532-150 μm); na fração de granulometria inferior a 150 μm , somente o linear. Os coeficientes de determinação (0,84 a 0,96) mostram uma variância alta explicada pelos modelos. Portanto, pode-se concluir que as equações da Tabela 15 são adequadas para a representação do rendimento de moagem dentro do intervalo de variação estudado.

Na Figura 01 representa-se o efeito de umidade de condicionamento no rendimento de moagem de frações de aveia. O rendimento de extração da fração de granulometria superior a 532 μm aumentou de forma convexa com o aumento do conteúdo de umidade das cariopses, enquanto o das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm diminuiu de forma côncava e linear, respectivamente. O rendimento da fração de granulometria inferior a 150 μm diminuiu com o aumento de umidade. Esta fração apresentou rendimento relativamente baixo, chegando a um máximo de 26,14 % na umidade de 5,76 % (Tabela 13).

O rendimento de moagem encontrado por FROLICH & NYMAN (1988), para as frações farelo grosso (>1050 μm), farelo fino (1050-650 μm), farinha escura (650-250 μm) e farinha clara (<250 μm) de cariopses de aveia, foi 30, 21, 18 e 31 g/ 100 g, respectivamente e

utilizando o mesmo tipo de moinho. Os autores, porém, não informaram a umidade de condicionamento da matéria-prima. SUNDBERG & AMAN (1994), estudando a moagem de diferentes cultivares de cevada (10-11 % de umidade) em moinho de rolos Bühler MLU 202, obtiveram rendimentos de extração de farinha entre 51 e 67 %.

Com a variação de umidade de condicionamento, é possível obterem-se frações de moagem de aveia de diferentes características tecnológicas. Na umidade de 5,8 %, as frações de granulometrias superior a 532 μm e intermediária (532-150 μm) apresentam rendimentos similares. Porém, com o aumento de umidade, o rendimento de moagem da fração de granulometria intermediária (532-150 μm) diminui, e os valores tornam-se próximos aos da fração de aveia de granulometria inferior a 150 μm . Assim, a mistura de frações poderia ser realizada entre as de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm , obtendo-se dois novos produtos: o de tamanho de partículas superior a 532 μm e o de tamanho de partículas inferior a 532 μm .

Tabela 14 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o rendimento de moagem de frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm

Resposta	Fração	Modelo ¹	R^2	Prob > F
Rendimento	>532 μm	$y = -4,5344 + 8,9052U - 0,3081U^2$	0,9609	0,0001
	532-150 μm	$y = 77,1024 - 8,8831U + 0,3695U^2$	0,8797	0,0003
	<150 μm	$y = 31,5369 - 1,0419U$	0,8380	0,0001

1. U= umidade de condicionamento (%).

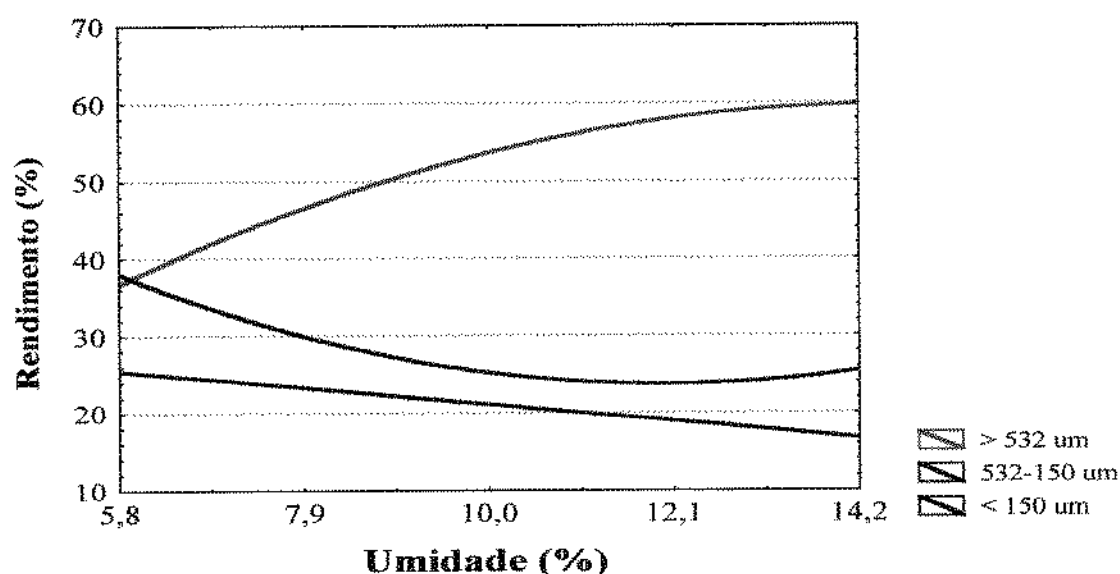


Figura 01 -Efeito de umidade de condicionamento das cariopses no rendimento de moagem (B.S.) das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

4.2.2 - Composição centesimal aproximada

Nas Tabelas 11 a 13, apresentam-se os resultados, em base seca, dos conteúdos de proteínas, lipídios, cinzas e carboidratos das frações de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm , obtidas da moagem de cariopses de aveia, em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. A partir da análise de variância (ANOVA) desses modelos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados (Tabelas 04a a 15a).

Os modelos ajustados são significativos ($p \leq 0,01$) e explicam acima de 0,83 da variância total das respostas (Tabela 15). Em razão desses resultados, conclui-se que os modelos podem ser usados para prever o comportamento das respostas dentro do intervalo de variação estudado.

As respostas proteínas, lipídios, cinzas e carboidratos das frações de moagem estudadas foram dependentes da variável umidade de condicionamento. Assim, a presença de maior ou menor quantidade de água afetou a concentração dos constituintes químicos em cada uma das frações, os quais não estão uniformemente distribuídos na cariopse (FROLICH & NYMAN, 1988). A temperatura de secagem, por outro lado, não deveria interferir na concentração dos constituintes químicos, o que foi confirmado pelos modelos de regressão ajustados. A seguir, discutir-se-á o efeito de umidade de condicionamento na composição centesimal de frações de moagem de aveia.

A Figura 02 ilustra o efeito de umidade de condicionamento no teor de proteínas das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . Tanto os termos lineares quanto os quadráticos foram significativos ($p \leq 0,01$). Verificou-se que o teor de proteínas diminuiu com o aumento do conteúdo de umidade das cariopses, apresentando uma relação côncava em todas as frações analisadas. A maior concentração de proteínas ocorreu na fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , seguido das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . A concentração de proteínas da fração de granulometria superior a 532 μm ficou acima de 22,9 % quando a moagem foi realizada na umidade de 5,8 % (Tabela 11). Assim, é possível obter

uma fração de aveia com elevado teor protéico por simples redução de umidade e moagem em moinho de rolos.

YOUNGS (1972), analisando o conteúdo de proteínas das estruturas morfológicas da cariopse de aveia encontrou maiores concentrações no eixo embrionário e escutelo, seguido de farelo e endosperma. A quantidade de endosperma variou inversamente; a de farelo diretamente com o aumento da concentração de proteínas da cariopse. Além de estarem presentes em quantidades relativamente elevadas, as proteínas também são de alto valor nutritivo (BETSCHART, 1982).

Na Figura 03, representa-se o efeito de umidade de condicionamento no teor de lipídios de frações de moagem de aveia. Na fração de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm), somente o termo linear foi significativo ($p \leq 0,10$); nas frações de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 150 μm , o linear e o quadrático. O teor de lipídios diminuiu com o aumento de umidade das cariopses de aveia, de forma linear na fração de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm) e côncava nas frações de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 150 μm . A maior concentração foi verificada na fração de granulometria superior a 532 μm . Quando a moagem das cariopses foi realizada com 14,2 % de umidade, a fração de granulometria inferior a 150 μm apresentou 7,10 % de lipídios (Tabela 13), valor ainda considerado alto e que pode comprometer a estabilidade ao armazenamento desta fração. Nas demais condições, os teores de lipídios foram superiores, chegando a 9,57 % na fração de granulometria superior a 532 μm e a moagem realizada com 5,8 % de umidade (Tabela 11). Embora ocorra maior concentração de lipídios nas camadas externas, o componente está distribuído em toda a cariopse de aveia (YOUNGS, 1977), não sendo possível obter uma fração com baixos teores de lipídios somente por controle da umidade de condicionamento e moagem, pelo menos nas condições em que foi realizado o experimento.

O óleo de aveia apresenta uma composição em ácidos graxos privilegiada (PETERSON, 1992), quantidades relativamente elevadas de antioxidantes, além de poder ser usado como agente amaciante de gorduras animais (KAHLON, 1989); as concentrações de lipídios encontradas na cariopse, no entanto, não justificam a sua extração em escala comercial.

O efeito de umidade de condicionamento das cariopses no teor de cinzas de frações de moagem de aveia está representado na Figura 04. Na fração de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm), os termos linear e quadrático foram significativos; nas frações de

granulometrias superior a 532 μm e inferior a 150 μm , somente o linear ($p \leq 0,01$). O teor de cinzas das frações estudadas diminuiu com o aumento de umidade das cariopses, apresentando uma relação côncava na fração de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm) e linear nas frações de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 150 μm . A maior concentração de cinzas foi verificada na fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm . A fração de granulometria inferior a 150 μm apresentou baixos teores (0,64-0,80 %), ficando com níveis comparáveis aos de farinha de trigo com níveis de extração entre 76-78 %. A determinação de cinzas normalmente, é usada para indicar o grau de pureza dos produtos de aveia e a concentração máxima permitida pela legislação brasileira, que é de 2 % (LARA, 1976). Porém, como o trabalho foi realizado com frações de aveia, o teor encontrado variou em função do grau de extração de moagem.

FERRETI & LEVANDER (1974) não verificaram alterações na concentração de selênio após o processo de moagem de frações da cariopse de aveia destinadas ao consumo humano. WEAVER et alii (1981) também não encontraram redução de minerais durante o processamento de cariopses de aveia e produção de flocos e farinha. Porém, ao realizarem a moagem das cariopses em moinho Brabender e separação nas frações farelo grosso ($>1050 \mu\text{m}$), farelo fino (1050-650 μm), farinha escura (650-250 μm) e farinha clara ($<250 \mu\text{m}$) FROLICH & NYMAN (1988), observaram reduções nos teores de cinzas, valores que variaram entre 2,6 (fração de granulometria superior a 1050 μm) e 0,32 % (fração de granulometria inferior a 250 μm), bem como de minerais.

A Figura 05 ilustra o efeito de umidade de condicionamento no teor de carboidratos das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . Tanto os termos lineares quanto os quadráticos foram significativos ($p \leq 0,01$). O teor de carboidratos das frações aumentou com a elevação do conteúdo de umidade das cariopses, apresentando uma relação convexa em todas as frações estudadas. A maior concentração ocorreu na fração de granulometria inferior a 150 μm , seguida das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e superior a 532 μm .

O comportamento apresentado por este constituinte foi exatamente o inverso ao observado nos demais; enquanto os teores de proteínas, lipídios e cinzas aumentam do centro para as extremidades da cariopse, o de carboidratos diminui, que se deve ao amido. KNUCKLES et alii (1992) verificaram um aumento da concentração de amido com a diminuição do tamanho das partículas de frações de moagem de aveia, valores que variaram

entre 47 e 80,1 %. A fração de aveia de granulometria superior a 532 μm apresentou 63,96 % de carboidratos quando a caripose foi moída na umidade de 5,8 % e estes teores que aumentaram com o aumento de umidade de condicionamento e diminuição da granulometria das frações (Tabelas 11, 12 e 13).

Tabela 15 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para a composição química centesimal de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm

Resposta	Fração	Modelo ¹	R^2	Prob > F
Proteínas	>532 μm	$y = 26,3468 - 0,8074U + 0,0322U^2$	0,8852	0,0002
	532-150 μm	$y = 25,6854 - 1,8657U + 0,0746U^2$	0,9259	0,0001
	<150 μm	$y = 19,8043 - 1,1564U + 0,0446U^2$	0,9549	0,0001
Lipídios	>532 μm	$y = 10,1833 - 0,1413U + 0,0046U^2$	0,9457	0,0001
	532-150 μm	$y = 9,6838 - 0,1168U$	0,8566	0,0001
	<150 μm	$y = 8,6594 - 0,2234U + 0,0082U^2$	0,8275	0,0009
Cinzas	>532 μm	$y = 3,8502 - 0,0614U$	0,8481	0,0001
	532-150 μm	$y = 5,5248 - 0,6886U + 0,0265U^2$	0,9117	0,0001
	<150 μm	$y = 0,9088 - 0,0184U$	0,8960	0,0001
Carboidratos	>532 μm	$y = 59,2049 + 1,0989U - 0,0412U^2$	0,9166	0,0001
	532-150 μm	$y = 58,3549 + 2,8319U - 0,1091U^2$	0,9366	0,0001
	<150 μm	$y = 70,6045 + 1,4031U - 0,0530U^2$	0,9779	0,0001

1. U= umidade de condicionamento (%).

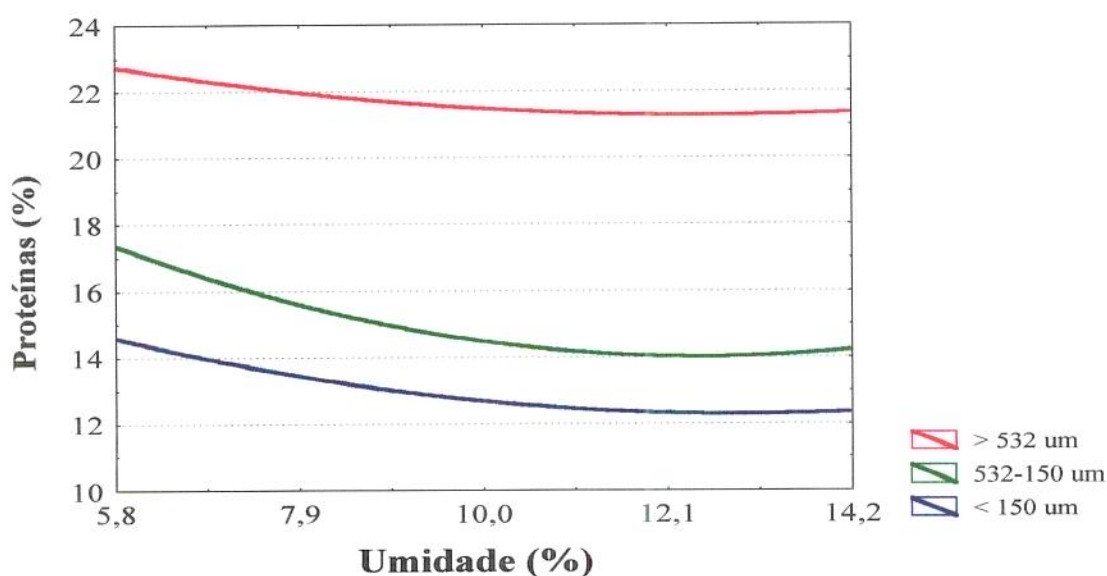


Figura 02 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de proteínas (B.S.) de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

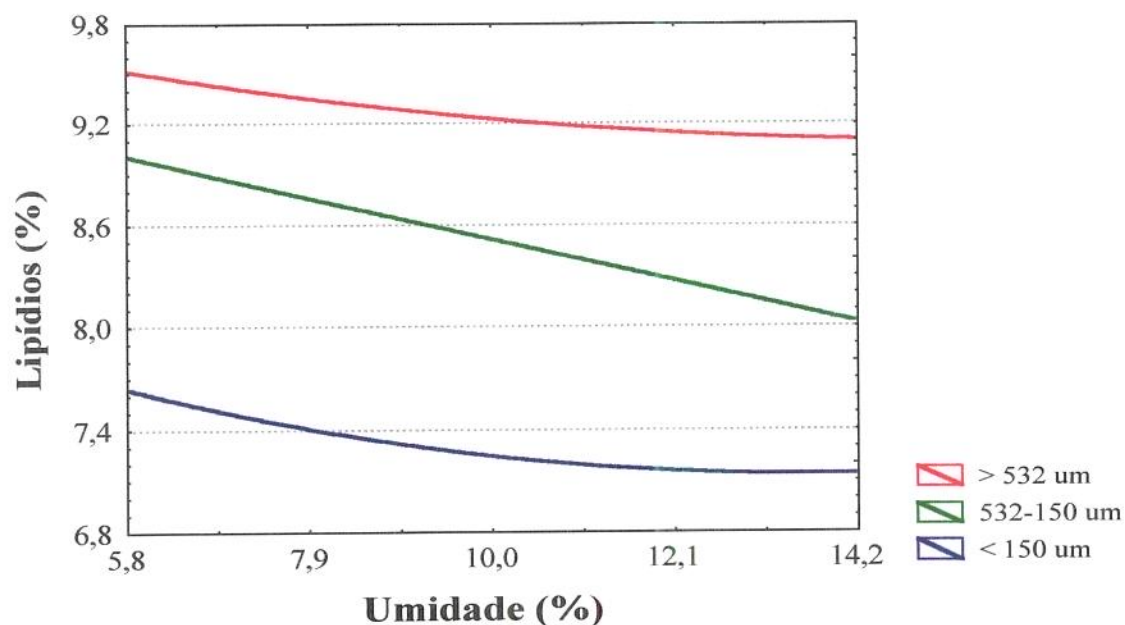


Figura 03 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de lipídios (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm.

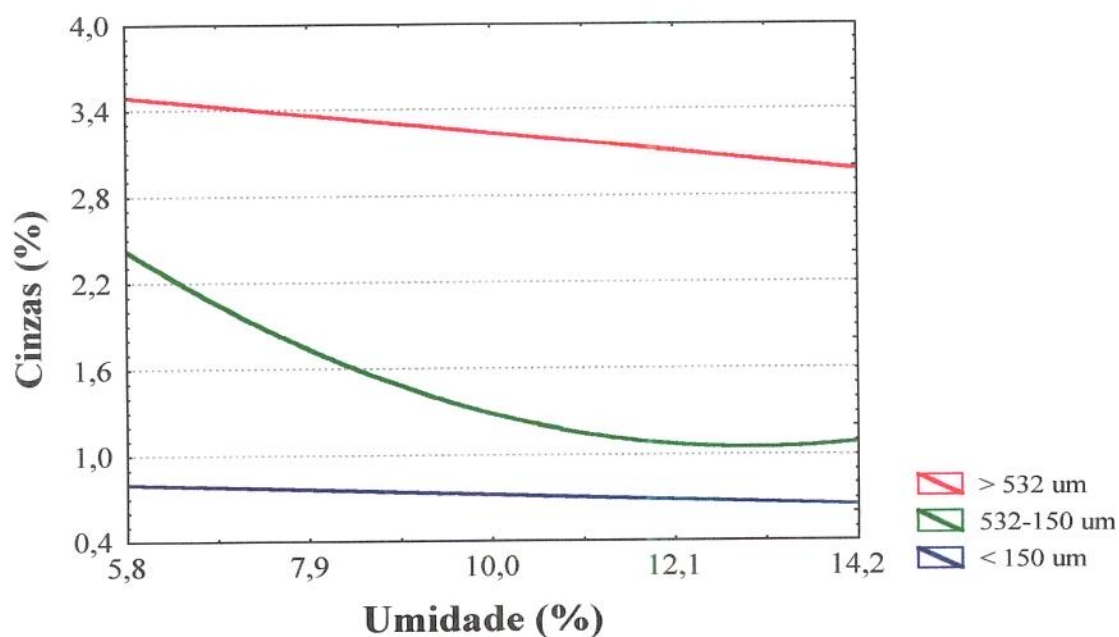


Figura 04 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de cinzas (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm.

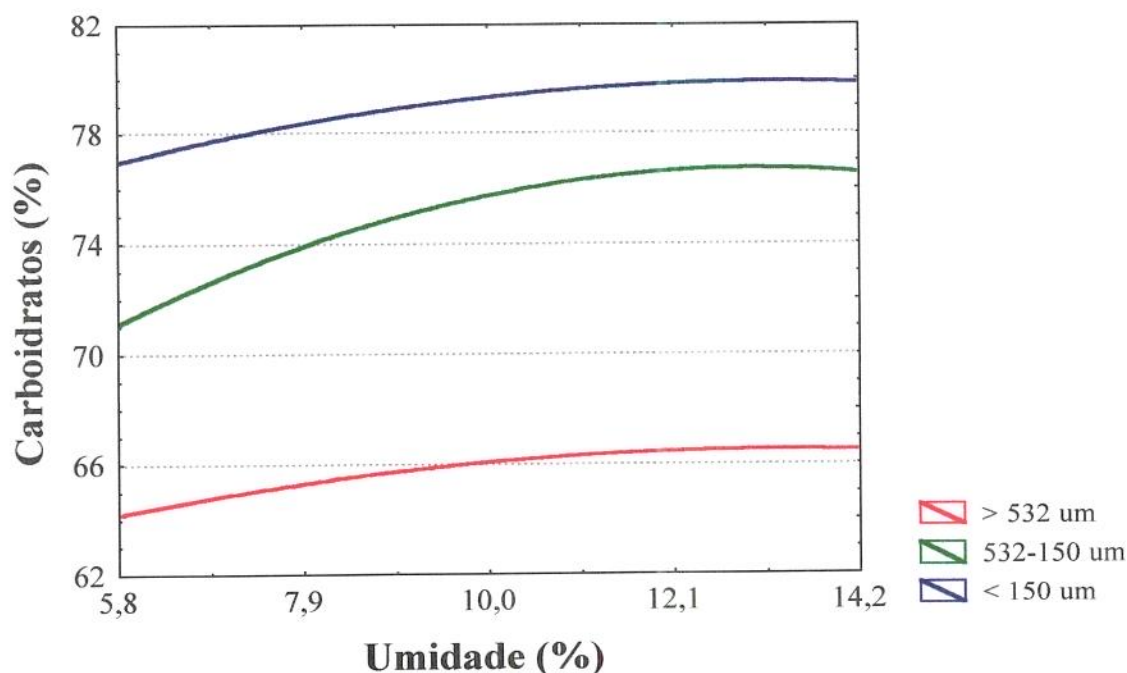


Figura 05 -Efeito de umidade de condicionamento no teor de carboidratos (B.S.) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm.

4.2.3 - Cor

Nas Tabelas 16 a 18, apresentam-se os resultados das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor das frações de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm, obtidas da moagem de cariopses de aveia, em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais estabeleceram-se os modelos de regressão completos. A partir da análise de variância (ANOVA) desses modelos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados (Tabelas 16a a 27a).

A adequabilidade dos modelos ajustados pode ser verificada pelos coeficientes de determinação, que explicam acima de 0,71 da variância total das respostas, e pela ausência de falta de ajuste dos resíduos (Tabelas 16a a 27a). Em razão desses resultados, conclui-se que os

modelos podem ser usados para prever o comportamento das respostas dentro do intervalo de variação estudado.

As variáveis respostas L^* , a^* , b^* e grau de brancura mostraram-se dependentes somente da umidade de condicionamento (Tabela 19).

A umidade, à semelhança do que ocorreu no estudo de composição centesimal, interferiu na cor dos produtos das frações de aveia estudadas. Em função da presença de maior ou menor quantidade de água, variou o rendimento de moagem das frações e, conseqüentemente, a intensidade de cor dos produtos obtidos. A temperatura de secagem, por outro lado, não afetou as respostas devido, provavelmente, ao fato de as condições usadas serem brandas e os tempos empregados, relativamente curtos. A seguir discutir-se-á o efeito de umidade de condicionamento nos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura das frações estudadas.

A Figura 06 ilustra o efeito de umidade no componente L^* de cor (luminosidade) das frações de aveia. Somente os termos lineares foram significativos ($p \leq 0,0001$). Verifica-se que a luminosidade aumentou com a elevação do conteúdo de umidade das cariopses, apresentando relação linear em todas as frações analisadas. A maior luminosidade ocorreu na fração de granulometria inferior a 150 μm , seguida das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e superior a 532 μm . A luminosidade da fração de granulometria inferior a 150 μm foi de 91,94 na moagem realizada com 14,2 % de umidade, valor significativamente superior aos 84,80 obtidos na matéria-prima nativa (Tabela 18). Assim, é possível obter uma fração de aveia relativamente clara através do aumento de umidade da cariopse e moagem em moinho de rolos.

Na Figura 07 representa-se o efeito de umidade no componente a^* de cor (vermelho) das frações de aveia estudadas. Neste componente, somente os termos lineares foram significativos ($p \leq 0,0001$). Os valores experimentais de a^* variaram entre -0,51 (verde) e 1,86 (vermelho) e diminuíram de forma linear com o aumento da umidade de condicionamento das cariopses. Os maiores valores foram verificados na fração de granulometria superior a 532 μm , seguida das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . Na moagem realizada com 14,2 % de umidade, a fração de granulometria inferior a 150 μm apresentou -0,46 de a^* (Tabela 17), valor significativamente inferior aos 0,87 obtido, na matéria-prima nativa, sendo, portanto, menos colorido.

O efeito de umidade de condicionamento das cariopses no componente b^* de frações de aveia está representado na Figura 08. Somente os termos lineares foram significativos ($p \leq 0,0001$). Os valores do componente b^* de cor das frações estudadas diminuíram de forma linear com o aumento da umidade de condicionamento. Os maiores valores foram verificados na fração de granulometria superior a 532 μm , seguida das frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . A fração de granulometria inferior a 150 μm apresentou valores de b^* entre 8,39 e 6,57, portanto, abaixo dos 10,16 verificado na matéria-prima nativa.

A Figura 09 ilustra o efeito de umidade de condicionamento no grau de brancura de frações de moagem de aveia. Os termos linear e quadrático foram significativos na fração de granulometria superior a 532 μm ($p \leq 0,03$); nas frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm ($p \leq 0,001$), somente os lineares. O grau de brancura das frações estudadas aumentou com a elevação do conteúdo de umidade das cariopses, apresentando relação convexa na fração de granulometria superior a 532 μm e linear nas demais. O maior grau de brancura ocorreu na fração de granulometria inferior a 150 μm . Este fato foi similar ao observado em luminosidade, porém os valores encontrados foram de menor grandeza, pois o grau de brancura é obtido através da relação entre o L^* da amostra (luminosidade) e o L^* padrão ou de referência.

Tabela 16 -Valores experimentais das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Componentes			Grau de Brancura
	T	U	L^*	a^*	b^*	
1	55	07	79,34	1,86	11,65	45,63
2	105	07	79,29	1,66	11,26	47,24
3	55	13	82,53	1,05	9,36	49,78
4	105	13	82,57	0,98	9,47	52,52
5	44,6	10	81,87	1,39	10,11	50,99
6	115,4	10	82,08	1,17	10,99	53,28
7	80	5,76	79,06	1,83	11,64	44,26
8	80	14,24	83,54	0,97	9,12	54,17
9	80	10	81,86	1,34	10,17	53,70
10	80	10	81,63	1,51	10,06	50,44
11	80	10	82,02	1,28	10,28	51,58
Matéria-prima			84,80	0,87	10,16	55,84

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 17 -Valores experimentais das determinações dos componentes L*, a*, b* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

Nº	Variáveis ¹		Componentes			Grau de Brancura
	T	U	L*	a*	b*	
1	55	07	82,78	0,68	10,36	56,11
2	105	07	83,64	0,85	10,57	53,41
3	55	13	87,53	0,38	8,70	62,23
4	105	13	87,94	0,27	8,08	63,67
5	44,6	10	86,06	0,61	8,91	59,25
6	115,4	10	87,11	0,47	9,06	61,04
7	80	5,76	84,89	0,94	10,62	56,48
8	80	14,24	89,57	-0,09	7,35	67,68
9	80	10	87,48	0,35	8,54	65,50
10	80	10	87,15	0,38	8,94	61,25
11	80	10	87,75	0,29	8,36	62,99
Matéria-prima			84,80	0,87	10,16	55,84

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 18 -Valores experimentais das determinações dos componentes L*, a*, b* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

Nº	Variáveis ¹		Componentes			Grau de Brancura
	T	U	L*	a*	b*	
1	55	07	89,34	0,12	8,34	65,63
2	105	07	89,50	0,07	8,20	66,60
3	55	13	91,65	-0,36	6,88	71,21
4	105	13	91,82	-0,51	6,75	72,99
5	44,6	10	90,17	-0,16	7,57	68,68
6	115,4	10	90,94	-0,29	7,35	70,47
7	80	5,76	89,72	-0,02	8,39	66,87
8	80	14,24	91,94	-0,46	6,57	71,34
9	80	10	90,62	-0,23	7,49	70,08
10	80	10	90,65	-0,19	7,46	69,32
11	80	10	90,78	-0,26	7,51	69,97
Matéria-prima			84,80	0,87	10,16	55,84

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 19 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para os componentes de cor L^* , a^* , b^* e grau de brancura de frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm

Resposta	Fração	Modelo ¹	R^2	Prob > F
L^*	>532 μm	$y = 76,0981 + 0,5337U$	0,9024	0,0001
	532-150 μm	$y = 81,0211 + 0,5697U$	0,7977	0,0002
	<150 μm	$y = 87,4097 + 0,3239U$	0,9126	0,0001
a^*	>532 μm	$y = 2,4953 - 0,1128U$	0,8982	0,0001
	532-150 μm	$y = 1,4402 - 0,0974U$	0,8071	0,0002
	<150 μm	$y = 0,4930 - 0,0701U$	0,8617	0,0001
b^*	>532 μm	$y = 13,5596 - 0,3186U$	0,9093	0,0001
	532-150 μm	$y = 12,7012 - 0,3657U$	0,8583	0,0001
	<150 μm	$y = 9,7866 - 0,2286U$	0,9818	0,0001
Brancura	>532 μm	$y = 22,7541 + 4,7865U - 0,1905U^2$	0,7865	0,0021
	532-150 μm	$y = 47,4447 + 1,3459U$	0,7115	0,0011
	<150 μm	$y = 61,7536 + 0,7625U$	0,8229	0,0001

1. U= umidade de condicionamento (%).

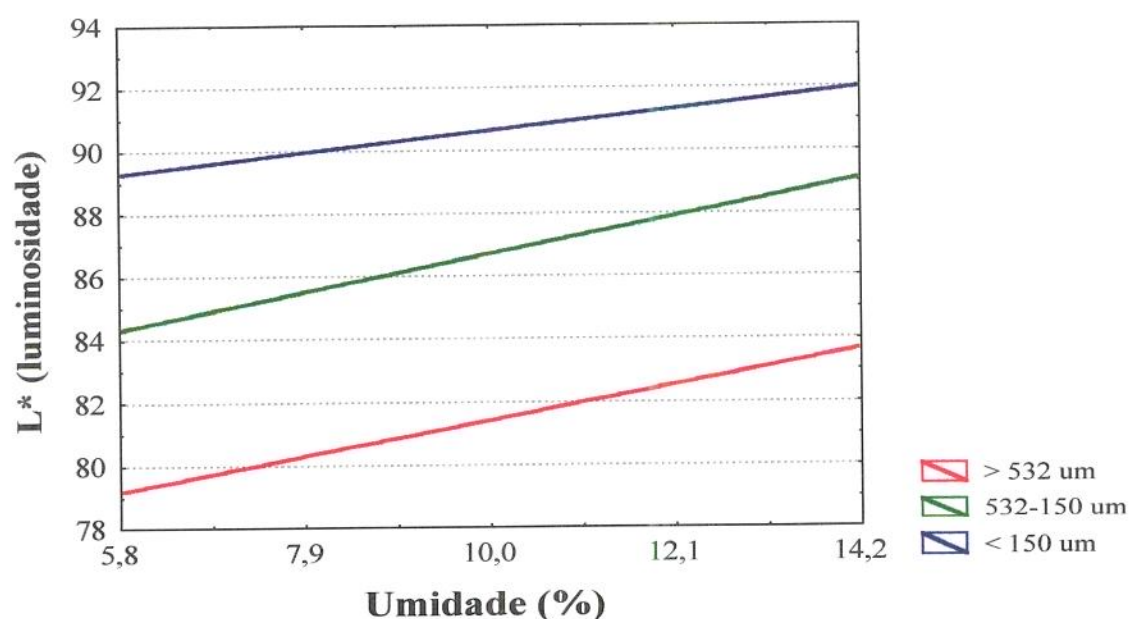


Figura 06 -Efeito de umidade de condicionamento no componente L^* de cor (luminosidade) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

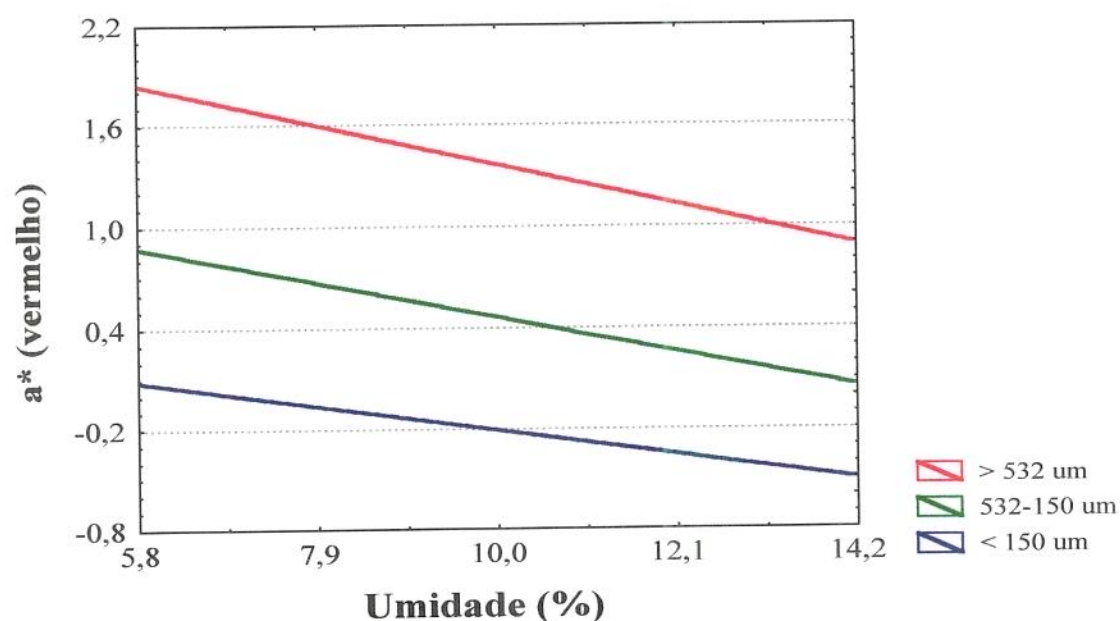


Figura 07 -Efeito de umidade de condicionamento no componente a^* de cor (vermelho) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

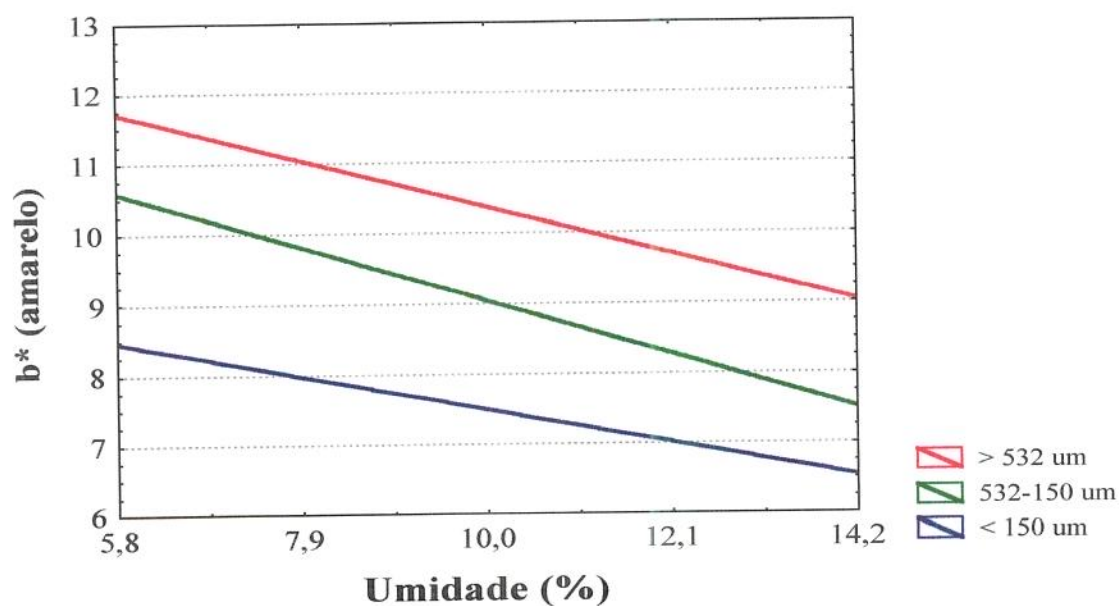


Figura 08 -Efeito de umidade de condicionamento no componente b^* de cor (amarelo) das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

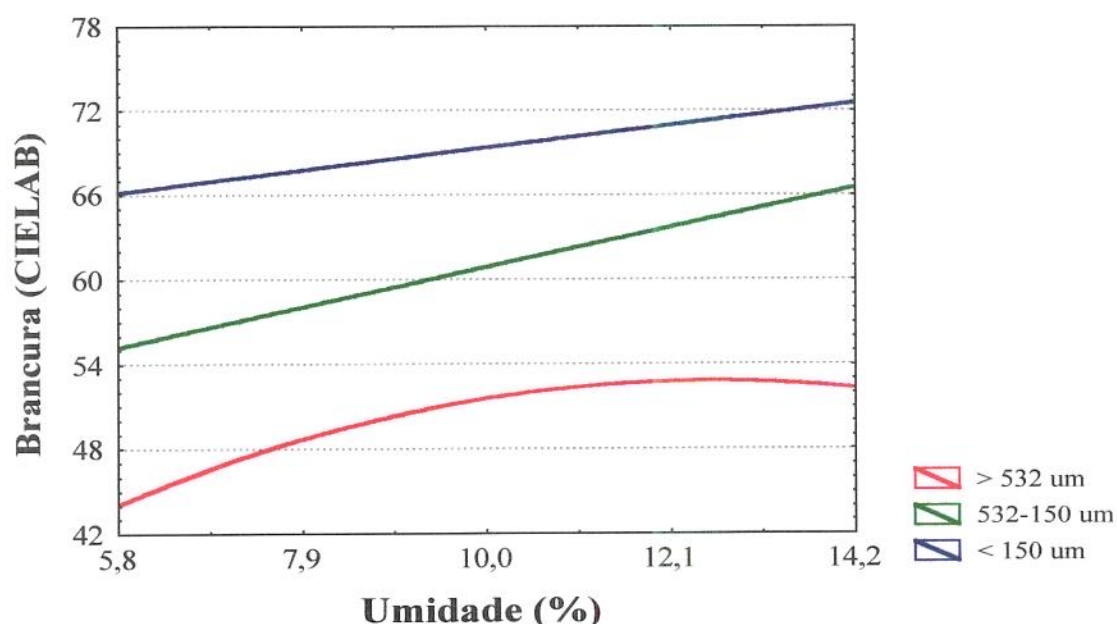


Figura 09 -Efeito de umidade de condicionamento no grau de brancura das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm.

4.2.4 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase

Nas Tabelas 20 a 22 apresentam-se os resultados das determinações das atividades de lipase e peroxidase das frações de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm, obtidas da moagem de cariopses de aveia, em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Verifica-se, pela análise de variância (Tabelas 28a a 33a), que somente os modelos de atividade de lipase foram significativos ($p \leq 0,01$). A partir da análise de variância (ANOVA), eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados (Tabelas 28a a 30a).

A adequabilidade dos modelos ajustados pode ser verificada pelos coeficientes de determinação, que explicam entre 0,89 e 0,95 da variância total das respostas, e pela ausência de falta de ajuste dos resíduos (Tabelas 28a a 30a). Em razão desses resultados, conclui-se que os modelos podem ser usados para predizer o comportamento de atividade de lipase dentro do intervalo de variação estudado.

A atividade de lipase de frações de moagem de aveia foi dependente somente da variável temperatura de secagem, termos lineares e quadráticos (Tabela 23).

Na Figura 10, representa-se o efeito de temperatura de secagem na atividade de lipase das frações de aveia estudadas. A atividade de lipase, expressa com base na percentagem de hidrólise, apresentou relação côncava, diminuindo com o aumento de temperatura (Figura 10). A fração de aveia de granulometria inferior a 150 μm foi a que apresentou menor atividade, seguida das frações de granulometrias superior a 532 μm e intermediária (532-150 μm). Mesmo que a atividade de lipase tenha sido menor na temperatura de 115,4 °C, esta não foi suficiente para inativar a enzima. Nesta temperatura, a atividade residual de lipase da fração de granulometria inferior a 150 μm foi de 43 % quando comparada com a atividade da matéria-prima nativa. Nas demais temperaturas estudadas, a atividade residual foi ainda maior, chegando a 96 % no tratamento realizado na temperatura de 44,6 °C e com 10 % de umidade da fração de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm).

A maior atividade de lipase da fração de granulometria intermediária (532-150 μm) deveu-se, provavelmente, à concentração de enzimas que é relativamente maior nesta quando comparada às demais frações estudadas. De fato, a lipase não está uniformemente distribuída na cariopse de aveia, apresentando maior quantidade no embrião, seguido de aleurona e endosperma (EKSTRAND et alii, 1992).

Em se tratando de estabilidade ao armazenamento, é fundamental a inativação das enzimas lipases, que são responsáveis pelo aumento de ácidos graxos livres dos produtos de aveia e, conseqüentemente, da menor vida de prateleira. LEE & HAMOND (1975) sugeriram que a cariopse de aveia se constitui num biorreator natural por apresentar atividade de lipase relativamente alta; assim, sua inativação e a prevenção da hidrólise lipídica devem ser os principais objetivos do processamento (LIUKKONEN et alii, 1992). Este cereal é o que apresenta maior atividade lipolítica (O'CONNOR et alii, 1992).

A atividade de peroxidase de frações de moagem, por outro lado, não variou significativamente entre as condições experimentais estudadas. Esta enzima é termoestável, por conseqüência, as temperaturas empregadas, embora tenham reduzido sua atividade, não foram suficientes para afetá-la de forma significativa. A variação encontrada entre as frações de aveia foi entre 14.824 e 16.088 Abs₄₂₀/min/g, portanto, similar aos 16.304 Abs₄₂₀/min/g da matéria-prima nativa.

A peroxidase é uma enzima utilizada como indicadora de tratamento térmico. Sua ausência no produto estudado mostra que as demais enzimas presentes também foram inativadas com o processo aplicado (ADAMS, 1991). Em branqueamento realizado através da aplicação de calor, na forma de vapor ou água quente, são necessários tempos relativamente curtos para inativar a peroxidase (BARRET et alii, 1995); contudo, quando aplicado o processo altas temperaturas e curtos tempos, a estabilidade térmica da peroxidase pode ser um fator limitante (RESENDE et alii, 1969). A peroxidase e as demais enzimas de cariopses de aveia foram inativadas pelo emprego de ar aquecido a altas temperaturas (204-315 °C) e curtos espaços de tempos (30-120 segundos). Com o processamento aplicado, a umidade das cariopses reduziu para 3-6 %, ocorrendo uma pré-gelatinização do amido (FINNERTY & LENZ, 1990).

Em nosso experimento, as temperaturas de secagem usadas foram relativamente baixas, sendo portanto, insuficientes para inativar a peroxidase, bem como as demais enzimas oxidativas e hidrolíticas das frações de moagem estudadas. Resultados semelhantes foram obtidos por EKSTRAND et alii (1992) ao estudarem a atividade das enzimas lipase e peroxidase de grãos de aveia tratados termicamente (40 e 80 °C).

Tabela 20 - Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações	
	T	U	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} /min/g)
1	55	07	17,75	15.198
2	105	07	9,76	15.456
3	55	13	16,74	15.617
4	105	13	11,02	16.088
5	44,6	10	18,42	16.052
6	115,4	10	11,27	15.754
7	80	5,76	12,37	15.694
8	80	14,24	13,54	15.906
9	80	10	12,79	15.448
10	80	10	12,52	15.852
11	80	10	12,98	15.654
Matéria-prima			20,02	16.304

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 23 -Modelo de regressão, coeficientes de determinação (R^2) e nível de significância para a atividade de lipase de frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm

Resposta	Fração	Modelo ¹	R^2	Prob > F
Lipase	>532 μm	$y = 32,5558 - 0,3740T + 0,0016T^2$	0,9533	0,0001
	532-150 μm	$y = 29,3200 - 0,2789T + 0,0011T^2$	0,89580	0,0001
	<150 μm	$y = 28,2136 - 0,3140T + 0,0013T^2$	0,9058	0,0001

1. T= temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

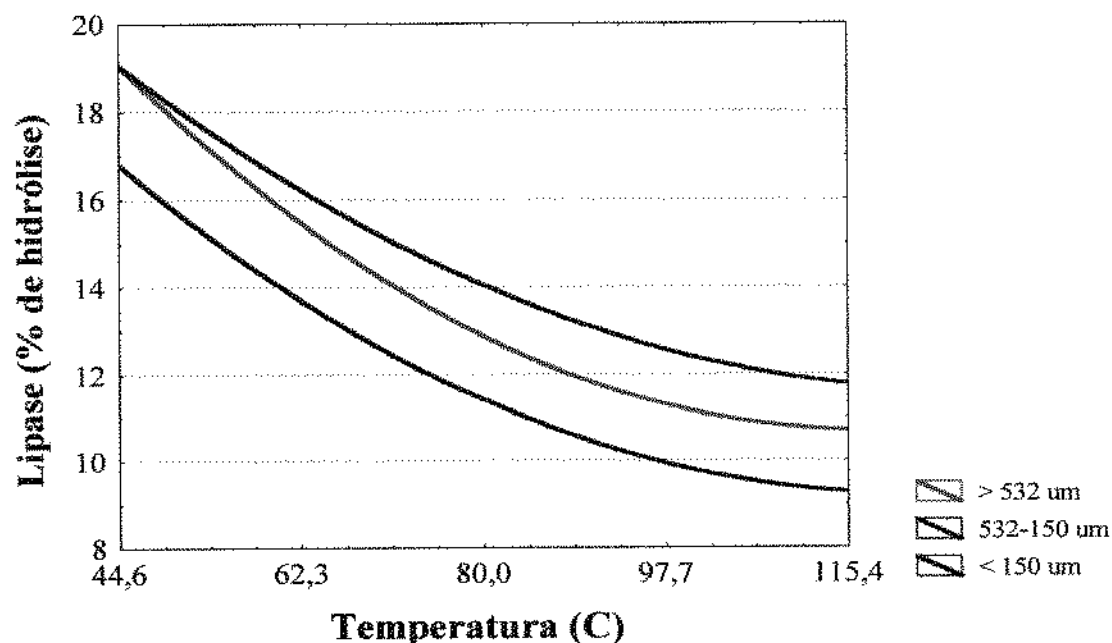


Figura 10 -Efeito de temperatura de secagem na atividade de lipase das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

4.2.5 - Estabilidade ao armazenamento

Nas Tabelas 24 a 26, apresentam-se os resultados das determinações do índice de acidez das frações de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm , obtidas da moagem de cariopses de aveia, em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos para o tempo zero de armazenamento (48 horas após a moagem). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os mesmos são significativos ($p \leq 0,01$). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados (Tabelas 34a a 36a).

A adequabilidade dos modelos ajustados pode ser verificada pelos coeficientes de determinação, que explicam entre 0,93 e 0,96 da variância total das respostas, e pela ausência de falta de ajuste dos resíduos (Tabelas 34a a 36a). Em razão desses resultados, conclui-se que os modelos podem ser usados para prever o comportamento do índice de acidez ($t = 48$ h) dentro do intervalo de variação estudado.

O índice de acidez ($t = 48$ h) das frações de moagem de aveia mostrou ser dependente de temperatura de secagem, termos lineares e quadráticos, umidade de condicionamento, termos lineares e da interação temperatura e umidade (Tabela 27).

Na Figura 11, representa-se na forma de gráficos de superfície, a variação de acidez ($t = 48$ h) em função de temperatura de secagem e umidade de condicionamento das frações de moagem de aveia. O índice de acidez, expresso com base na quantidade de KOH necessário para neutralizar um grama de óleo (mg KOH/ g de óleo), aumentou com a elevação da umidade e diminuição da temperatura em todas as frações estudadas. Os maiores valores foram observados na fração de aveia de granulometria intermediária (532-150 μm), seguida das frações de granulometrias inferior a 150 μm e superior a 532 μm .

Assim, as condições de tratamento empregadas não foram suficientes para evitar a produção de ácidos graxos livres nas frações de moagem de aveia, ocorrendo, inclusive, a formação de quantidades superiores às verificadas na matéria-prima nativa devido, provavelmente, à maior manipulação do material experimental (Tabelas 24 a 26). Grãos de aveia não danificados apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, com a desagregação parcial ou total, ocorre um rápido aumento de ácidos graxos livres (MATLSHEWSKI et alii, 1982; URQUHART et alii, 1983), a não ser que as enzimas hidrolíticas sejam inativadas (POMERANZ, 1974; EKSTRAND et alii, 1993; GUTKOSKI et alii, 1994).

Tabela 24 -Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)			
	T	U	48 horas	15 dias	30 dias	60 dias
1	55	07	17,98	106,65	108,17	129,48
2	105	07	18,08	59,99	86,07	109,25
3	55	13	30,01	159,73	162,77	158,23
4	105	13	22,37	137,78	152,10	149,38
5	44,6	10	32,36	128,64	151,31	148,04
6	115,4	10	24,17	100,83	127,04	137,79
7	80	5,76	15,55	82,01	119,61	129,76
8	80	14,24	27,58	146,48	162,82	143,59
9	80	10	19,32	127,27	152,56	152,05
10	80	10	20,20	127,82	153,31	151,87
11	80	10	18,95	128,90	153,24	151,10
Matéria-prima			14,96	99,93	129,94	140,50

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 25 -Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm)

Nº	Variáveis ¹		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)			
	T	U	48 horas	15 dias	30 dias	60 dias
1	55	07	20,62	122,56	138,15	156,60
2	105	07	21,22	80,73	95,77	103,05
3	55	13	41,12	158,01	163,59	158,92
4	105	13	22,99	143,99	139,27	143,31
5	44,6	10	33,17	123,99	159,59	155,33
6	115,4	10	27,04	116,28	122,50	143,86
7	80	5,76	16,61	99,20	121,95	128,69
8	80	14,24	28,28	136,62	164,05	152,16
9	80	10	19,45	144,18	152,87	151,43
10	80	10	21,69	147,62	153,98	152,16
11	80	10	20,74	145,58	153,64	150,00
Matéria-prima			14,96	99,93	129,94	140,50

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 26 - Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm

N ^o	Variáveis ¹		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)			
	T	U	48 horas	15 dias	30 dias	60 dias
1	55	07	20,46	115,76	142,52	144,27
2	105	07	19,03	75,72	105,63	119,24
3	55	13	31,29	156,51	158,17	155,13
4	105	13	21,33	104,85	129,68	135,43
5	44,6	10	32,51	130,06	160,07	155,95
6	115,4	10	26,16	105,21	122,88	140,51
7	80	5,76	17,64	98,58	126,67	128,27
8	80	14,24	24,30	119,48	153,62	147,32
9	80	10	18,68	127,59	150,46	147,55
10	80	10	19,56	129,81	151,60	148,96
11	80	10	19,76	127,73	150,85	147,76
Matéria-prima			14,96	99,93	129,94	140,50

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 27 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de acidez durante o armazenamento das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm

Resposta	Fração	Modelo ¹	R ²	Prob >F
t = 48 h	>532 μm	$y = 29,49 - 0,7504T + 3,4492U + 0,006T^2 - 0,03TU$	0,9340	0,0011
	532-150 μm	$y = 11,84 - 0,6535T + 6,6073U + 0,007T^2 - 0,06TU$	0,9563	0,0003
	<150 μm	$y = 40,36 - 0,9353T + 3,2113U + 0,007T^2 - 0,03TU$	0,9517	0,0004
15 dias	>532 μm	$y = 49,89 + 9,2503U - 0,0034T^2$	0,9144	0,0001
	532-150 μm	$y = 81,31 + 6,3272U - 0,0023T^2$	0,6561	0,0140
	<150 μm	$y = 14,56 + 23,2810U - 0,9596T^2 - 0,004U^2$	0,8425	0,0034
30 dias	>532 μm	$y = 79,08 + 7,5616U - 0,0023T^2$	0,7599	0,0033
	532-150 μm	$y = 115,14 + 5,3494U - 0,0038T^2$	0,8655	0,0003
	<150 μm	$y = 151,54 - 0,0062T^2 + 0,0402T - 0,0023TU$	0,8670	0,0003
60 dias	>532 μm	$y = 44,92 + 18,7772U - 0,0015T^2 - 0,7569U^2$	0,7526	0,0158
	532-150 μm	$y = 225,44 - 1,8914T - 0,4331T^2 + 0,1464TU$	0,8241	0,0049
	<150 μm	$y = 169,39 - 0,6095T + 0,0277U$	0,7351	0,0049

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 21 - Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 μm)

Nº	Variáveis ¹		Determinações	
	T	U	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} /min/g)
1	55	07	18,09	15.573
2	105	07	12,79	15.764
3	55	13	16,32	15.738
4	105	13	12,70	15.480
5	44,6	10	19,35	15.011
6	115,4	10	11,35	15.094
7	80	5,76	12,37	15.638
8	80	14,24	14,72	15.538
9	80	10	14,10	15.110
10	80	10	14,75	15.565
11	80	10	14,33	15.576
Matéria-prima			20,02	16.304

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 22 - Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 μm

Nº	Variáveis		Determinações	
	T	U	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} /min/g)
1	55	07	16,57	14.824
2	105	07	9,59	15.186
3	55	13	14,55	15.405
4	105	13	9,76	15.520
5	44,6	10	15,90	15.224
6	115,4	10	8,58	14.861
7	80	5,76	10,09	15.433
8	80	14,24	12,03	15.880
9	80	10	11,22	15.185
10	80	10	11,05	15.013
11	80	10	10,60	15.366
Matéria-prima			20,02	16.304

1. T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

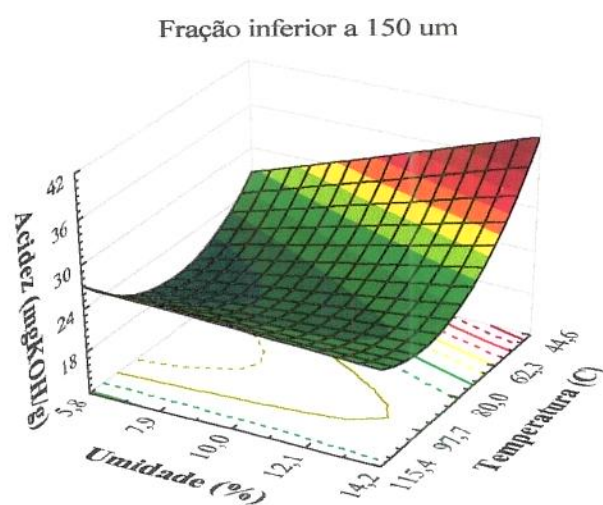
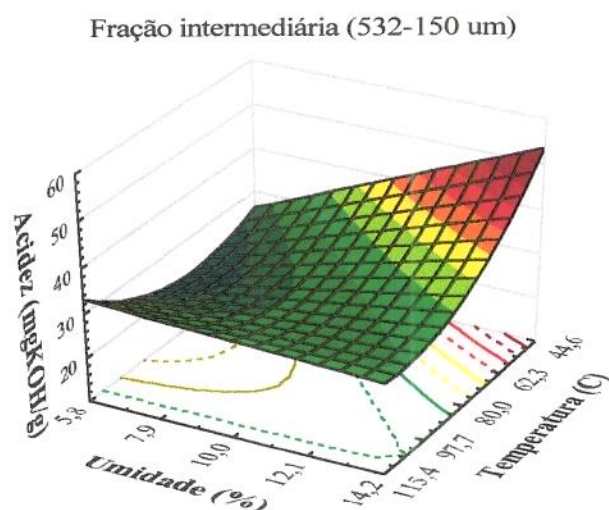
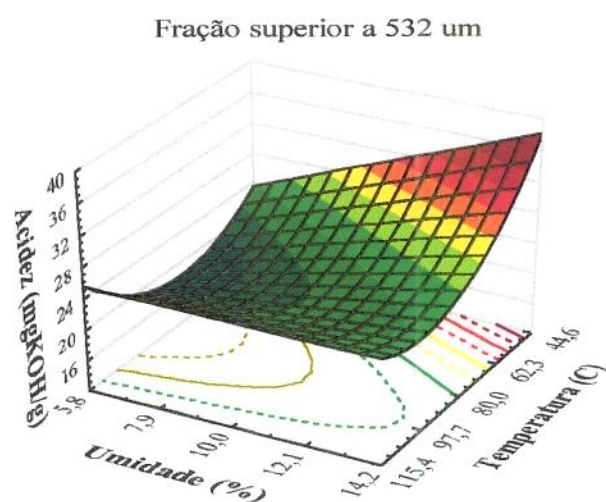


Figura 11 -Efeito de umidade de condicionamento e temperatura de secagem no índice de acidez das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm , intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm .

Como a aveia apresenta grande capacidade de produção de ácidos graxos livres, é necessário estabilizar os seus produtos. Isto, porém, não ocorreu nas condições em que foi realizado este experimento.

Na avaliação do índice de acidez durante o armazenamento de frações de moagem de aveia, verifica-se, pelos modelos ajustados (Tabela 27), a influência das variáveis temperatura e umidade de condicionamento, esta última interferindo de forma mais significativa ($p \leq 0,05$).

Ao avaliar o efeito de umidade no índice de acidez das frações de aveia, tempos zero, 15, 30 e 60 dias, observa-se pela Tabela 27 que temperatura e umidade interferiram significativamente ($p \leq 0,05$) no índice de acidez das frações de moagem. Quanto ao efeito do tempo de armazenamento (Figura 12), verifica-se que o índice de acidez das frações de aveia estudadas aumentou rapidamente até trinta dias, permanecendo estável a partir deste tempo.

FREY & HAMMOND (1975) verificaram que cariopses de aveia moídas e armazenadas à temperatura ambiente dobraram o conteúdo de ácidos graxos livres após 24 horas de armazenamento. SAHASRABUDHE (1982) observou um aumento de 12,3 mg de ácidos graxos livres/g de cariopses de aveia completamente moídas e incubadas a 38 °C por 30 minutos.

A acidez do óleo das frações de aveia estudadas foi similar aos resultados obtidos na matéria-prima nativa (Tabelas 24 a 26). Isso mostra que as temperaturas de secagem empregadas foram insuficientes para paralisar a produção de ácidos graxos livres nas frações de aveia, ou seja, as enzimas hidrolíticas não foram inativadas.

Os peróxidos, por outro lado, não foram detectados nas condições experimentais empregadas. A ausência de peróxidos, mesmo em amostras com quantidades relativamente altas de ácidos graxos livres e armazenadas por sessenta dias, mostra que a aveia possui boa capacidade antioxidativa.

GARDNER & INGLET (1971) atribuíram o baixo índice de peróxidos, em germe de trigo não tratado termicamente, à atividade da ácido linoléico hidroperóxido-isomerase, enzima que catalisa a conversão dos hidroperóxidos em produtos não determinados pelo índice de peróxidos. WELCH (1977) também não detectou peróxidos após 330 dias de armazenamento de grãos de aveia nuda e com casca tratados termicamente (50 e 100 °C) e armazenados nas

umidades entre 12 e 18 %. Segundo o autor, a não-formação de peróxidos deveu-se ao fato de ter sido mantidos os grãos de aveia intactos durante o armazenamento.

O óleo de grãos de aveia não tratados termicamente apresenta boa estabilidade ao armazenamento, o que se deve aos antioxidantes. DURKEE & THIVIERGE (1977) detectaram a presença de ácido felúrico e de outros compostos fenólicos na cariopse de aveia. FORSELL et alii (1990) atribuíram a estabilidade ao armazenamento do óleo e de suas frações de aveia às propriedades antioxidativas, principalmente a dos polifenóis, como os ácidos caféico e felúrico e dos tocoferóis, que, embora presentes em quantidades relativamente pequenas, contribuem para esse efeito. PETERSON (1995), estudando a estabilidade e concentração de tocóis (vitamina E) em produtos de aveia, verificou que, após sete meses de armazenamento à temperatura ambiente, os tocóis degradaram em todos os produtos processados, mantendo-se, entretanto, intactos em grãos não tratados termicamente. Além dos fenólicos e tocóis citados, ZHOU & ERDMAN (1995) sugeriram que o ácido fítico também tem ação antioxidante, atuando na redução da peroxidação de lipídios e como conservante de cereais processados.

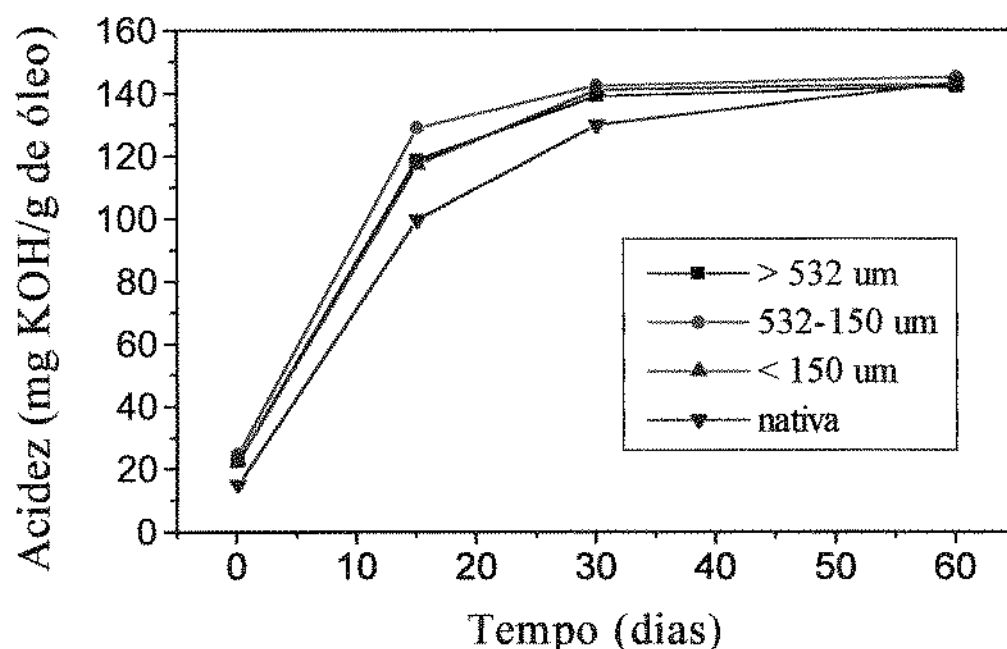


Figura 12 -Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 µm, intermediária (532-150 µm) e inferior a 150 µm em comparação com a matéria-prima nativa.

4.3 -Caracterização Química e Nutricional de Frações de Aveia de Granulometrias Superior e Inferior a 532 μ m

Cariopses de aveia da cultivar UPF 16 foram moídas em moinho de rolos e as frações de granulometrias superior e inferior a 532 μ m caracterizadas através de diferentes análises físicas, químicas e nutricionais.

4.3.1 - Composição química

O estudo da composição centesimal aproximada foi realizado através de análises quantitativas referentes à constituição da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μ m e inferior a 532 μ m, em termos de proteína bruta, lipídios, cinzas, umidade, fibra alimentar, açúcares totais e amido. Os valores encontrados foram analisados através da análise de variância univariada (Tabelas 37a e 38a) e, nos modelos significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade (Tabela 28).

Ressalta-se que a concentração dos constituintes químicos, na fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m, foi significativamente maior ($p \leq 0,05$) quando comparada à fração de granulometria inferior a 532 μ m, exceto amido, que foi menor. Este fato é perfeitamente explicável, porque, na fração de granulometria superior a 532 μ m, ocorre concentração das porções externas da cariopse, mais rica em proteínas, lipídios, cinzas e fibras. O amido é o único componente que está presente em menores concentrações nessa fração.

O conteúdo de proteína bruta da fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m foi relativamente alto (16,75 %), o que é interessante nutricionalmente. Na fração de granulometria inferior a 532 μ m, o valor encontrado foi de 10,96 %.

Os lipídios também estão presentes em quantidades relativamente altas. Os teores encontrados foram 8,90 na fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m e 7,27 % na fração de granulometria inferior a 532 μ m.

A fibra alimentar de aveia, importante devido aos seus efeitos na saúde humana, mostrou-se significativamente superior na fração de granulometria superior a 532 μ m (16,62 %), sendo 6,92 fibra solúvel e o restante fibra insolúvel.

A concentração de açúcares totais da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm foi estatisticamente superior quando comparada à de granulometria inferior a 532 μm .

Como proteínas, lipídios e fibra alimentar estão presentes em maiores quantidades na aveia, proporcionalmente, ocorre uma diminuição de amido, quando comparado aos demais cereais (AMAN & HESSELMAN, 1984). A menor concentração de amido foi encontrada na fração de granulometria superior a 532 μm (45,57 %), seguida da cariopse e da fração de granulometria inferior a 532 μm (66 %).

A aveia fornece um aporte energético relativamente alto (Tabela 28). A fração de aveia de granulometria superior a 532 μm apresentou maior energia bruta (435 Kcal/100 g), valor significativamente superior ($p \leq 0,05$) quando comparado à fração de granulometria inferior a 532 μm . Quanto à energia metabolizável, calculada a partir dos constituintes proteína bruta, lipídios, amido, açúcares totais e fibra alimentar solúvel, verificaram-se resultados inversos. A fração de aveia de granulometria superior a 532 μm apresentou valor calórico de 362,23 Kcal/100 g, significativamente inferior ($p \leq 0,05$) ao encontrado na fração de granulometria inferior a 532 μm .

Tabela 28 - Composição centesimal aproximada e valor energético da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm

	Cariopse (%)	Frações de aveia	
		>532 μm (%)	<532 μm (%)
Proteína bruta (N x 6,25)	14,04b	16,75a	10,96c
Lipídios totais	8,01b	8,90a	7,27c
Cinzas	1,78b	2,55a	0,81c
Umidade	9,42b	9,17b	9,99a
Fibra alimentar total	11,54b	16,62a	4,36c
Fibra alimentar solúvel	5,47b	6,92a	2,43c
Fibra alimentar insolúvel	6,13b	9,90a	1,98c
Açúcares totais	1,14b	1,32a	0,61c
Amido ¹	54,03b	45,57c	66,00a
	(Kcal/100 g)	(Kcal/100 g)	(Kcal/100 g)
Energia bruta	426,63b	435,30a	412,90c
E.metabolizável	371,03b	362,23c	385,46a

Médias seguidas com as mesmas letras na horizontal são estatisticamente iguais;

1. calculado por diferença.

A composição em ácidos graxos do óleo da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm encontra-se na Tabela 29. Somente os ácidos graxos mirístico e oléico apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as frações estudadas (Tabelas 40a e 41a); os menores teores foram encontrados na fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm (Tabela 29).

Do total de ácidos graxos presentes no óleo das frações de aveia, 20,67 % corresponderam aos ácidos graxos saturados e 79,33 aos ácidos graxos insaturados. Linoléico, oléico e palmítico foram os maiores representantes, com 39,44, 38,63 e 18,27 %, respectivamente. Esses somam 96,34 % do total de ácidos graxos presentes, em média. Mirístico, esteárico, araquidônico e linolênico contribuíram com apenas 3,66 %, em média.

O índice de acidez das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm foi relativamente elevado, em torno de 10 mg KOH/g de óleo (Tabela 29). Esses altos níveis de ácidos graxos livres devem-se, provavelmente, às características agrônômicas da cultivar, às condições de colheita e ao longo período de armazenamento das cariopses de aveia.

Tabela 29 - Composição em ácidos graxos do óleo da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm

		Frações de aveia		
		Cariopse (%)	>532 μm (%)	<532 μm (%)
Mirístico	C14:0	0,11a	0,11a	0,08b
Palmitico	C16:0	18,21ns	18,21	18,32
Esteárico	C18:0	1,39ns	1,41	1,48
Araquídico	C20:0	0,94ns	0,80	0,92
Total saturados		20,65ns	20,53	20,80
Oléico	C18:1	38,99a	38,90a	38,35b
Linoléico	C18:2	39,16ns	39,38	39,49
Linolênico	C18:3	1,20ns	1,19	1,36
Total insaturados		79,35ns	79,47	79,20
Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)		10,04ns	10,09	10,09

Médias seguidas com as mesmas letras na horizontal são estatisticamente iguais;
ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

A composição em aminoácidos da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm , bem como o padrão teórico da FAO/WHO/UNU (1985) encontram-se na Tabela 30. Observa-se que os aminoácidos valina, metionina, fenilalanina, triptofano, ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina e alanina apresentaram variações significativas ($p \leq 0,05$) entre as frações estudadas (Tabelas 42a a 45a). A fração de aveia de granulometria superior a 532 μm apresentou maior conteúdo desses aminoácidos, exceto triptofano, seguido da cariopse e da fração de granulometria inferior a 532 μm . Verifica-se que treonina e lisina ficaram abaixo do padrão teórico da FAO/WHO/UNU (1985).

Tabela 30 - Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm

	Cariopse (g/16g N)	Frações de aveia		Padrão ¹ da FAO (g/16g N)
		>532 μm (g/16g N)	<532 μm (g/16g N)	
Valina	4,57b	5,10a	4,72ab	3,5
Isoeucina	3,50ns	3,46	3,60	2,8
Leucina	5,10b	6,61ab	6,67a	6,6
Treonina	2,89ns	3,23	3,12	3,4
1/2 Cistina	1,82ns	2,00	1,71	
Metionina	1,50b	1,77a	2,22a	
Sulf. totais	3,32	3,77	3,93	2,5
Tirosina	3,34ns	3,78	3,36	
Fenilalanina	4,68b	5,56a	4,75b	
Arom. totais	8,02	9,34	8,11	6,3
Histidina	1,75ns	2,00	2,16	1,9
Lisina	3,62ns	3,72	3,40	5,8
Triptofano	1,81a	1,50b	1,47b	1,1
Ácido aspártico	6,71ab	7,38a	5,60b	
Serina	3,96ns	4,38	3,97	
Ácido glutâmico	17,55a	18,87a	14,45b	
Prolina	4,83ns	5,42	5,00	
Glicina	4,47ab	4,75a	4,27b	
Alanina	3,75b	4,54a	3,64b	
Arginina	5,53ns	6,40	6,77	

Médias seguidas com as mesmas letras na horizontal são estatisticamente iguais;

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$);

1. padrão teórico da FAO/WHO/UNU, 1985; crianças de 2 a 5 anos.

4.3.2 - Valor nutritivo das proteínas

O valor nutritivo das proteínas da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm foi avaliado através das determinações de lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro*, escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (Tabela 31). Lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro* e MEAAI apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as frações analisadas (Tabelas 45a e 46a).

A lisina disponível da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm foi significativamente inferior quando comparada à fração de granulometria inferior a 532 μm . A percentagem de disponibilidade de lisina, calculada através da relação entre lisina disponível e total, foi de 76 e de 91 % nas frações de granulometrias superior e inferior a 532 μm , respectivamente. Esses valores estão abaixo dos 98 % encontrados por CARPENTER et alii (1989) em estudo sobre a percentagem de disponibilidade de lisina em aveia.

Quanto à digestibilidade da proteína *in vitro*, observa-se que o maior valor (84,46 %) foi apresentado pela fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 532 μm , porém esse não diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) da fração de granulometria superior a 532 μm .

O escore químico das frações estudadas foi de 61,64 %, em média, portanto, acima dos encontrados em trigo (44,3 %), arroz (56,4 %) e milho (50,8 %) (PEDERSEN & EGGUM, 1983a, 1983b e 1983c).

Tabela 31 - Lisina disponível, digestibilidade da proteína *in vitro*, escore químico, índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse e das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm

	Cariopse	Frações de aveia	
		>532 μm	<532 μm
Lisina disponível (g/16 g N)	3,09a	2,82b	3,08a
Digestib. <i>in vitro</i> (%)	86,12a	79,69b	84,46ab
Escore químico (%)	62,25ns	64,14	58,54
MEAAI (%)	70,80ab	74,13a	66,63b
NPU-C (%)	60,98ns	59,07	56,28

Médias seguidas com as mesmas letras na horizontal são estatisticamente iguais;
ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

O índice de aminoácidos essenciais modificado (MEAAI) estima o valor biológico da proteína em estudo considerando todos os aminoácidos essenciais, ao passo que o escore químico avalia a partir do primeiro aminoácido limitante. O MEAAI apresentou valores ligeiramente superiores quando comparados ao escore químico. O maior índice foi verificado na fração de aveia de granulometria superior a 532 μm (74,13 %), seguido da cariopse e da fração de granulometria inferior a 532 μm . Isto se deveu ao melhor perfil de aminoácidos essenciais da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm . Porém, ficou abaixo dos 86,9 e 91,1 % reportados por ZARCADAS et alii (1995) em estudo sobre o valor nutricional de duas novas cultivares de aveia.

O coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C), obtido a partir do produto entre a digestibilidade da proteína *in vitro* das frações de moagem de aveia de granulometrias superior a 532 μm e inferior a 532 μm e MEAAI correspondente, foi de 57,7 %, em média. Embora as diferenças não tivessem sido significativas estatisticamente ($p>0,05$), o maior valor encontrado na fração de granulometria superior a 532 μm deveu-se ao MEAAI, significativamente superior nesta fração.

4.4 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão nas Propriedades Físicas, Químicas, Funcionais e Nutricionais de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Superior a 532 μm

Amostras da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm foram extrusadas em extrusor monorosca e avaliado o efeito das variáveis umidade inicial e temperatura de extrusão nas características dos produtos extrusados e moídos.

4.4.1 - Densidade aparente

A densidade aparente está relacionada indiretamente com o grau de expansão dos produtos extrusados (FALCONE & PHILLIPS, 1988); quanto menos denso, maior a expansão e vice-versa. A taxa de expansão é o resultado da expansão longitudinal e perpendicular ao fluxo de extrusão, ao passo que a densidade aparente implica a expansão em todas as direções. A densidade aparente é utilizada para calcular a capacidade estática de armazenamento; especificação dos produtos em embalagens e no transporte.

Na Tabela 32, apresentam-se os resultados de densidade aparente dos produtos extrusados e moídos da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, realizou-se a análise de variância (ANOVA) (Tabela 47a). Observa-se pelo modelo de regressão que nenhuma das variáveis estudadas foi significativa ($p>0,05$). A densidade aparente dos produtos extrusados variou entre 449 e 457 kg m^{-3} , com valor médio de 454,63 kg m^{-3} , portanto, acima dos 438 kg m^{-3} encontrados na matéria-prima nativa e de granulometria semelhante ($<500 \mu\text{m}$). A densidade dos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm ficou abaixo dos valores citados por LEWIS (1993) para produtos moídos de aveia (513), trigo (785) e amido de milho (560), porém foi semelhante ao da farinha de trigo (449 kg m^{-3}).

RYU & WALKER (1992) verificaram que a densidade e a expansão de extrusados de farinha de trigo foram fortemente afetadas pela adição de gordura. Segundo HUBER (1991), a farinha de aveia requer alta energia específica para que possa obter boa expansão. Observações semelhantes foram realizadas por EXTRUDED (1990).

4.4.2 - Energia mecânica específica

Na Tabela 32, apresentam-se os resultados de energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas, valores que variaram entre 0,0042 e 0,0168 kWh/kg.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o mesmo é significativo ($p\leq 0,05$) e que o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p= 0,0909$), sendo significativa ($p\leq 0,05$) somente a variável umidade (Tabela 48a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p>0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 33. Verifica-se que tanto o termo linear ($p= 0,0016$) quanto o quadrático ($p= 0,0014$) da variável umidade interferiram significativamente no modelo

ajustado. O coeficiente de determinação (0,92) mostra uma variância alta explicada pelo modelo. Portanto, pode-se concluir que a equação da Tabela 33 é adequada para representar a energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A energia mecânica específica fornecida ao extrusor é dissipada nas formas de energia térmica e de energia utilizada para aumentar a pressão. Os efeitos combinados dessas formas de energia vão provocar modificações na viscosidade do produto, sendo estas muito variáveis, uma vez que não são consequência apenas de uma fusão, senão que também dependem da ocorrência de reações físicas e químicas, tais como gelatinização e dextrinização (HARPER, 1979).

Tabela 32 -Valores experimentais das determinações de densidade aparente, energia mecânica específica (EME), absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	Densidade (kg m^{-3})	EME (kWh kg^{-1})	IAA (g gel/g m.s.)	ISA (%)
1	90	17	456	0,0113	4,16	7,18
2	150	17	455	0,0099	5,57	5,45
3	90	24	455	0,0054	4,58	7,12
4	150	24	449	0,0042	6,35	5,48
5	77,6	20,5	457	0,0079	4,54	8,95
6	162,4	20,5	454	0,0062	5,78	5,38
7	120	15,5	454	0,0168	5,17	6,09
8	120	25,5	455	0,0053	5,27	5,65
9	120	20,5	456	0,0050	5,23	6,02
10	120	20,5	455	0,0057	5,36	5,86
11	120	20,5	455	0,0059	5,49	6,07
Matéria-prima			438	-	2,75	11,68

1. T= temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 33 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob > F
EME	$y = 0,1063 - 0,0088U + 0,00019U^2$	0,9194	0,0001
IAA	$y = 2,7594 + 0,0120T + 0,0004TU$	0,8654	0,0003
ISA	$y = 19,2225 - 0,1873T + 0,00063T^2$	0,9450	0,0001

1. T = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$) e U = umidade da matéria-prima (%).

O fornecimento de energia para o extrusor provém do motor, na forma de energia mecânica, e das resistências elétricas, na forma de energia térmica. O total de energia consumida pelo processo é a soma das duas fontes de energias, sendo de maior valor a mecânica (HARPER, 1979). A energia mecânica específica, calculada a partir do torque, dependendo do caso, pode estar mais ou menos próxima ao valor da energia total. Segundo YACU (1990), esta é a forma mais adequada para se determinar a energia mecânica, ou seja, através da medida do torque transmitido pelo parafuso do extrusor e multiplicação pela velocidade de rosca.

A variação de energia mecânica em função de umidade da matéria-prima está representada na Figura 13. Verifica-se que a eficiência do processo, em termos de consumo de energia, apresentou uma relação quadrática côncava, aumentando com a elevação de umidade, ou seja, o gasto de energia mecânica específica é menor. Os valores obtidos neste estudo são da mesma ordem de grandeza dos relatados por GROSSMANN (1986). HSIEH et alii (1989) verificaram que a energia específica, ou seja, a soma das energias térmica e mecânica não foi afetada pela adição de fibra de trigo (30 %) ou fibra de aveia (20 %) em farinha de milho extrusada num extrusor de dupla rosca, porém, com o aumento da velocidade de parafuso de 200 para 300 rpm, a energia específica aumentou.

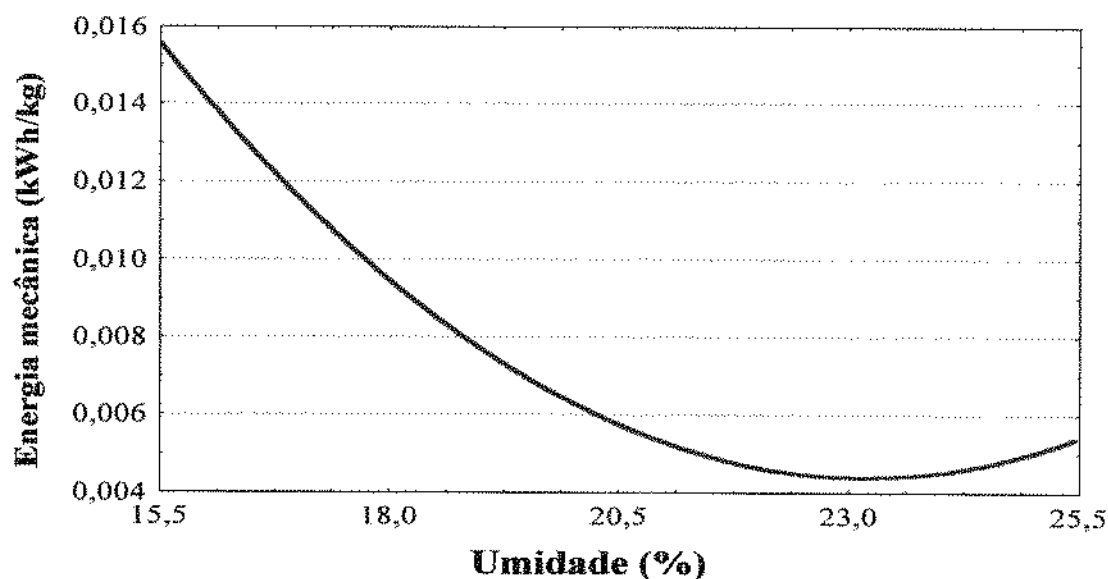


Figura 13 -Efeito de umidade da matéria-prima na energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

Assim, para reduzir o consumo de energia, mesmo que os dados correspondam a uma parte da energia total, é necessário extrusar o material com alta umidade (23 a 25 %), não importando a temperatura escolhida, pelo menos nas condições em que foi realizado este experimento.

4.4.3 - Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

Na Tabela 32 apresentam-se os resultados de IAA e ISA dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os mesmos são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$). Somente a variável temperatura foi significativa ($p \leq 0,05$), tanto em IAA quanto ISA (Tabelas 49a e 50a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 33. Na resposta IAA, o termo linear de temperatura e a interação foram significativos ($p \leq 0,10$), enquanto em ISA ambos os termos da variável temperatura interferiram significativamente. Os coeficientes de determinação (acima de 0,87) mostram uma variância alta explicada pelos modelos. Portanto, pode-se concluir que as equações da Tabela 33 estão adequadas para representar o IAA e o ISA dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

O índice de absorção de água depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos para se ligar às moléculas de água e da capacidade de formação de gel das macromoléculas (FAUBION et alii, 1982). Os grupos hidrofílicos disponíveis aumentam com o grau de gelatinização, enquanto a capacidade de formação de gel diminui com a dextrinização. O IAA correlaciona-se bem com a viscosidade inicial de pasta porque apenas os grânulos de amido danificados e gelatinizados absorvem água e incham à temperatura ambiente, resultando em aumento de viscosidade, ou seja, o IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos inchados (ANDERSON et alii, 1969).

Por outro lado, é importante considerar a composição química da fração estudada, isto é, teores relativamente altos de proteínas, fibra alimentar e lipídios e teores baixos de amido. O comportamento de IAA é função da interação dos constituintes químicos no sistema alimentar estudado. Com a elevação de temperatura, ocorrem aumentos de solubilização de amido e de proteínas desnaturadas. Ainda deve ser considerado o efeito de fibra alimentar, principalmente em relação às alterações que ocorrem quanto à solubilidade e nos teores das fibras solúvel e insolúvel com o processo de extrusão.

A Figura 14 representa o diagrama de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação do IAA em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com os aumentos de temperatura e umidade, o IAA aumentou de forma linear; a variável temperatura teve efeito mais pronunciado ($p=0,0002$). Já a interação foi significativa ($p=0,0834$) devido, provavelmente, ao forte efeito de temperatura de extrusão.

Os valores de IAA variaram entre 4,16 e 6,35 g de gel/g de matéria seca, portanto, acima dos 2,75 verificados na matéria-prima nativa. Os valores, no entanto, são baixos devido, provavelmente, ao uso de condições brandas de extrusão. Assim, os grupos hidrofílicos não foram liberados o suficiente para se ligarem às moléculas de água. MERCIER & FEILLET (1975) relataram que amidos de trigo, milho e arroz apresentaram aumentos de IAA com a elevação da temperatura de extrusão até 180 °C, diminuindo a seguir. Correlação direta entre teor de umidade e IAA foi constatada. Observações semelhantes foram realizadas por LINKO et alii (1981) em extrusão de amido de cevada e por GOMES & AGUILERA (1983), estudando amido de milho.

O índice de solubilidade em água é um parâmetro que reflete a degradação total sofrida pelo grânulo de amido, ou seja, a somatória dos efeitos de gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização. O aumento da solubilidade verificado em produtos extrusados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina em conseqüência da gelatinização, quando as condições são mais brandas, e da formação de compostos de baixo peso molecular, quando estas são mais drásticas (COLONNA et alii, 1984). GOMEZ & AGUILERA (1983) mostraram que a gelatinização do amido produz significativas alterações estruturais, destruindo as cadeias de polímeros e permitindo sua liberação. Com o aumento do grau de gelatinização, aumenta a fragmentação do amido e, com isso, diminui a absorção de água. Em contraste, o ISA

depende da quantidade de moléculas solúveis e está relacionado com a degradação do amido. Assim, o ISA aumenta com o aumento da severidade do tratamento (OLKKU et alii, 1984).

Neste estudo, a temperatura foi a única variável significativa e mostrou-se inversamente proporcional ao ISA, ou seja, quanto maior a temperatura de extrusão menor o valor de ISA (Figura 15). Os valores experimentais de ISA variaram entre 5,45 e 8,95 % de matéria seca, ficando abaixo dos 11,68 verificados na matéria-prima nativa. Esses resultados diferem dos reportados por vários autores (MERCIER & FEILLET, 1975; GOMES & AGUILERA, 1983; OLKKU et alii, 1984), que encontraram uma relação direta com a temperatura de processamento, isto é, quanto maior a temperatura maior o ISA.

Estudos mostram que o amido de aveia diferencia-se dos demais amidos de cereais por apresentar menor afinidade ao iodo, maior força de inchamento e menor solubilidade (PATON, 1979; MacARTHUR & DAPPOLONIA, 1979). Na avaliação do grau de cozimento, deve-se considerar ainda que as propriedades de gelatinização diferem entre amidos puros e farinhas. Conteúdos relativamente altos de lipídios, proteínas e fibra alimentar da farinha de aveia podem influenciar no grau de cozimento do amido (JANSSON & LINDAHL, 1991).

ANDERSON (1982), estudando o grau de cozimento de grits de trigo, cevada, centeio e aveia por rolos secadores, com temperaturas variando entre 121 e 299 °C e umidades entre 15 e 25 %, observou que a aveia não seguiu o comportamento apresentado pelos demais cereais cozidos em relação aos índices de absorção de água e de solubilidade em água. Na aveia, o IAA, após apresentar um pequeno decréscimo, aumentou com a temperatura de cozimento, fenômeno que não ocorreu no IAA dos demais cereais nos quais declinou após atingir um ponto máximo. Nas temperaturas acima de 260 °C, a aveia apresentou início de escurecimento e aparência similar à dos demais cereais. O ISA, após apresentar pequeno aumento (149 °C), diminuiu para um mínimo entre 204-218 °C, voltando a aumentar com a elevação da temperatura de cozimento. Ao comparar os valores de IAA dos diferentes cereais cozidos a 25 % de umidade inicial, o autor verificou que a curva da aveia se alterou muito pouco com a variação de temperatura. Este fato pode ser atribuído às quantidades relativamente maiores de lipídios e fibra alimentar em sua composição química. O ISA dos cereais estudados comportou-se de forma similar, ou seja, pouca variação foi observada até 204 °C, aumentando a seguir com a elevação de temperatura. Trigo e

centeio apresentaram os maiores valores de ISA (288 °C). Em aveia, foi observado um pico aos 149 °C, fato que não ocorreu nos demais cereais, além de os valores de ISA serem relativamente menores.

Os resultados obtidos por ANDERSON (1982) no estudo do cozimento de aveia por rolos secadores foram similares aos deste trabalho e ajudam a elucidar os comportamentos dos índices de absorção de água e de solubilidade em água. Como as condições de extrusão foram brandas, o tratamento aplicado não foi suficiente para aumentar o ISA dos produtos extrusados de aveia. Na matéria-prima nativa, o índice de solubilidade foi de 11,68 %, valor que diminuiu com o aumento da temperatura de extrusão e não voltou a aumentar como foi constatado por ANDERSON (1982) ao usar temperaturas mais elevadas.

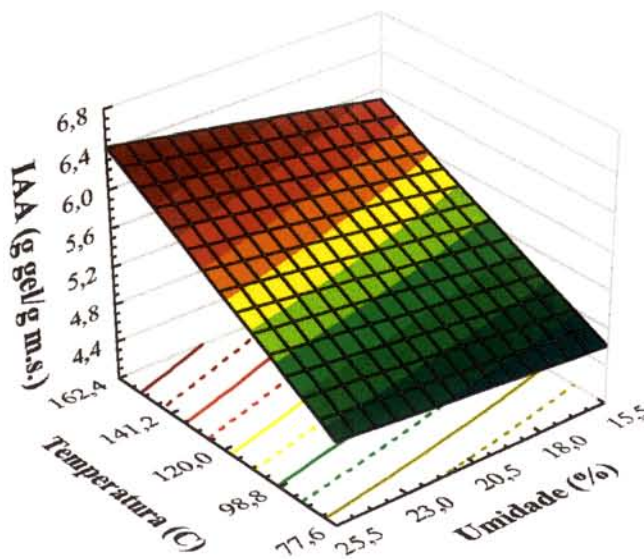


Figura 14 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

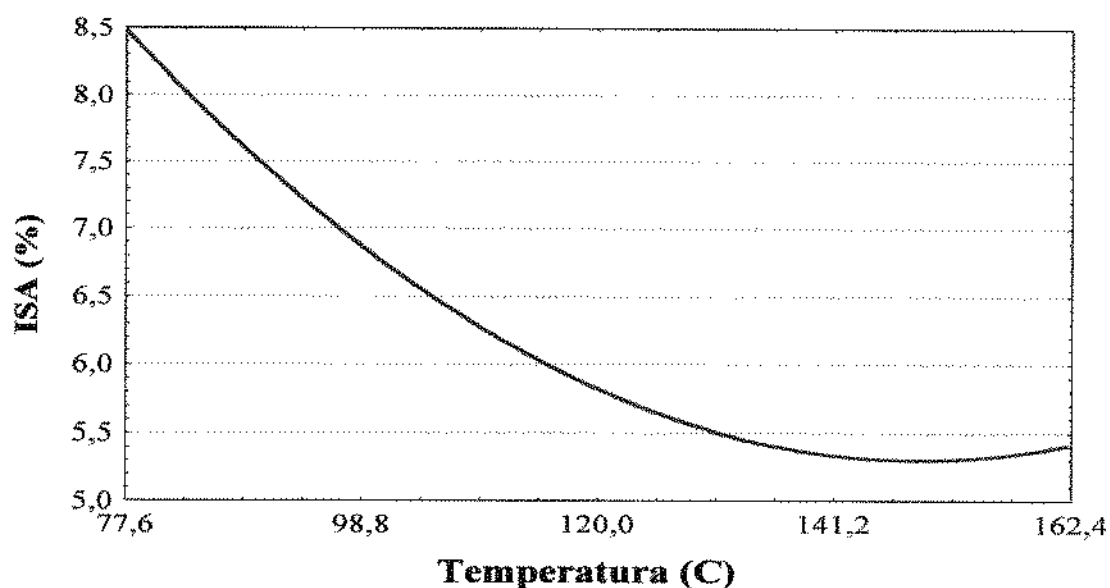


Figura 15 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.4.4 - Viscosidade

A viscosidade é outra forma de avaliar o grau de cozimento de materiais farináceos e amidos ocorrido durante o tratamento térmico. Nas suspensões de farinhas de cereais, a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de amido para absorver água, inchar, romper-se e difundir-se no meio líquido. As modificações dos grânulos de amido pelo processo de gelatinização, entendido como a transição endotérmica de estado da ordem para a desordem no grânulo de amido, determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais. Portanto, estudou-se o efeito de umidade da matéria-prima e de temperatura de extrusão sobre a gelatinização dos produtos da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , medindo-se as mudanças de viscosidade no analisador rápido de viscosidade.

Na Tabela 34, apresentam-se os resultados das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC) e viscosidade final a 50 °C (VF) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se pela análise de variância (ANOVA), que VI e VTC são significativos ($p \leq 0,05$), enquanto que os resultados de VF não variaram significativamente entre si ($p > 0,05$).

Ambas as variáveis estudadas foram significativas ($p \leq 0,05$) em VI; já, para VTC, somente a variável temperatura (Tabelas 51a a 53a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 35. Na variável resposta VI, a interação foi significativa ($p = 0,0004$); para VTC, o termo quadrático da variável temperatura de extrusão ($p = 0,0005$). Como os coeficientes de determinação explicam acima de 0,76 da variância total dos modelos e não ocorreu falta de ajuste dos resíduos ($p > 0,05$), pode-se concluir que as equações da Tabela 35 são adequadas para a representação das viscosidades inicial e máxima dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

Tabela 34 -Valores experimentais das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	VI ₅₀ (UVA)	VTC ₉₅ (UVA)	VF ₅₀ (UVA)	Força gel (g)
1	90	17	6,12	268,57	352,51	32,7
2	150	17	7,75	186,86	332,32	19,1
3	90	24	8,36	234,29	322,63	32,2
4	150	24	54,88	211,96	356,49	30,0
5	77,6	20,5	7,24	262,34	359,45	34,5
6	162,4	20,5	34,78	167,89	374,24	20,4
7	120	15,5	8,87	209,71	394,03	35,8
8	120	25,5	25,70	237,76	396,78	34,1
9	120	20,5	15,50	242,20	423,62	41,9
10	120	20,5	20,60	254,80	434,01	40,5
11	120	20,5	11,02	233,99	417,69	43,5
Matéria-prima			5,00	212,26	407,29	11,6

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%);

2. UVA= unidades viscoamilográficas.

Tabela 35 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC) e força do gel 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob > F
VI ₅₀	$y = -30,7396 + 0,01991TU$	0,7692	0,0004
VTC ₉₅	$y = 291,6456 - 0,0042T^2$	0,7589	0,0005
Força do gel	$y = -51,4853 + 1,6409T - 0,0075T^2$	0,7076	0,0073

1. T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

A Figura 16 representa o gráfico de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação de viscosidade inicial em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com os aumentos de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, a VI aumentou de forma linear. Em baixos níveis de umidade o atrito mecânico é relativamente alto, provocando uma diminuição no tamanho das moléculas de amido. Ao aumentar a umidade, o atrito mecânico diminui e, conseqüentemente, as moléculas são relativamente maiores, o que possibilita uma maior absorção de água, ou seja, um aumento da viscosidade inicial com a elevação de umidade da matéria-prima. OWUSU-ANSAH et alii (1983) e EL-DASH (1983), estudando materiais amiláceos, constataram que a viscosidade inicial é dependente, principalmente, de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão.

A viscosidade inicial de farinhas nativas é praticamente nula. Ao realizar tratamento térmico por extrusão, o amido gelatiniza, absorve água a frio e, quanto maior o grau de gelatinização, maior será a capacidade de formar uma pasta, gel ou líquido viscoso à temperatura ambiente (EL-DASH et alii, 1983). O amido gelatinizado caracteriza-se pela ausência de pico de gelatinização, pelo declínio contínuo de viscosidade na temperatura entre 50 e 95 °C e pelo aumento progressivo de viscosidade durante o ciclo de resfriamento.

A viscosidade inicial depende do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da extensão da degradação molecular, propriedade que é importante na preparação de alimentos instantâneos. Porém, ao usar condições severas de processamento, além da gelatinização, também

ocorre a dextrinização do amido; com isso, diminui a viscosidade, pois a capacidade de retenção de água tem relação inversa com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina (GOMEZ & AGUILERA, 1983). A extensão de hidrólise do amido em produtos extrusados aumentou com a elevação de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima; contudo, ao aumentar a velocidade de parafuso, a hidrólise diminuiu (LIKIMANI et alii, 1990).

Os valores de VI variaram entre 6,12 e 54,88 UVA, portanto, foram superiores aos 5,00 UVA verificados na matéria-prima nativa. Esses valores são baixos, o que mostra que, mesmo nos tratamentos mais drásticos, a pré-gelatinização foi incipiente. A viscosidade inicial comportou-se de forma similar ao observado no índice de absorção de água, estando de acordo com o que foi constatado por GROSSMANN (1986).

CHIANG & JOHNSON (1977), estudando alguns dos fatores que afetam a gelatinização do amido de farinha de trigo, verificaram que a elevação da temperatura de extrusão aumentou a gelatinização do amido em umidades entre 18 e 27 %; a umidade, por outro lado, não afetou a gelatinização em temperaturas abaixo de 80 °C. Com o aumento da velocidade de rotação (rpm) e diâmetro de matriz, diminuiu o grau de gelatinização. ANDERSON (1982) observou completa gelatinização do amido de farinha de aveia (ausência de pico) processada em rolos secadores e a temperaturas acima de 288 °C.

As condições usadas neste trabalho, ou seja, temperaturas relativamente baixas (77,6-162,4 °C) e matriz de grande diâmetro (6 mm) não permitiram que se obtivessem produtos com alta viscosidade inicial, mesmo nas condições mais drásticas de processamento. Deve-se considerar também o alto teor de lipídios presentes na matéria-prima, os quais inibem a gelatinização; além de um possível efeito das gomas e mucilagens.

A variação de viscosidade à temperatura constante em função da temperatura de extrusão é representada na Figura 17. Verifica-se que a VTC apresentou relação quadrática convexa, diminuindo com o aumento de temperatura, ou seja, a viscosidade máxima diminuiu. Esta propriedade está relacionada com os amidos, que têm como característica funcional altos valores de viscosidade a quente, sendo empregados como espessantes (sopas). Assim, quanto maior a viscosidade menor será a concentração requerida. Contudo, quando ocorre a destruição da

estrutura do grânulo de amido pelo processamento, ele perde a capacidade de inchar ao ser aquecido em água; conseqüentemente, apresenta baixa viscosidade máxima a 95 °C.

EL-DASH et alii (1983) aplicaram a metodologia de superfície de resposta para avaliar a viscosidade de pasta de extrusados de amido de milho. A viscosidade a quente, para cada teor de umidade, aumentou com a elevação de temperatura até um nível crítico, diminuindo a seguir. Para cada temperatura, incrementos na umidade resultaram em aumentos de viscosidade.

Neste estudo, os valores de VTC variaram entre 167,89 e 268,57 UVA, ficando próximos dos 212,26 verificados na matéria-prima nativa. Esses resultados mostram que, mesmo nos tratamentos mais drásticos, a pré-gelatinização foi incipiente. Os amilogramas confirmam, também, a existência de grânulos intactos nas amostras extrusadas devido à ocorrência de pico na faixa entre 60 e 75 °C, como o observado na matéria-prima nativa, em conseqüência do entumescimento provocado pela gelatinização. A amostra processada a 162,4 °C foi exceção, apresentando resultado diferenciado quando comparada aos demais tratamentos (Figura 18).

Os valores de viscosidade final ou viscosidade a frio, após o cozimento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, variaram entre 352 e 434 UVA, sendo portanto, similares aos 407 verificados na matéria-prima nativa. A VF é uma medida da retrogradação do amido que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo e das moléculas (EL-DASH, 1981). O fenômeno de retrogradação é, basicamente, uma cristalização decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido através da formação de novas pontes de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e géis pouco solúveis.

Amido de milho com baixo conteúdo de umidade e extrusado à alta temperatura apresentou baixo grau de retrogradação, enquanto amido com moderada ou alta umidade (19-26 %) e extrusado em temperatura moderada (125-190 °C) produziu extrusados com alta viscosidade a frio após o cozimento (EL-DASH et alii, 1983). Segundo MERCIER & FEILET (1975), aumentos de temperatura de extrusão (65-250 °C) na umidade de 18,2 % causaram a diminuição da viscosidade final de produtos extrusados de grãos de milho. Este fato também foi verificado por ANDERSON (1982) ao processar farinha de aveia por rolos secadores.

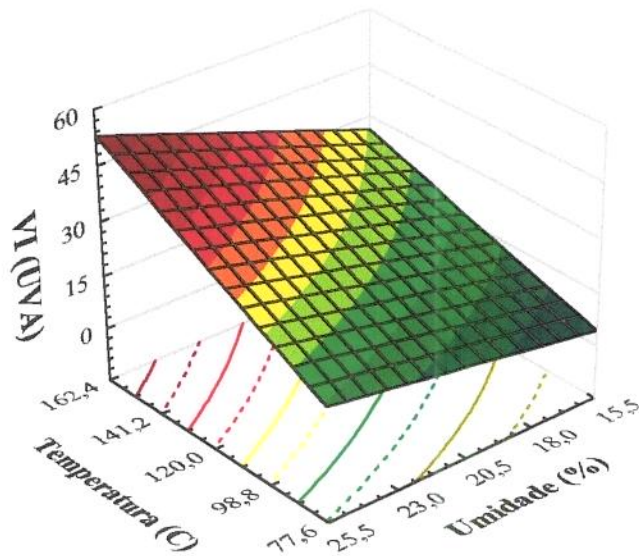


Figura 16 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade inicial a 50 °C (VI) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

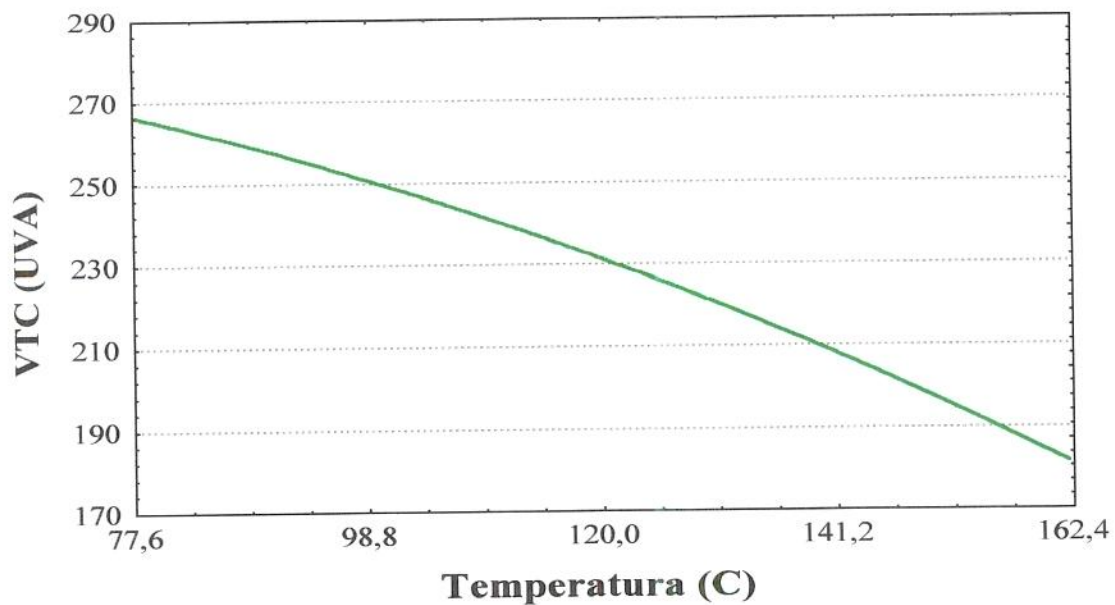


Figura 17 -Efeito de temperatura de extrusão na viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

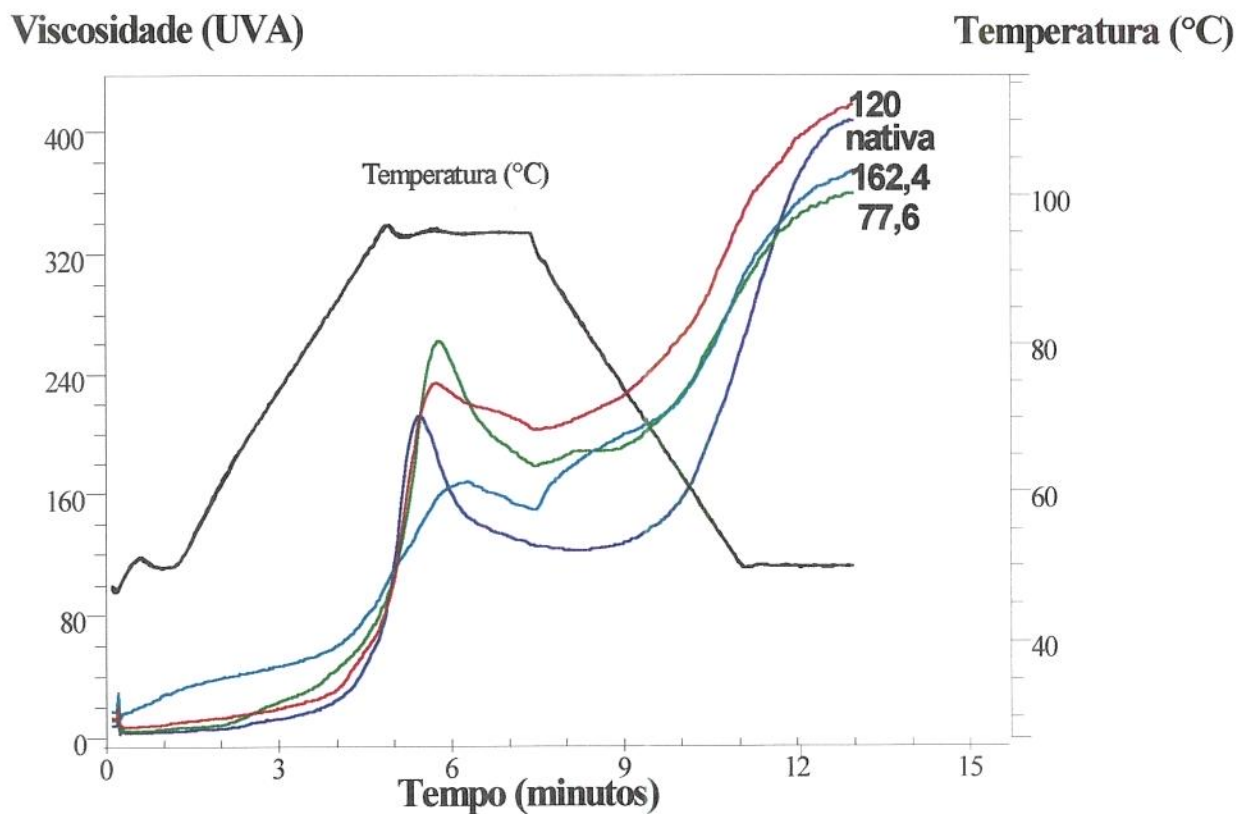


Figura 18 -Viscosidade (UVA) da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm nativa e extrusada na umidade de 20,5 % e nas temperaturas de 77,6, 120 e 162,4 $^{\circ}\text{C}$.

4.4.5 - Força do gel a 4 $^{\circ}\text{C}$

Suspensão de amido nativo não apresenta características de gel. Com o aquecimento, os grânulos de amido absorvem água rapidamente, o que leva à formação de uma pasta viscosa ou gel cuja rigidez varia em função do amido, da concentração, do pH, dos demais constituintes presentes e das condições de gelatinização. Ao resfriar a pasta de amido gelatinizado, a viscosidade aumenta, formando-se um gel firme, fenômeno conhecido como retrogradação. Porém, se o tratamento térmico for excessivo, essa propriedade pode ser afetada negativamente, pois a força do gel depende do tipo, do peso e do tamanho das moléculas presentes (MATZ, 1962). A retrogradação é freqüentemente observada na pasta de amido gelatinizado e armazenada à baixa temperatura. As mudanças que acontecem durante a retrogradação são de considerável importância no uso tecnológico do amido, principalmente em produtos como pudins, recheios de

tortas e sobremesas, nos quais é desejável um amido de alta força do gel para que apresentem estabilidade quando conservados sob refrigeração.

Na Tabela 34, apresentam-se os resultados de força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, obtidos em função das condições experimentais empregadas, valores que variaram entre 19,1 e 41,9 g.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o mesmo é significativo ($p \leq 0,05$) e que o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p = 0,1618$). Ambas as variáveis estudadas foram significativas (Tabela 54a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 35. Verifica-se que os termos linear ($p = 0,0127$) e quadrático ($p = 0,0624$) da variável temperatura interferiram significativamente no modelo ajustado. O coeficiente de determinação (0,71) mostra uma variância que pode ser considerada alta em vista do tipo de propriedade avaliada. Portanto, pode-se concluir que a equação da Tabela 35 é adequada para representar a força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, dentro do intervalo de variação estudado.

A variação de força do gel a 4 °C em função de temperatura de extrusão está representada na Figura 19. Verifica-se que o gel apresentou relação quadrática convexa, diminuindo com o aumento de temperatura, ou seja, o gel apresenta menor viscosidade. Este fato foi semelhante ao observado na viscosidade à temperatura constante.

CHIANG & SOSULSKI (1985) determinaram, comparativamente, a força do gel de cereais, utilizando o Rotovisco Haake, modelo RV-3, a 90 rpm de velocidade, preparados pelo cozimento de suspensão de 10 % de farinha em banho de água fervente por 30 minutos e resfriados durante 18 horas a 5 °C. A farinha de milho apresentou maior força de gel, seguida do arroz, da aveia, do trigo e da batata. Na farinha de aveia desengordurada, o valor obtido foi relativamente maior (4.280 cps), se comparado ao da aveia integral (3.604 cps).

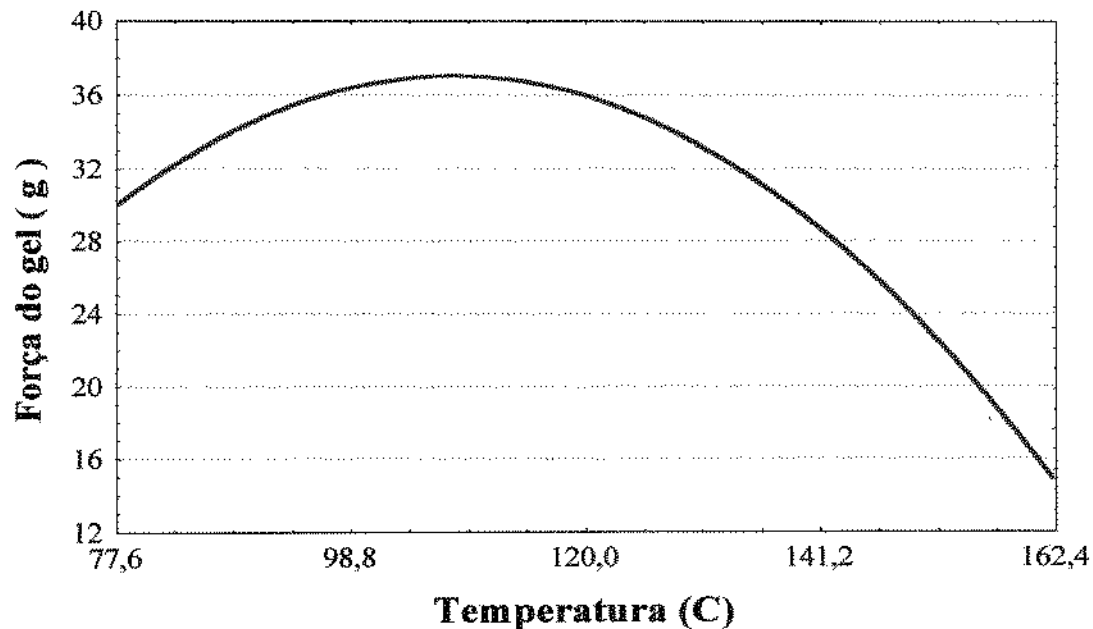


Figura 19 -Efeito de temperatura de extrusão na força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m.

4.4.6 - Cor

O desenvolvimento de cor durante a extrusão fornece informações importantes sobre o grau de tratamento térmico, além de ser uma das características de qualidade dos alimentos extrusados que são consumidos sem processamento posterior (LINKO et alii, 1981). Segundo NOGUCHI et alii (1982), a cor de extrusados desenvolve-se paralelamente à perda de lisina. Essas conclusões foram obtidas na extrusão da mistura de farinha de trigo, amido de milho, sacarose, sal e isolado protéico de soja por extrusor de dupla rosca. O efeito da variável temperatura foi mais significativo quando realizada a extrusão na umidade de 18 %.

SGARAMELLA & AMES (1993) verificaram que o aumento de temperatura de extrusão ou das quantidades de glicose e lisina, bem como a diminuição de umidade da matéria-prima aumentaram a intensidade de cor dos extrusados, resultando em diminuição dos valores de L* (luminosidade) e em aumentos de a* (intensidade de vermelho) e b* (intensidade de amarelo).

Os valores das determinações dos componentes L*, a*, b* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m, obtidos em função das condições experimentais empregadas, encontram-se na Tabela 36. De

acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que esses são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$). Somente a variável temperatura foi significativa ($p \leq 0,05$) nas determinações de cor dos produtos extrusados (Tabelas 55a a 58a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Tabela 36 -Valores experimentais das determinações dos componentes L*, a*, b* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	L*	a*	b*	Brancura
1	90	17	83,03	1,79	12,95	50,23
2	150	17	80,79	2,04	14,33	45,59
3	90	24	81,21	2,10	14,06	46,41
4	150	24	79,94	1,97	14,41	43,96
5	77,6	20,5	82,66	1,63	12,67	49,90
6	162,4	20,5	80,47	1,95	13,86	45,21
7	120	15,5	79,86	1,86	14,33	43,99
8	120	25,5	78,29	2,20	15,04	41,23
9	120	20,5	79,34	2,03	15,29	42,52
10	120	20,5	79,94	1,97	14,49	44,06
11	120	20,5	79,60	2,07	14,92	44,31
Matéria-prima			79,78	1,72	14,26	44,01

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 37 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância dos componentes L*, a*, b* e grau brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob > F
L*	$y = ,10 - 0,3528T - 0,1821U + 0,0014T^2$	0,8661	0,0011
a*	$y = 4741 + 0,0307T + 0,0258U - 0,00012T^2$	0,7056	0,0283
b*	$y = 23 + 0,2258T + 0,0788U - 0,0009T^2$	0,8987	0,0007
Brancura	$y = 8958 - 0,0027TU$	0,4269	0,0292

1. T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 37. Nas variáveis respostas L^* , a^* e b^* , os termos lineares e quadráticos de temperatura e os termos lineares de umidade foram significativos ($p \leq 0,10$). Os coeficientes de determinação (0,71-0,90) mostram uma variância alta explicada pelos modelos. Portanto, pode-se concluir que as equações dos componentes L^* , a^* e b^* estão adequadas para representar a cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

Quanto ao grau de brancura, verifica-se pela Tabela 37 que a interação foi significativa ($p \leq 0,10$), porém a baixa variância explicada pelo coeficiente de determinação (0,43) indica que a equação deve ser empregada apenas para o estudo da tendência de variação da resposta.

A Figura 20 ilustra, em forma de diagrama de superfície, o efeito de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no componente L^* de cor (luminosidade) da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm . Verifica-se que a luminosidade diminuiu de forma linear com o aumento de umidade inicial da matéria-prima. Com o aumento de temperatura de extrusão, a luminosidade diminuiu até atingir o ponto de mínimo, em torno de 120 °C, aumentando a seguir. A menor luminosidade ocorreu nos produtos extrusados a 120 °C e com 25,5 % de umidade. Produtos mais claros foram obtidos a baixas umidades e em temperaturas diferentes de 120 °C. Quanto ao grau de brancura, observa-se comportamento similar ao encontrado em luminosidade (Figura 21), ou seja, com os aumentos de umidade e temperatura, aumentou a intensidade de cor dos produtos extrusados, porém os valores foram de menor grandeza.

Nas Figuras 22 e 23, representam-se os gráficos de superfície correspondentes aos modelos ajustados, que estabelecem as variações dos componentes a^* e b^* de cor em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Verifica-se que os valores dos componentes a^* e b^* aumentaram de forma linear com os aumentos de umidade inicial. Ao se elevar a temperatura os valores de a^* e b^* aumentaram até atingir o ponto máximo, em torno de 120 °C, diminuindo a seguir. Assim, maiores valores de a^* (vermelho) e b^* (amarelo), ou seja, amostras mais escuras são obtidas em altas umidades e com temperaturas ao redor de 120 °C; menores valores de a^* e b^* ocorrem em umidades mais baixas e com temperaturas diferentes de 120 °C.

A cor adquirida pelos extrusados pode ter sido ocasionada por reações de caramelização ou de Maillard já que a fração de aveia estudada apresenta teores relativamente altos de açúcares totais. A lisina e outros aminoácidos presentes provavelmente reagiram com os açúcares redutores, favorecidos pelas condições de processamento, o que levou a um escurecimento dos produtos extrusados. NOGUCHI et alii (1982) verificaram que a perda de lisina resultante da reação de Maillard variou entre zero e 40 %, dependendo do conteúdo de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão, ao passo que a velocidade de parafuso não influenciou significativamente.

MOK et alii (1984) observaram aumentos de L, a e b em *snacks* de farinha de cevada com a elevação da temperatura de extrusão. Este fato se deveu à maior expansão dos extrusados nas temperaturas mais altas; o efeito de superfície contribuiu para diminuir a intensidade de cor dos produtos. Porém, ao analisar a cor de produtos extrusados de farinha de mandioca moídos, BADRIE & MELLOWES (1991) verificaram que a elevação da temperatura aumentou a intensidade de cor, enquanto o aumento de umidade produziu produtos mais claros. Com o aumento de umidade, o tempo de residência diminuiu, o que levou a um menor escurecimento não enzimático dos extrusados. MARQUES (1992) observou que aumentos de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão tornaram os extrusados de germe de trigo mais escuros, efeito similar aos encontrados neste trabalho.

HSIEH et alii (1989), em extrusão de farinha de milho misturada com fibras de trigo e aveia, observaram que aumentos crescentes de fibra (zero-30 %) tornaram os extrusados mais escuros (menores valores de L) e menos amarelados (valores de b mais baixos). A cor vermelha aumentou com fibra de trigo; com fibra de aveia, primeiramente, diminuiu, aumentando depois.

É importante ressaltar que as variações dos componentes L*, a* e b* encontradas neste trabalho, embora tenham sido significativas, foram relativamente pequenas, provocando alterações mínimas de cor dos produtos extrusados quando comparados aos valores L*, a* e b* da matéria-prima nativa (Tabela 36). Os valores de L* (luminosidade) e a* (vermelho) dos produtos extrusados variaram entre 78,29-83,03 e 1,63-2,20, respectivamente. A variação do componente L na extrusão de germe de trigo realizada por MARQUES (1992) foi entre 42,62 e 56,95; na de a, entre 2,65 e 5,73, portanto, os intervalos de variação foram relativamente maiores.

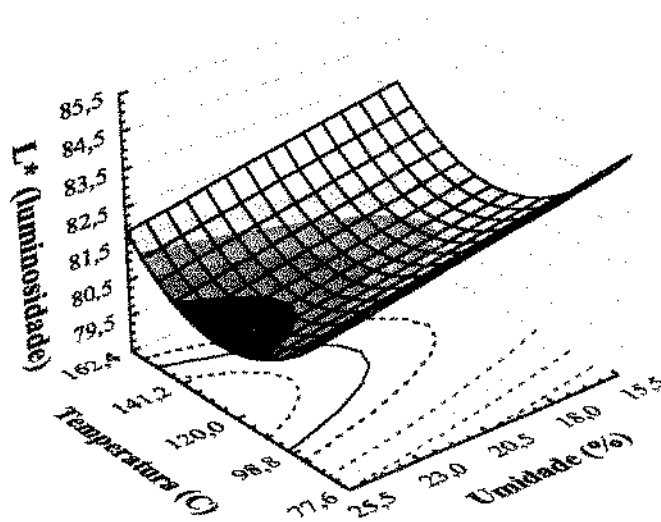


Figura 20 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente L* de cor (luminosidade) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

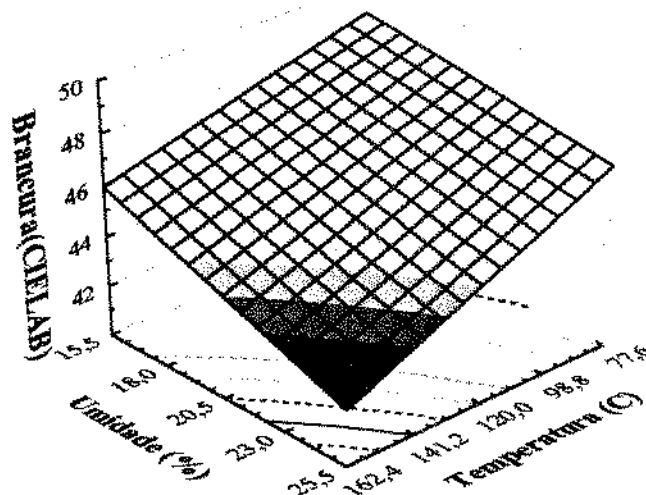


Figura 21 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

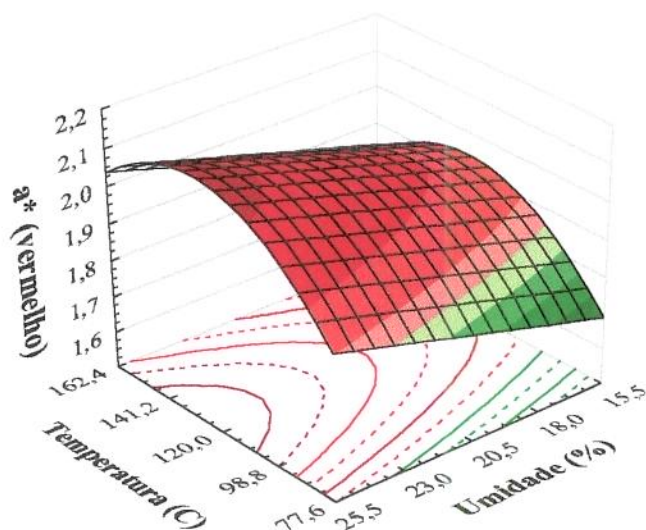


Figura 22 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente $+a^*$ de cor (vermelho) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior 532 μm .

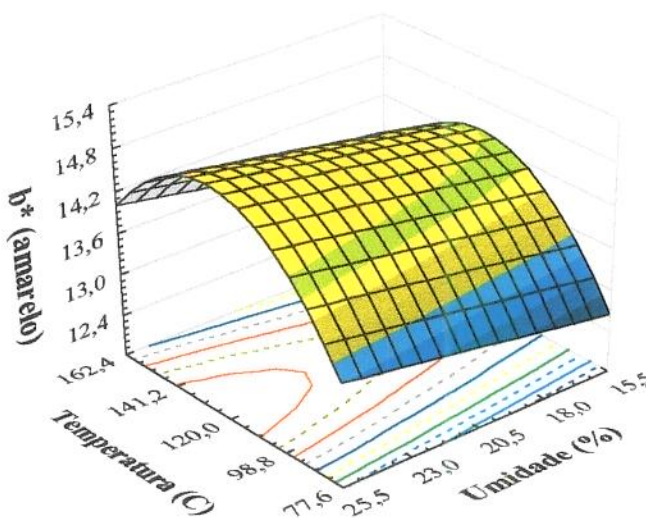


Figura 23 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente $+b^*$ de cor (amarelo) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.4.7 - Fibra alimentar

A extrusão pode alterar o conteúdo, a composição e os efeitos fisiológicos da fibra alimentar. O amido sofre modificações e forma frações resistentes às enzimas que atuam *in vivo*, aumentando os teores de fibra solúvel e insolúvel (BJÖRK et alii, 1984). A degradação da fibra alimentar a fragmentos de baixo peso molecular diminui o seu conteúdo, reduzindo, portanto, reduz os seus benefícios, ao passo que a degradação macromolecular aumenta a solubilidade e altera os efeitos fisiológicos (CHEFTEL, 1986; LUE et alii, 1991). Porém, os resultados sobre os efeitos da extrusão na fibra alimentar ainda não são conclusivos; as divergências são atribuídas, principalmente, às diferentes metodologias de análises utilizadas (BJÖRK et alii, 1984).

Na Tabela 38, apresentam-se os resultados das determinações das fibras alimentares solúvel, insolúvel e total dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos (Tabelas 59a a 61a). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que nenhum dos modelos foi significativo ($p > 0,05$). A fibra alimentar total dos produtos extrusados variou entre 16,31 e 17,56 %, com valor médio de 17,09, portanto, similar aos 16,62 % encontrados na matéria-prima nativa. Porém, ao se observarem os valores médios das fibras alimentares solúvel (8,14) e insolúvel (8,95), verifica-se que nessa os valores foram ligeiramente inferiores quando comparados com o teor de fibra insolúvel da matéria-prima nativa (9,90), ao passo que naquela foram superiores (6,92 %). Assim, ocorreu um aumento de 8 %, em média, nos teores de fibra alimentar solúvel dos extrusados em relação à matéria-prima nativa. O mesmo comportamento foi observado por ODA et alii (1988) ao estudarem as alterações de fibra alimentar de extrusados de aveia, sugerindo que alguns componentes da fibra insolúvel foram transformados em solúveis com a extrusão.

LUE et alii (1991) verificaram que o conteúdo de fibra alimentar não variou significativamente e que o amido gelatinizou-se completamente após a extrusão de farinha composta de milho e fibra de beterraba (zero- 30 %). Ao compararem os resultados com a matéria-prima, os autores observaram um aumento de fibra alimentar solúvel e diminuição das fibras alimentares insolúvel e total. BERGLUND et alii (1994), avaliando as propriedades

fisicoquímicas e sensoriais de cereais extrusados com altos teores de fibra, verificaram um aumento estatisticamente significativo da fibra alimentar solúvel em metade dos cereais estudados, valores que variaram entre 5 e 64 %, dependendo do conteúdo presente na matéria-prima inicial. A fibra alimentar insolúvel diminuiu em todos os cereais. O aumento de fibra solúvel devem-se à diminuição do teor de fibra insolúvel, pois, a variação de fibra alimentar total foi relativamente pequena.

Tabela 38 -Valores experimentais das determinações de fibra alimentar solúvel, fibra alimentar insolúvel e fibra alimentar total dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μ m

Nº	Variáveis ¹		Determinações (%)		
	T	U	Fibra solúvel	Fibra insolúvel	Fibra total
1	90	17	8,37	9,19	17,56
2	150	17	7,84	9,17	17,01
3	90	24	8,06	8,92	16,98
4	150	24	8,07	8,91	16,98
5	77,6	20,5	8,43	9,02	17,44
6	162,4	20,5	8,06	8,25	16,31
7	120	15,5	8,18	9,04	17,23
8	120	25,5	8,10	9,05	17,15
9	120	20,5	7,92	9,06	16,98
10	120	20,5	8,32	8,92	17,24
11	120	20,5	8,16	8,91	17,07
Matéria-prima			6,92	9,90	16,62

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

4.4.8 - Índice de solubilidade de nitrogênio

A determinação do índice de solubilidade de nitrogênio (ISN) é mais uma forma de avaliar as propriedades funcionais de produtos protéicos (JOHNSON, 1970). Com o aumento do aquecimento térmico, as proteínas atingem rapidamente o mínimo de ISN. A partir deste ponto, inicia-se o processo de degradação da estrutura protéica com concomitante aumento de solubilidade, sendo tais reações mais rápidas quanto maior for a intensidade do tratamento térmico aplicado (SAIO et alii, 1975). A diminuição de solubilidade da proteína de produtos extrusados ocorre devido às interações não covalentes entre cadeias de polipeptídios, ou entre cadeias dos polipeptídios com outros constituintes, e à formação de novas pontes dissulfeto, a partir de reações intermoleculares ou pela redução da cisteína em cistina (JEUNINK & CHEFTEL, 1979).

Na Tabela 39, apresentam-se os resultados do índice de solubilidade de nitrogênio (ISN) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas. Enquanto a matéria-prima nativa apresentou ISN de 24,01 %, nos produtos extrusados, os valores variaram entre 4,28 e 8,50 %.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p = 0,0582$) (Tabela 62a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 40. Verifica-se que os termos linear e quadrático da variável temperatura de extrusão, bem como o quadrático de umidade inicial foram significativos ($p \leq 0,0211$). O coeficiente de determinação (0,92) mostra uma variância alta, explicada pelo modelo. Portanto, pode-se concluir que a equação da Tabela 40 é adequada para representar o índice de solubilidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

Tabela 39 - Valores experimentais das determinações de índice de solubilidade de nitrogênio (ISN), lisina disponível e digestibilidade da proteína *in vitro* dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			Digestibilidade da proteína (%)
	T	U	ISN (%)	Lisina		
				disponível (g/16 g N)	disponibilidade (%)	
1	90	17	5,87	1,20	32,26	81,15
2	150	17	4,41	0,72	20,43	78,10
3	90	24	7,07	1,18	31,72	82,75
4	150	24	5,46	0,51	13,71	69,92
5	77,6	20,5	8,50	1,61	43,33	70,65
6	162,4	20,5	4,28	0,54	14,52	85,85
7	120	15,5	4,73	0,56	15,05	90,20
8	120	25,5	5,64	0,65	17,47	70,76
9	120	20,5	4,97	0,59	15,86	85,18
10	120	20,5	4,68	0,65	16,13	86,83
11	120	20,5	4,92	0,60	16,13	85,90
Matéria-prima			24,01	2,82	75,81	79,69

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 40 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para índice de solubilidade de nitrogênio (ISN), lisina disponível, atividade de lipase e atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob > F
ISN	$y = 19,595 - 0,2284T + 0,0008T^2 + 0,0031U^2$	0,9200	0,003
Lisina	$y = 5,8498 - 0,0759T + 0,00027T^2$	0,9591	0,0001
Lipase	$y = 3,4358 - 0,0005TU$	0,6963	0,0014
Peroxidase	$y = 9.901 - 140,1573T + 0,5039T^2$	0,9124	0,0001

1. T = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$) e U = umidade da matéria-prima (%).

A Figura 24 representa o gráfico de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação do índice de solubilidade de nitrogênio em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com o aumento de temperatura de extrusão e a diminuição de umidade da matéria-prima, ocorreu diminuição do ISN. O efeito de umidade foi menos intenso quando comparado com o da temperatura. Verifica-se que os menores valores do ISN ocorreram na extrusão realizada a 162,4 $^{\circ}\text{C}$ e com 15,5 % de umidade. Neste estudo, o ISN não apresentou o mesmo comportamento relatado por SAO et alii (1975) devido, provavelmente, ao uso de condições relativamente brandas de processamento.

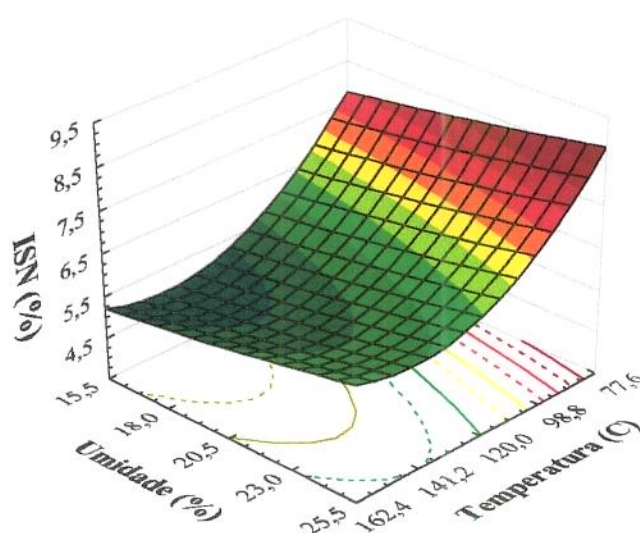


Figura 24 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de solubilidade de nitrogênio (ISN) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.4.9 - Lisina disponível

A lisina é um aminoácido limitante em muitas proteínas de origem vegetal, e sua disponibilidade vai predizer a qualidade do produto em estudo (McAULEY et alii, 1987). A disponibilidade dos aminoácidos é bastante variada, dependendo não somente da natureza da proteína, mas também dos tratamentos a que os alimentos são submetidos (SGARBIERI, 1996). Um dos mecanismos responsáveis pela redução de disponibilidade dos aminoácidos é a reação de Maillard, na qual diminui a disponibilidade de lisina em particular (MERCIER, 1993) e também a dos aminoácidos cistina, arginina, histidina, ácido aspártico e serina (ASP & BJOERCK, 1984). Os estudos dos efeitos do cozimento por extrusão nos aminoácidos tem-se concentrado basicamente em lisina. Segundo NOGUCHI et alii (1982), o aumento da temperatura de extrusão resultou na diminuição de lisina disponível, enquanto o aumento de umidade da matéria-prima provocou uma maior retenção deste aminoácido.

Na Tabela 39, apresentam-se os resultados de lisina disponível dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas. Enquanto a matéria-prima nativa o teor de lisina disponível foi de 2,82 g/16 g N, nos produtos extrusados, os valores variaram entre 0,51 e 1,20 g/16 g N, ou seja, entre 13,71 e 32,26 % da lisina inicial.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e que o residuo não apresenta falta de ajuste ($p = 0,0725$). Somente a variável temperatura de extrusão interferiu significativamente ($p \leq 0,05$) na resposta estudada (Tabela 63a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 40. Verifica-se que tanto o termo linear ($p = 0,0018$) quanto o quadrático ($p = 0,0001$) da variável temperatura interferiram no modelo ajustado. A adequabilidade do modelo ajustado pode ser verificada pelo coeficiente de determinação, que explica 0,96 da variância total da resposta. Em razão desses resultados, conclui-se que a equação da Tabela 40 é adequada para predizer o comportamento de lisina disponível dos produtos

extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A variação de lisina disponível em função de temperatura de extrusão está representada na Figura 25. Verifica-se uma relação quadrática côncava, ocorrendo diminuição de lisina disponível com o aumento da temperatura de extrusão. Este fato foi semelhante ao observado no ISN, com a exceção de que a variável umidade da matéria-prima não foi significativa. A redução de lisina disponível foi em torno de 60 % na temperatura de 90 °C, aumentando para 80 % na extrusão realizada a 120 °C. Esses resultados estão em acordo com os observados por ASP & BJOERCK (1984) e por MERCIER (1993).

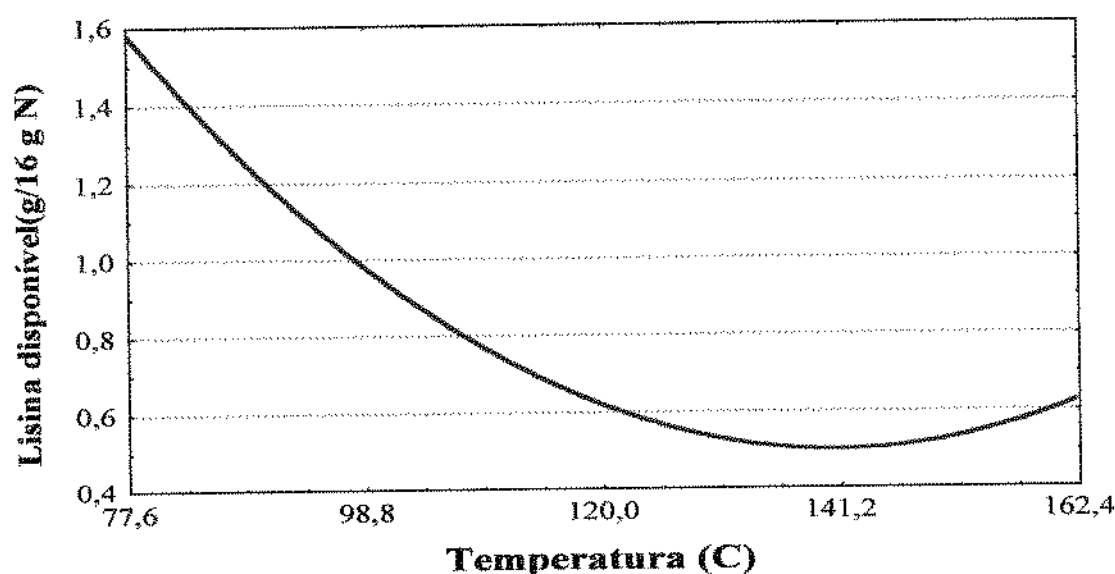


Figura 25 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de lisina disponível dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.4.10 - Digestibilidade da proteína *in vitro*

A digestibilidade é um indicador importante na avaliação do valor nutritivo da proteína em estudo. A desnaturação melhora a digestibilidade por facilitar a ação proteolítica das enzimas digestivas, porém promove reações ou interações da proteína com outros componentes do alimento, o que pode resultar em decréscimo de digestibilidade (SGARBIERI, 1996).

Na extrusão realizada em condições brandas, o valor nutritivo das proteínas vegetais tende a aumentar devido às modificações que ocorrem nas estruturas terciárias e quaternárias e à

inativação de inibidores de proteases (MERCIER, 1993). Porém, a realização da extrusão em condições severas (temperaturas acima de 180 °C) acarreta uma redução do valor nutritivo, com a concomitante diminuição de digestibilidade da proteína em estudo (CHEFTEL, 1986).

Na Tabela 39, apresentam-se os resultados de digestibilidade da proteína *in vitro* dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo (Tabela 64a). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que nenhuma das variáveis foi significativa ($p > 0,05$). A digestibilidade da proteína *in vitro* dos produtos extrusados da fração de aveia estudada variou entre 70,65 e 90,20 %, enquanto o encontrado na matéria-prima nativa foi de 79,69 %.

Embora a variação não tenha sido significativa, o uso de temperaturas intermediárias (120 °C) e baixas umidades resultaram em maiores valores de digestibilidade (Tabela 39), resultados que estão em acordo com os relatados por DAHLIN & LORENZ (1993) no estudo realizado sobre a digestibilidade das proteínas *in vitro* de cereais extrusados. Os resultados encontrados sugerem que a combinação de condições de processamento pode ser aplicada na extrusão de cereais com benefícios na digestibilidade da proteína.

4.4.11 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase

Na Tabela 41, apresentam-se os resultados das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$). Somente a variável temperatura foi significativa ($p \leq 0,05$), tanto em lipase quanto em peroxidase (Tabelas 65a e 66a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 40. Na resposta lipase, a interação foi significativa ($p=0,0014$), enquanto, na peroxidase, ambos os termos da variável temperatura interferiram significativamente ($p\leq 0,01$). A adequabilidade dos modelos ajustados pode ser verificada pelos coeficientes de determinação, que explicam entre 0,70 e 0,91 da variância total das respostas. Em razão desses resultados, conclui-se que as equações estão adequadas para prever o comportamento das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A Figura 26 representa o gráfico de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação da atividade de lipase em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com os aumentos de temperatura e umidade, ocorreu diminuição da atividade de lipase, de forma linear. Os valores de hidrólise da atividade residual de lipase variaram entre 1,31 e 2,78 %, ou seja, com o processo de extrusão ocorreu uma redução entre 82 e 92 da atividade inicial. Os níveis residuais de atividade de lipase são relativamente baixos (8-17 %) mostrando que a enzima foi praticamente inativada em todas as condições estudadas. Se comparados com os valores do experimento de moagem, veremos que o processo por extrusão reduziu drasticamente a atividade dessa enzima (Tabelas 20 e 41).

De fato, o calor seco não é uma forma eficiente de inativação enzimática (EKSTRAND et alii, 1992), ao passo que, com o emprego de calor úmido, a inativação das enzimas é mais completa. GARDNER & INGLET (1971) verificaram que o cozimento de germe de trigo por rolos secadores em temperaturas acima de 124 °C inativou as lipases. Observações semelhantes foram realizadas por EKSTRAND et alii (1993) ao processarem aveia através do uso de vapor à pressão atmosférica.

FRETZDORFF & SEILER (1987), estudando o efeito da extrusão na inativação de enzimas de cereais, observaram uma redução entre 26 e 82 % da atividade de lipase quando processaram cariopses quebradas de aveia. A atividade de lipase diminuiu com o aumento de temperatura de extrusão (80-98 °C) e de umidade da matéria-prima (18-30 %). Entre as enzimas estudadas, a lipase foi a mais estável. MEISTER et alii (1994) também inativaram as enzimas lipases do farelo de aveia pelo emprego de condições brandas de extrusão, ou seja, temperaturas abaixo de 120°C, 20 % de umidade e baixo cisalhamento mecânico. Em farelos com altos teores

de lipídios (10-14 %) ou umidades acima de 25 %, ocorreu uma menor atividade residual de lipases. Verifica-se que os resultados destes trabalhos estão de acordo aqueles por nós obtidos, ou seja, a atividade residual de lipase diminuiu com os aumentos de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, sem ocorrer, no entanto, uma inativação completa da enzima.

Quanto à atividade de peroxidase, observa-se pela Figura 27 que temperatura foi a única variável significativa e mostrou-se inversamente proporcional. A atividade residual variou entre 39 e 2.297 Abs₄₂₀/min/g, ou seja, ocorreu uma redução entre 84 e 99 % da atividade verificada na matéria-prima nativa. Estes resultados estão em acordo aos reportados por vários autores (GARDNER & INGLET, 1971; EKSTRAND et alii, 1992; FRETZDORFF & SEILER, 1987), que encontraram uma relação inversa com a temperatura de processamento, isto é, quanto maior a temperatura menor a atividade residual de peroxidase.

GARDNER & INGLET (1971) verificaram que o cozimento de germe de trigo por rolos secadores, em temperaturas acima de 124 °C inativou as peroxidases, ocorrendo, no entanto, uma atividade residual em todos os experimentos. Esta atividade residual deveu-se ao curto período de contato do produto com os rolos aquecidos. Os autores também observaram a existência de uma correlação negativa com o índice de absorção de água. FRETZDORFF & SEILER (1987) verificaram que a extrusão de cariopses quebradas de aveia em condições brandas reduziu a atividade de peroxidase entre 10 e 53 %. MEISTER et alii (1994) também observaram que o emprego de condições brandas de extrusão, ou seja, temperaturas abaixo de 120 °C, 20 % de umidade e baixo cisalhamento mecânico reduziram a atividade de peroxidase.

De forma similar ao observado na atividade de lipase, as condições de extrusão praticamente inativaram a peroxidase. Os resultados obtidos sugerem que todas as enzimas presentes na fração de aveia de granulometria superior a 532 µm foram inativadas, pois a peroxidase é utilizada para verificar a efetividade do tratamento térmico aplicado e se mostrou praticamente inativada. BURNETTE (1977) verificou que uma pequena atividade residual de peroxidase nos alimentos (1-5%) normalmente não tem causado problemas de estabilidade. Além disso, a atividade residual varia em função dos métodos e substratos usados. O guaiacol, substrato usado para medir a atividade de peroxidase neste trabalho, tem mostrado maior atividade residual quando comparado aos demais.

Tabela 41 -Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações	
	T	U	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} /min/g)
1	90	17	2,32	1.106
2	150	17	2,02	353
3	90	24	2,19	1.233
4	150	24	1,51	39
5	77,6	20,5	2,78	2.297
6	162,4	20,5	1,31	416
7	120	15,5	2,10	42
8	120	25,5	1,68	582
9	120	20,5	2,45	500
10	120	20,5	2,37	427
11	120	20,5	2,30	369
Matéria-prima			15,98	13.932

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

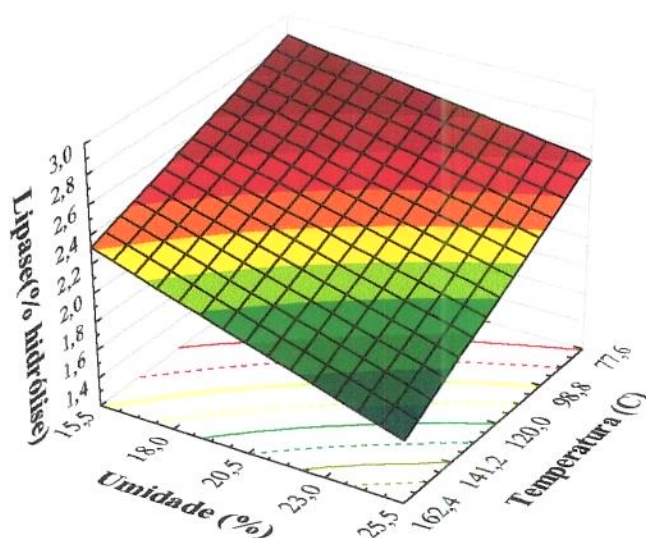


Figura 26 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

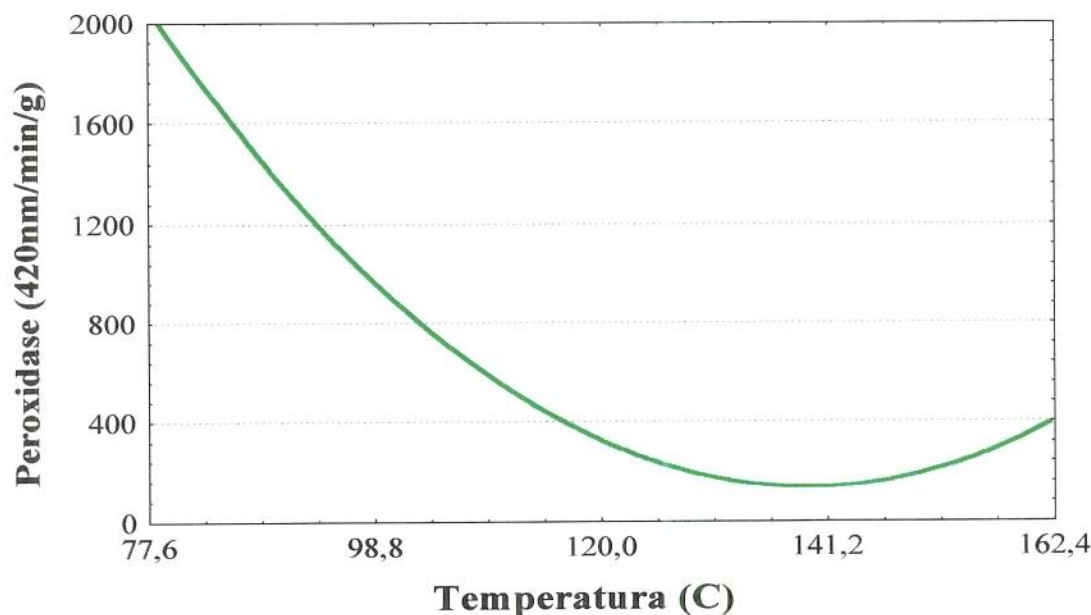


Figura 27 -Efeito de temperatura de extrusão na atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.5 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão na Estabilidade ao Armazenamento de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Superior a 532 μm

A estabilidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm foi determinada ao longo de 126 dias armazenamento através da quantificação de ácidos graxos livres e da formação de produtos primários e secundários da rancidez oxidativa. Como indicador de alterações primárias de rancidez, utilizou-se o índice de peróxidos, enquanto que, para monitorar as modificações secundárias, foi avaliado o teor de n-hexanal por cromatografia gasosa.

4.5.1 - Índice de acidez

Na Tabela 42, apresentam-se os resultados das determinações do índice de acidez dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para o tempo zero de armazenamento (48 horas após extrusão). Observa-se pelo modelo de regressão que nenhuma das variáveis estudadas foi significativa ($p>0,05$) (Tabela 67a). O índice de acidez dos produtos extrusados desta fração variou entre 11,46 e 13,66 mg de KOH/g de óleo, com valor médio de 12,62 %. Estes resultados mostram que as condições usadas no processamento foram suficientes para paralisar a produção de ácidos graxos livres, pelo menos no tempo zero de armazenamento.

Na avaliação do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , tempos 21, 42, 63, 84 e 126 dias, verifica-se, pelas análises de variância (ANOVA), que os modelos também não foram significativos ($p>0,05$), ou seja, a acidez não variou estatisticamente entre as condições estudadas nos diferentes tempos de armazenamento. Isto fica melhor evidenciado na comparação entre os índices médios de acidez dos produtos extrusados e a matéria-prima nativa da fração de aveia estudada ao longo do tempo de armazenamento (Figura 28). Verifica-se que a acidez do óleo dos produtos extrusados permaneceu estável, enquanto a quantidade de ácidos graxos livres da matéria-prima nativa aumentou de forma praticamente linear com o aumento do tempo de armazenamento.

O fato de o índice de acidez do óleo dos produtos extrusados não aumentar durante o período de armazenamento deveu-se à inativação das enzimas produtoras de ácidos graxos livres em todas as condições de extrusão estudadas.

EKSTRAND et alii (1993) verificaram que a hidrólise de lipídios aumentou durante o armazenamento de amostras tratadas por secagem ou hidrotermicamente, porém foi mais pronunciada na matéria-prima nativa. Na amostra tratada por aquecimento a seco, o índice de acidez aumentou dos 8-9 mg de KOH/g de óleo iniciais para 13-15 mg de KOH/g de óleo após 112 dias de armazenamento, enquanto que na amostra que sofreu secagem e tratamento hidrotérmico, o aumento foi relativamente pequeno. MARQUES (1992) observou que a variação da quantidade de ácidos graxos livres formados durante o armazenamento de produtos extrusados de germe de trigo (100-150 dias) não foi significativa devido, provavelmente, à inativação das enzimas lipases nas condições em que foi realizado o processamento, ou seja, temperatura de extrusão entre 107 e 192 °C e umidade da matéria-prima entre 16 e 22 %.

Tabela 42 -Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)					
	T	U	48 h	21 dias	42 dias	63 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	11,86	11,87	11,79	12,94	11,34	12,12
2	150	17	12,14	11,59	1081	12,48	12,43	12,78
3	90	24	11,65	10,02	10,35	11,03	11,53	11,82
4	150	24	12,07	12,41	12,21	12,10	12,59	12,77
5	77,6	20,5	13,65	12,67	13,07	12,74	14,40	13,27
6	162,4	20,5	14,00	13,60	12,74	12,69	14,00	13,23
7	120	15,5	11,56	10,97	12,02	11,93	11,39	12,03
8	120	25,5	13,66	13,48	14,72	14,37	14,83	14,56
9	120	20,5	13,28	14,11	14,29	13,94	14,27	14,63
10	120	20,5	13,52	13,04	12,35	13,76	12,54	12,42
11	120	20,5	11,46	10,86	11,72	11,81	11,70	12,22
Matéria-prima			10,09	44,32	62,80	72,22	93,90	109,11

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

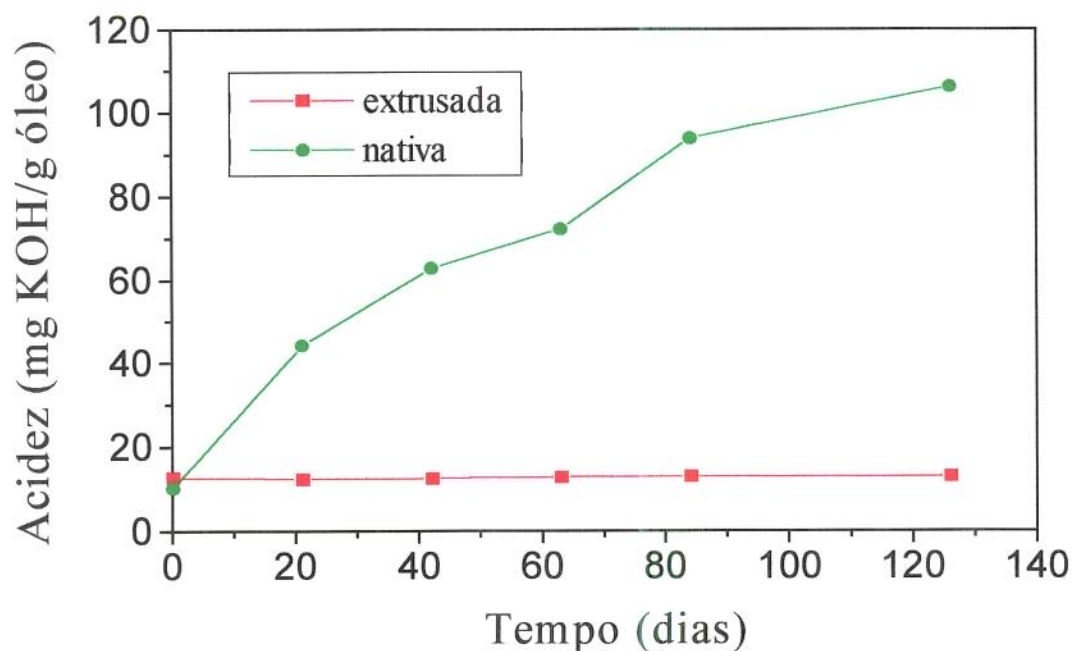


Figura 28 -Índice médio de acidez da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm : extrusada e nativa, em função do tempo de armazenamento.

4.5.2 - Índice de peróxidos

Na Tabela 43, apresentam-se os resultados das determinações do índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após a extrusão). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e que o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p = 0,0993$) (Tabela 68a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficientes de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 44. Verifica-se que tanto o termo linear ($p = 0,0191$) quanto o quadrático ($p = 0,0770$) da variável temperatura interferiram significativamente no modelo ajustado. Porém, a baixa variância explicada pelo coeficiente de determinação (0,65), indica-nos que a equação deve ser empregada apenas para a observação da tendência de variação da resposta estudada.

Tabela 43 - Valores experimentais do índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Índice de peróxidos (mmoles/kg de óleo)			
	T		48 hora	42 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	traços	traços	traços	traços
2	150	17	5,43	36,98	47,39	50,30
3	90	24	0,88	1,39	2,69	3,96
4	150	24	2,08	30,50	42,99	28,90
5	77,6	20,5	traços	traços	traços	traços
6	162,4	20,5	5,97	30,34	34,10	64,36
7	120	15,5	4,83	21,43	31,32	42,50
8	120	25,5	2,89	12,74	15,38	29,81
9	120	20,5	5,31	16,13	20,70	34,90
10	120	20,5	5,68	14,01	22,87	30,58
11	120	20,5	6,05	15,31	24,46	32,54
Matéria-prima			traços	traços	traços	traços

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

O índice de peróxidos do tempo zero de armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia estudada aumentou com a elevação da temperatura de extrusão (Figura 29), e a variação encontrada foi entre traços e 6,05 mmoles/kg de óleo (Tabela 43).

Na avaliação dos peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia, tempos zero, 42, 84 e 126 dias, verifica-se pelos modelos ajustados (Tabela 44), que somente a variável temperatura de extrusão foi significativa ($p \leq 0,05$), termos lineares e quadráticos. O índice de peróxidos apresentou uma relação quadrática convexa, aumentando com a elevação da temperatura de extrusão (Figura 29). Em relação aos tempos de armazenamento dos extrusados (zero, 42, 84 e 126 dias), verifica-se que os peróxidos aumentaram de forma proporcional.

Contudo, nos tratamentos um, cinco, bem como na matéria-prima nativa, os níveis de peróxidos foram de apenas traços, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já nos produtos extrusados a 162,4 °C, os valores passaram de 5,97, tempo zero, para 64,36 mmoles de peróxidos/kg de óleo aos 126 dias de armazenamento. Segundo MUSTAKAS et alii (1970), os limites mínimos de peróxidos para que sejam satisfeitos os requerimentos de estabilidade de extrusados são de 20 mmoles/kg de óleo. Se considerarmos esse valor de corte para analisar os produtos obtidos, veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco já citados, pode ser considerado aceitável o extrusado número três. Todos os demais tratamentos atingiram valores superiores aos estabelecidos por MUSTAKAS et alii (1970), o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, alterando-se, conseqüentemente, o sabor e a qualidade dos produtos extrusados. Ao reduzir este tempo para 42 dias de armazenamento, o número de produtos aceitáveis ao consumo humano aumentou para seis, sendo eliminados os tratamentos realizados nas temperaturas iguais ou superiores a 150 °C.

POSKOCILOVA et alii (1988) verificaram que extrusados de aveia podem ser armazenados por 1,5 mês sem perda de qualidade. Contudo, ao submeter os extrusados a operações como moagem ou tostagem, a qualidade dos produtos reduziu significativamente. O aumento de umidade da matéria-prima original teve efeito favorável na manutenção de qualidade dos produtos extrusados. No trabalho realizado por ODA et alii (1988), o índice de peróxidos foi de apenas traços para a aveia não processada, enquanto que, na farinha extrusada a 177 °C, os valores foram de 9,6 e 32,8 mmoles/kg aos 10 dias e aos 12 meses, respectivamente. MARQUES (1992) observou que o índice de peróxidos aumentou drasticamente nos extrusados de germe de

trigo, exceto naquele à temperatura de 107 °C e umidade de 19 %, no qual os peróxidos aumentaram em níveis mais baixos. Deve-se ressaltar que a extrusão foi realizada no mesmo tipo de extrusor e que somente a variável temperatura foi significativa.

Tabela 44 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob >F
t = 48 h	$y = -24,08 + 0,4137T - 0,0015T^2$	0,6530	0,0145
42 dias	$y = -39,51 + 0,4761T - 0,00009T^2$	0,9138	0,0001
84 dias	$y = -82,22 + 1,1990T - 0,0026T^2$	0,8645	0,0003
126 dias	$y = -102,04 + 1,5272T - 0,0034T^2$	0,8280	0,0009

1. T = temperatura de extrusão (°C).

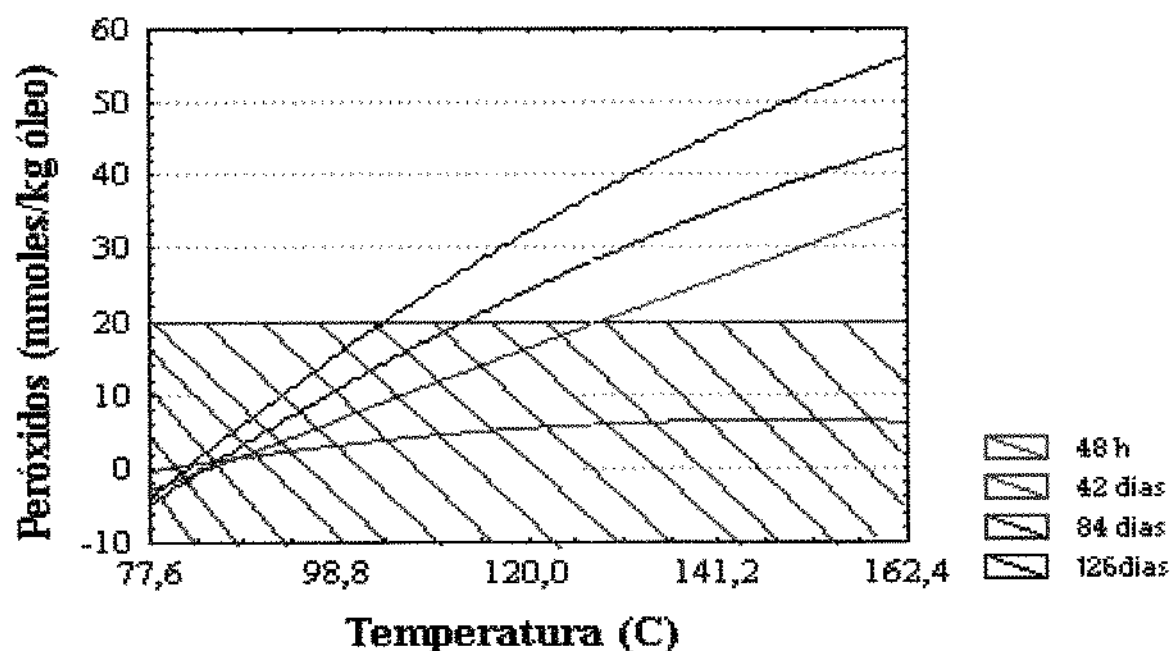


Figura 29 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (t= 48 horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , considerando as modificações nas propriedades de gelatinização, inativação enzimática, produção de ácidos graxos livres e estabilidade dos produtos extrusados, determinadas através do índice de peróxidos após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120 °C mostraram-se adequadas para o processamento de aveia em extrusor monorosca, independentemente do nível de umidade inicial da matéria-prima. Em temperaturas iguais ou superiores a 120 °C os níveis de peróxidos aumentam rapidamente mostrando uma baixa estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados. O aumento de peróxidos deveu-se à degradação dos lipídios pelas temperaturas usadas no extrusor.

4.5.3 - n-Hexanal

Na Tabela 45, apresentam-se os resultados das determinações de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após extrusão). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o mesmo não é significativo ($p > 0,05$) (Tabela 69a). O teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração estudada variou entre 0,49 e 3,24 mg/kg de amostra, com valor médio de 1,90, portanto, superior aos 0,44 encontrados na matéria-prima nativa. Embora tenha ocorrido variação no teor de n-hexanal entre as condições de extrusão estudadas, a magnitude foi pequena e insuficiente para interferir significativamente na resposta.

Na avaliação do teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , tempos 21, 42, 63, 84 e 126 dias, verifica-se, pela análise de variância (ANOVA) que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e nível de significância, encontram-se na Tabela 46. Tanto os termos lineares quanto os

quadráticos da variável temperatura de extrusão interferiram significativamente nos modelos ajustados.

Ao avaliar o efeito de temperatura de extrusão em função da estabilidade ao armazenamento dos extrusados de aveia, tempos zero, 21, 42, 84 e 126 dias (Figura 30), observa-se que o n-hexanal apresentou uma relação quadrática convexa, aumentando com a elevação da temperatura. Em relação aos tempos de armazenamento dos extrusados (zero, 21, 42, 84 e 126 dias), a concentração de n-hexanal aumentou de forma proporcional. BRUECHERT et alii (1988) também verificaram que os componentes voláteis aumentaram com a elevação da temperatura de extrusão. EKSTRAND et alii (1993) observaram que a formação de n-hexanal em produtos de aveia foi dependente das condições de processamento, não verificando correlação com as quantidades de ácidos graxos livres, o que está portanto, em acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

De forma análoga ao que ocorreu com o índice de peróxidos, os tratamentos um, cinco e a matéria-prima nativa apresentaram níveis de n-hexanal relativamente baixos, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já nos produtos extrusados a 162,4 °C, os valores passaram de 1,79, tempo zero, para 8,26 mg de n-hexanal /kg de amostra aos 126 dias de armazenamento, ou seja, a rancidez oxidativa aumentou com a elevação da temperatura de extrusão; conforme o mecanismo da rancidez oxidativa descrito por HAMILTON (1983), BELITZ & GROSCH (1988) E HSIEH & KINSELLA (1989).

FRITSCH & GALE (1977), num dos melhores estudos sobre rancidez oxidativa de produtos de cereais processados, verificaram que o início da formação de odor a ranço ocorreu quando a concentração de n-hexanal aumentou entre 5 e 10 mg/kg. Com produtos de aveia, os autores observaram boa correlação entre a avaliação sensorial e a concentração de n-hexanal na faixa de 0,3 e 5 mg/kg. Os autores afirmam que, em cereais recém-processados e com quantidades substanciais de ácido linoléico, a concentração de n-hexanal está abaixo de um mg/kg, porém, durante o armazenamento, esses valores aumentam para cinco ou mais mg/kg de n-hexanal, o que indica perdas significativas na estabilidade devido à oxidação lipídica. Se a deterioração continuar a partir desse ponto, ocorre um aumento de n-hexanal, aparecendo outros picos que aumentam com o aumento da deterioração. Segundo os autores, a deterioração é afetada não só pela composição química, mas também pelo conteúdo de umidade dos produtos, condições de

processamento, área superficial e outros fatores ainda não determinados. O aumento da concentração de n-hexanal, bem como o aparecimento de um novo pico nos produtos extrusados da fração de aveia estudada podem ser visualizados através dos cromatogramas apresentados na Figura 31.

Se considerarmos cinco mg de hexanal /kg de amostra como valor de corte para analisar os produtos obtidos, veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco já citados, pode ser considerado aceitável o extrusado número três. Todos os demais tratamentos atingiram valores superiores aos estabelecidos por FRITSCH & GALE (1977), o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, conseqüentemente, alterando o sabor e a qualidade dos produtos extrusados. Os tratamentos realizados nas temperaturas iguais ou superiores a 120 °C foram eliminados, independentemente do teor de umidade inicial da matéria-prima. Ao reduzir este tempo para 42 dias de armazenamento, o número de produtos aceitáveis ao consumo humano aumentou para sete, sendo eliminados os tratamentos realizados nas temperaturas de 120 e 162 °C e com 20,5 % de umidade.

Tabela 45 -Valores experimentais de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		n-Hexanal (mg/kg de amostra)					
	T	U	48 h	21 dias	42 dias	63 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	0,49	0,59	0,90	1,02	1,61	1,79
2	150	17	1,11	3,21	3,96	4,41	7,87	9,33
3	90	24	0,95	0,98	1,04	1,15	1,17	1,46
4	150	24	1,58	3,58	4,75	5,77	7,59	8,56
5	77,6	20,5	0,64	0,65	0,69	0,71	0,84	1,09
6	162,4	20,5	1,79	3,71	6,49	7,69	7,87	8,26
7	120	15,5	2,71	5,85	4,07	4,91	5,01	5,92
8	120	25,5	3,24	4,24	4,86	5,74	7,13	9,61
9	120	20,5	2,59	5,19	6,25	6,55	7,35	7,59
10	120	20,5	2,77	5,11	6,07	6,27	7,46	7,66
11	120	20,5	2,94	5,15	5,97	7,18	7,58	8,02
Matéria-prima			0,44	0,64	0,68	0,77	1,63	0,82

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 46 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob >F
t = 48 h	$y = -14,72 + 0,2767T - 0,0011T^2$	0,7261	0,0056
21 dias	$y = -27,42 + 0,4955T - 0,0019T^2$	0,8148	0,0012
42 dias	$y = -22,58 + 0,3975T - 0,0014T^2$	0,7557	0,0036
63 dias	$y = -23,84 + 0,4073T - 0,0013T^2$	0,8807	0,0002
84 dias	$y = -28,12 + 0,4853T - 0,0016T^2$	0,9023	0,0001
126 dias	$y = -32,20 + 0,5591T - 0,0019T^2$	0,8891	0,0002

1. T = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$) e U = umidade da matéria-prima (%).

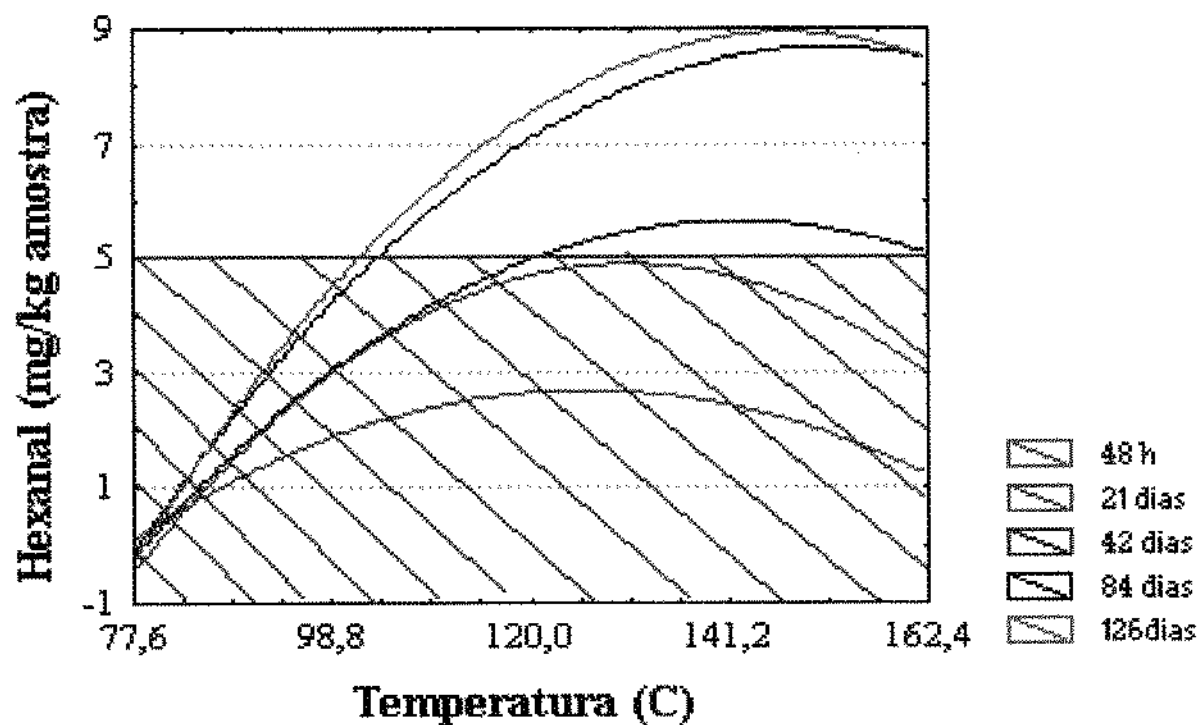


Figura 30 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (t= 48 horas, 21 dias, 42 dias, 63 dias, 84 dias e 126 dias).

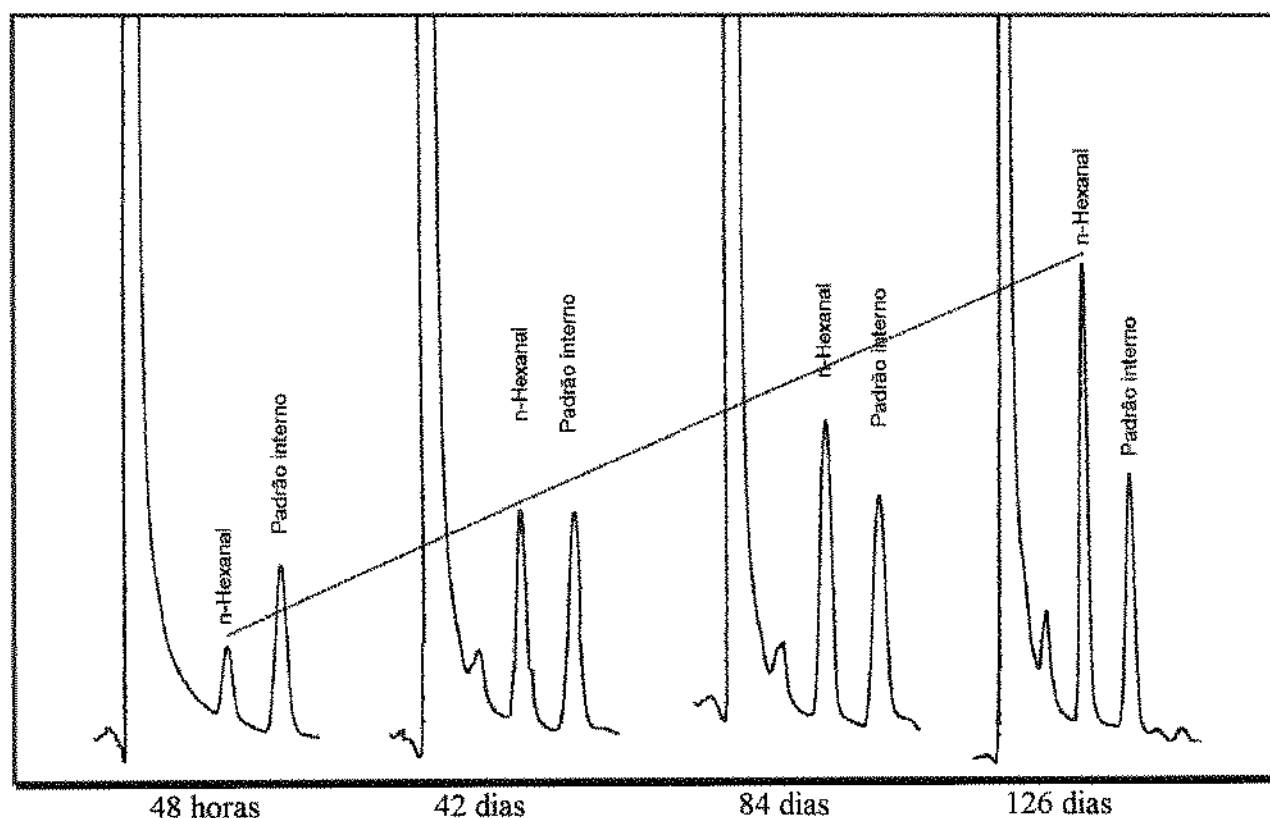


Figura 31 -Cromatogramas representativos da formação de n-hexanal nos produtos da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , extrusados à temperatura de 120 °C e com 20,5 % umidade em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42, 84 e 126 dias).

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , considerando as modificações nas propriedades de gelatinização, inativação enzimática, produção de ácidos graxos livres e estabilidade dos produtos extrusados, determinada através do teor de n-hexanal após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120 °C mostraram-se adequadas para o processamento de aveia em extrusor monorosca, independentemente do nível de umidade inicial da matéria-prima. Para realizar o processamento em maiores temperaturas, é necessário controlar outros fatores, como atividade de água dos produtos processados, área superficial, embalagem de acondicionamento (FRITSCH & GALE, 1977), ou adicionar antioxidantes (PERCHERON & LÖLIGER, 1990). O uso de menores taxas de compressão e de maiores velocidades de rosca também pode interferir favoravelmente no aumento da estabilidade ao armazenamento de produtos extrusados de aveia.

4.6 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão nas Propriedades Físicas, Químicas, Funcionais e Nutricionais de Produtos Extrusados de Aveia da Fração de Granulometria Inferior a 532 μm

4.6.1 - Densidade aparente

Na Tabela 47, apresentam-se os resultados de densidade aparente dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo (Tabela 70a). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que nenhuma das variáveis foi significativa ($p>0,05$). A densidade aparente dos produtos extrusados variou entre 472 e 491 kg m^{-3} , com valor médio de 483 kg m^{-3} , portanto, acima dos 463 kg m^{-3} encontrados na matéria-prima nativa e de granulometria semelhante ($<500 \mu\text{m}$).

A densidade aparente dos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm foi relativamente maior quando comparada com os extrusados da fração de granulometria superior a 532 μm . Estes produtos, embora apresentem menor granulometria, o que proporciona diminuição da densidade por ocorrer aumento da área superficial, necessitando, portanto, de maior espaço interpartículas (LEWIS, 1993), possuem concentrações relativamente menores de fibra alimentar e maiores de amido e proteínas, levando, assim, a um aumento da densidade aparente. O aumento de densidade foi de 6,4 %, em média, se comparado aos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

4.6.2 - Energia mecânica específica

Na Tabela 47, apresentam-se os resultados de energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas, valores que variaram entre 0,0043 e 0,0220 kWh/kg.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p\leq 0,05$) e que o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p= 0,2108$ (Tabela 71a). A partir do modelo completo

eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 48. Verifica-se que tanto o termo linear ($p = 0,0014$) quanto o quadrático ($p = 0,0064$) da variável umidade inicial interferiram significativamente no modelo ajustado. O coeficiente de determinação (0,89) mostra uma variância alta, explicada pelo modelo. Portanto, pode-se concluir que a equação da Tabela 48 é adequada para representar a energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A variação de energia mecânica específica em função de umidade da matéria-prima está representada na Figura 32. Verifica-se que a energia mecânica, em termos de consumo de energia, apresentou uma relação quadrática côncava, aumentando com a elevação de umidade, ou seja, o gasto de energia é menor. Assim, para reduzir o consumo de energia gasto, mesmo que os dados correspondam a uma parte da energia total, é necessário extrusar o material com alta umidade (23 a 25 %), independentemente da temperatura escolhida, pelo menos dentro da faixa estudada neste trabalho. A energia mecânica gasta para extrusar os produtos da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm foi similar à verificada na fração de granulometria superior a 532 μm .

Tabela 47 - Valores experimentais das determinações de densidade aparente, energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	Densidade (kg m^{-3})	EME (kWh kg^{-1})	IAA (g gel/g m.s.)	ISA (%)
1	90	17	483	0,0138	3,05	5,19
2	150	17	473	0,0110	4,77	4,91
3	90	24	492	0,0057	3,75	4,92
4	150	24	472	0,0043	5,57	3,44
5	77,6	20,5	482	0,0087	2,81	4,90
6	162,4	20,5	481	0,0078	5,10	4,32
7	120	15,5	483	0,0220	4,43	5,16
8	120	25,5	484	0,0054	4,41	4,23
9	120	20,5	491	0,0082	4,45	4,02
10	120	20,5	490	0,0065	4,59	4,14
11	120	20,5	482	0,0055	4,71	4,25
Matéria-prima			463	-	2,05	7,49

1. T= temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 48 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para energia mecânica específica (EME), índice de absorção (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob > F
EME	$y = 0,1343 - 0,0111U + 0,00024U^2$	0,8860	0,0002
IAA	$y = -3,2321 + 0,0922T - 0,0003T^2 + 0,0004TU$	0,9455	0,0001
ISA	$y = 6,1456 - 0,0007TU$	0,6528	0,0026

1. T = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$) e U = umidade da matéria-prima (%).

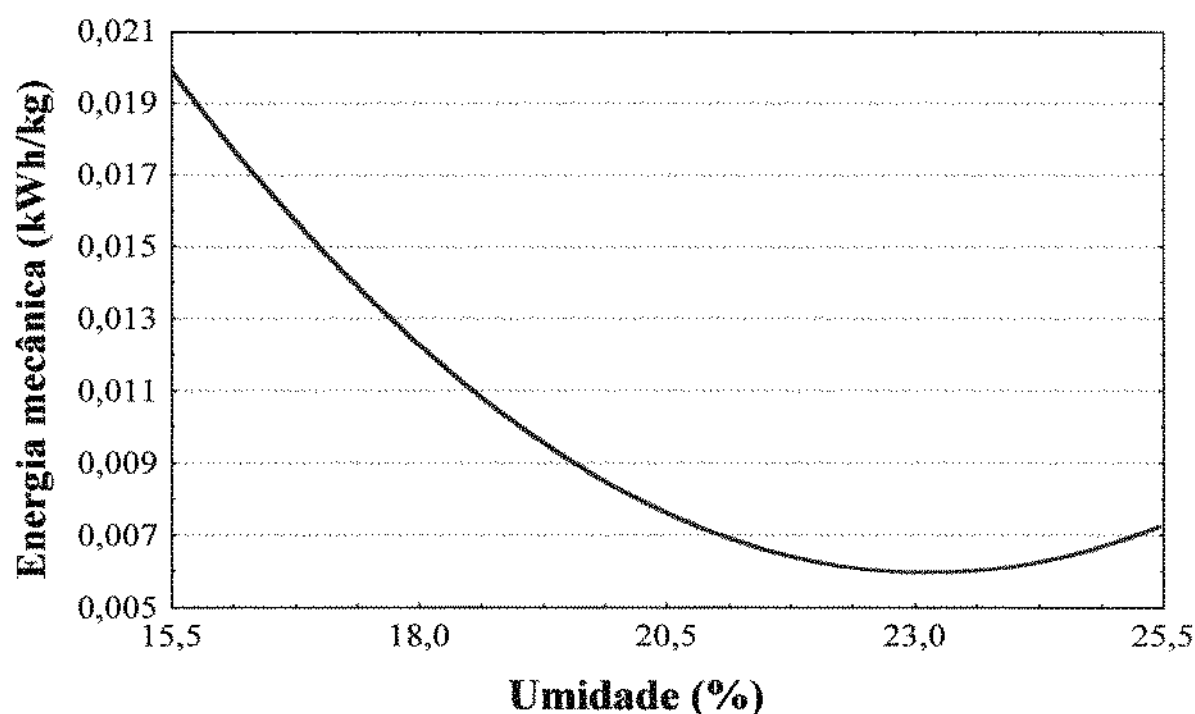


Figura 32 -Efeito de umidade da matéria-prima na energia mecânica específica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

4.6.3 - Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

Na Tabela 47, apresentam-se os resultados de IAA e ISA dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os mesmos são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$) (Tabelas 72a e 73a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 48. Na variável resposta IAA ambos os termos de temperatura e a interação foram significativos ($p \leq 0,10$); em ISA, somente a interação. O modelo ajustado de IAA apresentou um coeficiente de determinação de 0,95, mostrando-se adequado para explicar a variância total da resposta. Já em ISA a equação deve ser empregada apenas para o estudo da tendência de variação da resposta, pois o coeficiente de determinação (0,65) é relativamente baixo.

A Figura 33 representa o diagrama de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação do IAA em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com a elevação de temperatura e umidade, ocorreu aumento de IAA. A temperatura de extrusão teve efeito mais pronunciado ($p = 0,0001$), ao passo que a significância da interação ($p = 0,0577$) ocorreu devido ao forte efeito da variável temperatura. Este comportamento foi similar ao observado nos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , com a diferença de que o termo quadrático de temperatura também foi significativo.

Os valores de IAA variaram entre 2,81 e 5,57 g de gel/g de matéria seca, portanto, acima dos 2,05 verificados na matéria-prima nativa. Os resultados foram inferiores aos observados na extrusão da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm devido, provavelmente, aos menores teores de fibra alimentar na composição química da fração estudada, o que levou a uma diminuição da quantidade de água adsorvida em todas as condições experimentais.

Em relação ao índice de solubilidade em água, as variáveis temperatura de extrusão e umidade inicial foram significativas e se mostraram inversamente proporcionais, ou seja, quanto maiores os valores de temperatura e umidade menor o ISA (Figura 34). Os valores experimentais de ISA variaram entre 3,44 e 5,19 % de matéria seca, ficando abaixo dos 7,49 verificados na matéria-prima nativa.

Tanto os valores de ISA quanto os de IAA dos produtos extrusados dessa fração foram inferiores quando comparados aos dos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , mostrando que a composição química interfere na quantidade de água adsorvida. Além disso, a variável umidade também foi significativa, pois com o seu aumento, ocorreu uma diminuição de ISA dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm . Resultados semelhantes foram obtidos por ANDERSON (1982) ao estudar o grau de cozimento de grãos de aveia por rolos secadores, com temperaturas variando entre 121 e 299 $^{\circ}\text{C}$ e umidade inicial entre 15 e 25 %. Os dados dos índices de absorção de água e de solubilidade em água sugerem que essa matéria-prima apresenta comportamento diferenciado em função de sua composição química própria, ou seja, presença de altos teores de proteínas, lipídios e fibra alimentar.

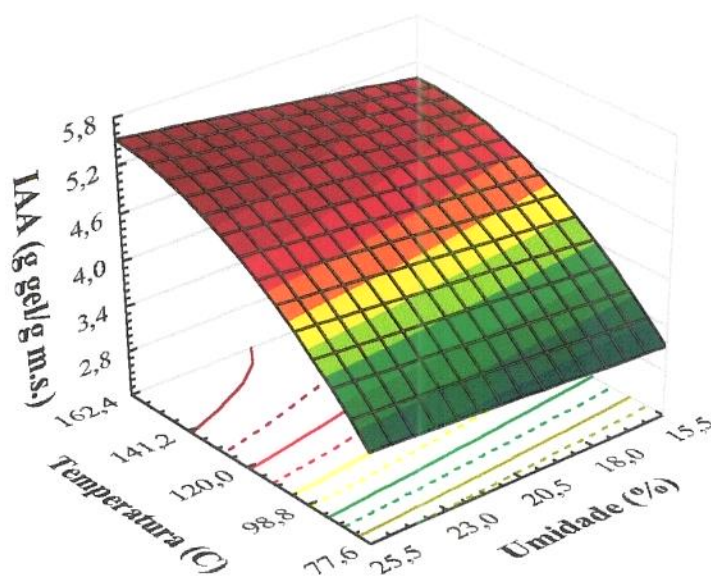


Figura 33 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

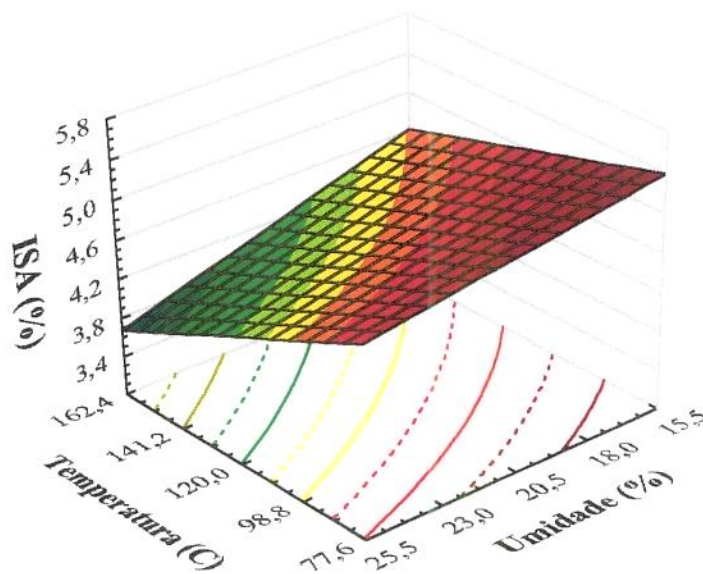


Figura 34 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

4.6.4 - Viscosidade

Na Tabela 49, apresentam-se os resultados das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC) e viscosidade final a 50 °C (VF) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$). Ambas as variáveis estudadas foram significativas ($p \leq 0,05$) em VTC e VF, enquanto, para VI somente o foi a temperatura (Tabelas 74a a 76a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 50. Na resposta VI os termos linear e quadrático

de temperatura e a interação foram significativos ($p \leq 0,10$). O coeficiente de determinação explica 0,79 da variância total da resposta, porém, devido à falta de ajuste do resíduo ($p = 0,0090$), a equação deve ser empregada apenas para o estudo da tendência de variação da resposta.

A Figura 35 representa o gráfico de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação de viscosidade inicial em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com a elevação de temperatura e umidade, ocorreu aumento de VI. A viscosidade inicial comportou-se de forma similar ao observado no índice de absorção de água, estando de acordo com o constatado por GROSSMANN (1986).

Os valores de VI variaram entre 3,14 e 36,11 UVA, acima, portanto, dos 3,37 verificados na matéria-prima nativa. Esses valores são baixos, mostrando que, mesmo nos tratamentos mais drásticos, a pré-gelatinização foi incipiente, provavelmente, devido às condições brandas de extrusão utilizadas neste trabalho. A VI dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm comportou-se de forma similar ao verificado na fração de granulometria inferior a 532 μm , porém apresentou valores relativamente menores. Além disso, o efeito quadrático de temperatura também foi significativo.

Quanto à VTC observa-se, pela Tabela 50, que o termo linear de temperatura e a interação foram significativos ($p \leq 0,10$). Como o coeficiente de determinação explica 0,87 da variância total da resposta e não ocorreu falta de ajuste do resíduo ($p = 0,2314$), pode-se concluir que essa equação está adequada para representar a viscosidade máxima dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A Figura 36 representa o diagrama de superfície correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação de viscosidade à temperatura constante em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Com o aumento de temperatura e diminuição de umidade, a VTC diminuiu de forma linear.

Neste estudo, os valores experimentais de VTC variaram entre 80,68 e 234,91 UVA, ficando abaixo dos 225,11 verificados na matéria-prima nativa. Os resultados mostram que, mesmo nos tratamentos mais drásticos, a pré-gelatinização foi incipiente. Esses resultados foram similares aos observados por ANDERSON (1982).

Os amilogramas confirmam, também, a existência de grânulos intactos nas amostras extrusadas, devido à ocorrência de pico na faixa entre 60 e 75 °C, em consequência do entumescimento provocado pela gelatinização. A amostra processada a 162,4 °C foi exceção, apresentando comportamento diferenciado em relação aos demais tratamentos (Figura 37).

Os produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm apresentaram valores de viscosidade máxima à temperatura constante relativamente menores quando comparados aos da fração de granulometria superior a 532 µm, além de a variável umidade interferir significativamente na resposta.

Já na viscosidade final ou viscosidade a frio, após o cozimento, a equação do modelo ajustado explica somente 0,56 da variância total da resposta e, apesar da não existência de falta de ajuste, a mesma deve ser empregada com cautela, mais no sentido de estabelecer a tendência da resposta do que de prever um valor exato, sob determinadas condições. Com este intuito, o modelo foi empregado para traçar o diagrama de superfície que permite a visualização do efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na viscosidade final ou viscosidade a frio após o cozimento (Figura 38).

Observa-se que o aumento de temperatura e a diminuição de umidade provocam diminuição na viscosidade final dos extrusados de aveia, sendo este efeito praticamente linear. Os valores de VF variaram entre 185 e 320 UVA, sendo, portanto, similares, em média aos 245 verificados na matéria-prima nativa, o que mostra uma degradação relativamente pequena dos grânulos de amido.

Os extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm apresentaram comportamento diferenciado em relação aos da fração de granulometria superior a 532 µm. A primeira constatação é de que os valores obtidos foram menores, mostrando menor retrogradação do amido, ou seja, a cristalização decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido, através da formação de novas pontes de hidrogênio e de géis pouco solúveis, foi incipiente. Os resultados de VF apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em ambas as variáveis estudadas, fato que não ocorreu nos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm.

Tabela 49 -Valores experimentais das determinações de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade à temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	VI ₅₀ (UVA)	VTC ₉₅ (UVA)	VF ₅₀ (UVA)	Força gel (g)
1	90	17	3,26	222,97	257,35	29,5
2	150	17	8,77	80,68	127,60	10,0
3	90	24	4,59	219,40	254,80	28,6
4	150	24	36,11	176,46	284,89	18,1
5	77,6	20,5	3,57	234,91	269,59	34,1
6	162,4	20,5	27,03	100,88	185,44	16,3
7	120	15,5	5,61	107,81	188,50	32,2
8	120	25,5	5,51	219,40	277,24	30,9
9	120	20,5	4,20	197,30	318,02	36,8
10	120	20,5	3,14	208,39	316,81	34,6
11	120	20,5	6,94	191,86	320,28	38,7
Matéria-prima			3,37	225,11	245,62	24,1

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%);

2. UVA= unidades viscoamilográficas.

Tabela 50 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R²) e nível de significância de viscosidade inicial a 50 °C (VI), viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC), viscosidade final a 50 °C (VF) e força do gel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Resposta	Modelo ¹	R ²	Prob > F
VI ₅₀	$y = 60,91 - 1,4205T + 0,0063T^2 + 0,0102TU$	0,7899	0,0090
VTC ₉₅	$y = 365,63 - 3,1946T + 0,0796TU$	0,8746	0,0002
VF ₅₀	$y = 198,68 - 0,01261T^2 + 0,0999TU$	0,5648	0,0359
Força do gel	$y = -39,0470 + 1,4253T - 0,0069T^2$	0,7189	0,0062

1. T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

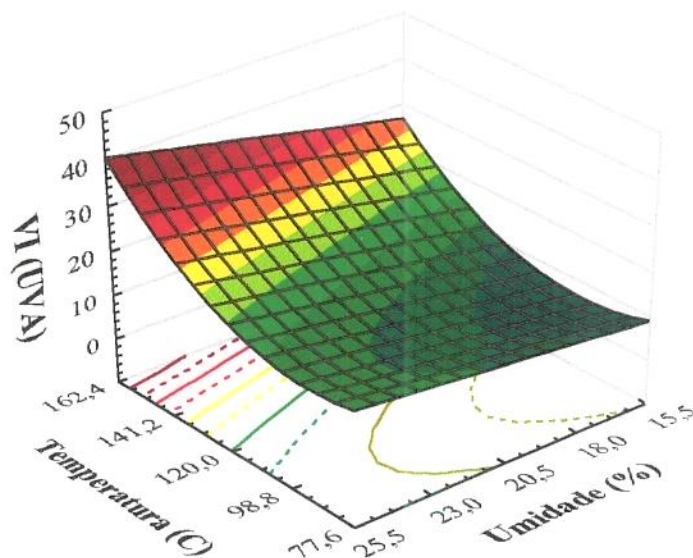


Figura 35 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade inicial a 50 °C (VI) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

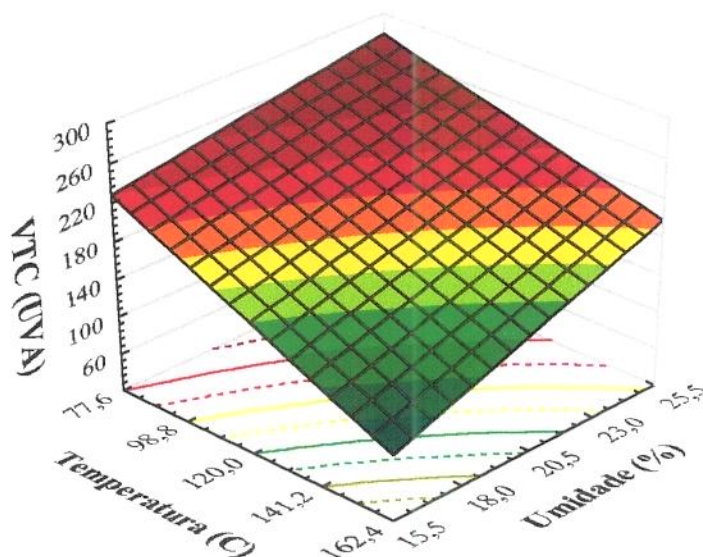


Figura 36 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade a temperatura constante a 95 °C (VTC) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

Viscosidade (UVA)

Temperatura (°C)

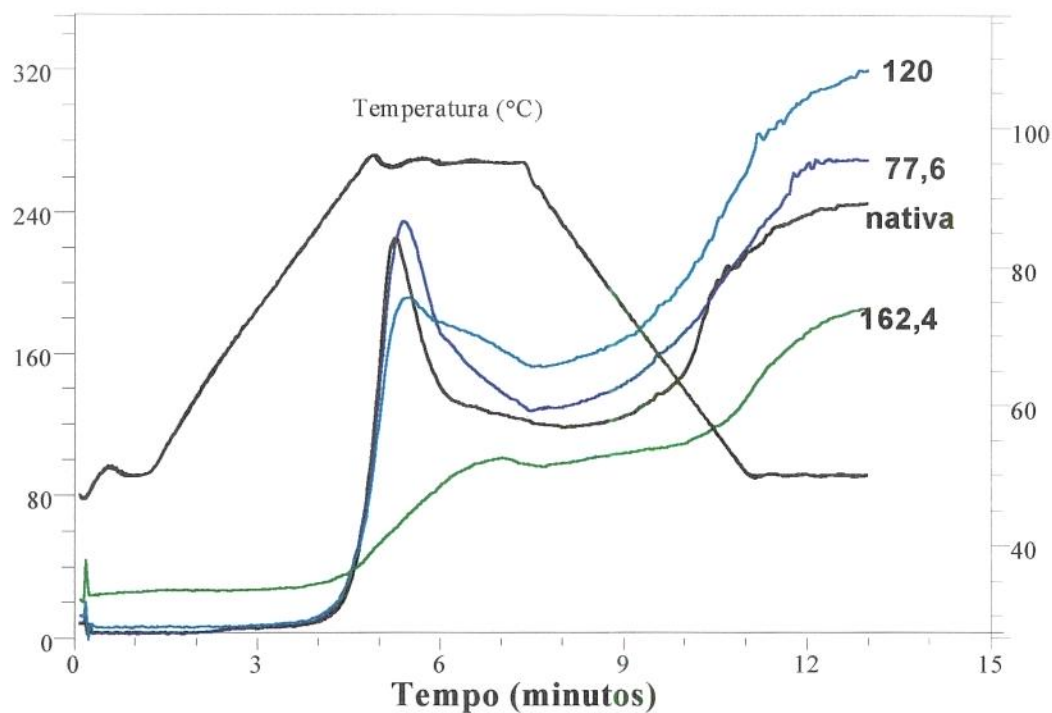


Figura 37 -Viscosidade (UVA) da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm nativa e extrusada na umidade de 20,5 % e em diferentes temperaturas (77,6, 120 e 162,4 °C).

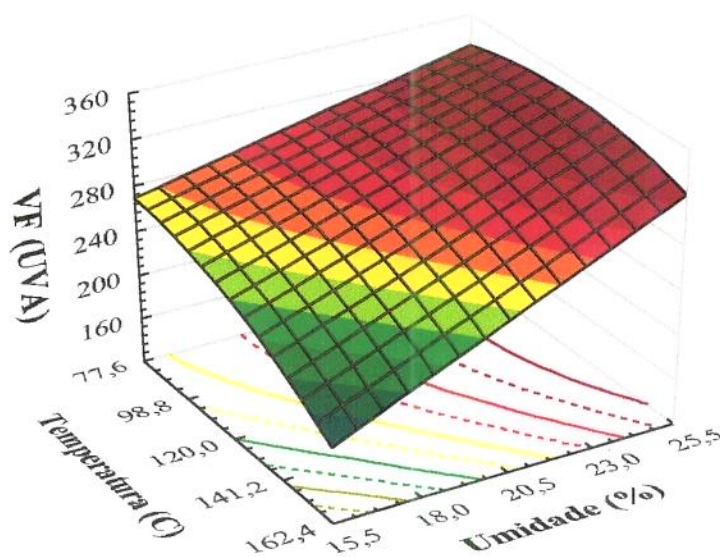


Figura 38 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na viscosidade final a 50 °C (VF) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

4.6.5 - Força do gel a 4 °C

Na Tabela 49, apresentam-se os resultados de força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm, obtidos em função das condições experimentais empregadas, valores que variaram entre 10,0 e 38,7 g.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e que o resíduo não apresenta falta de ajuste ($p = 0,1106$). Somente a variável temperatura de extrusão interferiu significativamente ($p \leq 0,05$) na resposta (Tabela 77a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 50. Verifica-se que tanto o termo linear ($p = 0,0431$) quanto o quadrático ($p = 0,0127$) da variável temperatura de extrusão interferiram significativamente no modelo ajustado. O coeficiente de determinação (0,72) mostra uma variância aceitável para este tipo de propriedade avaliada. Portanto, pode-se concluir que esta equação é adequada para representar a força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm, dentro do intervalo de variação estudado.

A variação de força do gel a 4 °C em função de temperatura de extrusão está representada na Figura 39. Verifica-se que o gel apresentou relação quadrática convexa, diminuindo com o aumento de temperatura, ou seja, o gel é menos viscoso. Este fato foi semelhante ao observado na viscosidade final, com a exceção de que a umidade inicial da matéria-prima não foi significativa.

De forma similar ao que ocorreu na viscosidade final, a força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm foi relativamente menor se comparado aos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, resultando num gel menos firme, ou seja, o grau de retrogradação do amido foi menor. A fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm apresenta maior concentração de amido enquanto a de granulometria superior a 532 µm, menor concentração de amido e maior de proteínas, lipídios e fibras. Essas diferenças de composição química entre as frações estudadas devem ter interferido na força do gel a 4 °C dos produtos extrusados.

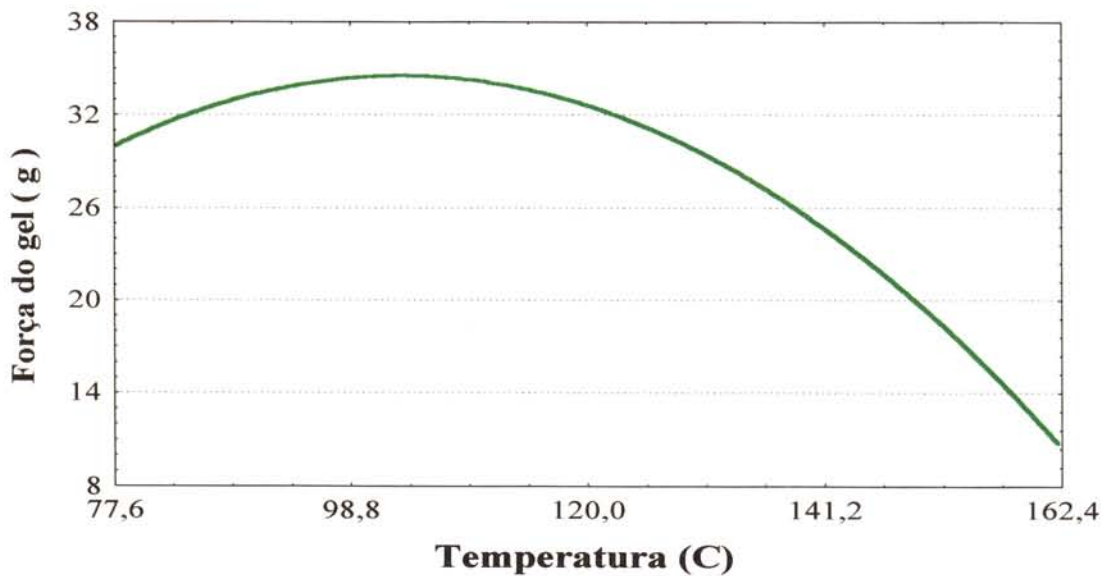


Figura 39 -Efeito de temperatura de extrusão na força do gel a 4 °C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

4.6.6 - Cor

Na Tabela 51, apresentam-se os resultados das determinações dos componentes L^* , a^* , b^* e grau de brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos completos. Observa-se, pela análise de variância, que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$). Ambas as variáveis estudadas foram significativas ($p \leq 0,05$) (Tabelas 78a a 81a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 52. Nas variáveis respostas L^* , a^* e b^* os coeficientes de determinação explicam de 0,69 a 0,98 da variância total das respostas. Isso mostra que as equações estão aceitáveis para representar a cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

Quanto ao grau de brancura, verifica-se pela Tabela 52 que somente a interação foi significativa ($p \leq 0,10$). Assim, devido a baixa variância explicada pelo coeficiente de determinação (0,50), a equação deve ser empregada apenas para o estudo da tendência de variação da resposta.

A Figura 40 ilustra, em forma de diagrama de superfície, o efeito de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no componente L^* de cor (luminosidade) da fração de aveia estudada. Verifica-se que a luminosidade diminuiu com o aumento da umidade inicial da matéria-prima. Com o aumento da temperatura de extrusão, a luminosidade diminuiu até atingir o ponto de mínimo, em torno de 120 °C, aumentando a seguir. A menor luminosidade ocorreu nos produtos extrusados a 120 °C e com 25,5 % de umidade. Produtos mais claros foram obtidos a baixas umidades e usando-se temperaturas diferentes de 120 °C. Quanto ao grau de brancura, observa-se uma diminuição linear com os aumentos de umidade inicial e temperatura de extrusão (Figura 41), ou seja, a intensidade de cor dos produtos extrusados se elevou.

As Figuras 42 e 43 representam os gráficos de superfície correspondentes aos modelos ajustados, que estabelecem as variações dos componentes a^* e b^* de cor em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Verifica-se que os valores de a^* e b^* aumentam com os aumentos de umidade inicial a baixas temperaturas, ocorrendo o inverso em temperaturas elevadas. Ao aumentar a temperatura de extrusão, os valores de a^* e b^* aumentam a baixas umidades, ocorrendo o inverso em umidades elevadas. Assim, maiores valores de a^* (vermelho) e b^* (amarelo), ou seja, amostras mais escuras são obtidas em altas temperaturas e baixas umidades ou vice-versa; menores valores de a^* e b^* ocorreram em temperaturas e umidades mais baixas. É importante ressaltar que as variações dos componentes L^* , a^* e b^* encontradas neste trabalho, embora sejam significativas, foram relativamente pequenas, provocando alterações mínimas na cor dos produtos extrusados se comparados com os valores L^* , a^* e b^* da matéria-prima nativa (Tabela 51). Os valores de L^* (luminosidade) e a^* (vermelho) dos produtos extrusados variaram entre 81,02-85,51 e 1,20-1,77, respectivamente.

Os resultados de L^* (luminosidade) e do grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm foram relativamente maiores em relação aos da fração de granulometria superior a 532 μm , indicando uma maior claridade desses produtos. Também nos componentes a^* (vermelho) e b^* (amarelo), os valores obtidos apresentaram menores limites inferiores, confirmando a maior claridade desses produtos.

Tabela 51 -Valores experimentais das determinações dos componentes L*, a*, b* e brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		Determinações			
	T	U	L*	a*	b*	Brancura
1	90	17	85,51	1,24	11,26	56,27
2	150	17	84,18	1,61	13,42	51,41
3	90	24	83,43	1,63	12,91	50,99
4	150	24	82,60	1,47	12,59	49,83
5	77,6	20,5	85,24	1,20	10,77	57,05
6	162,4	20,5	84,13	1,45	12,87	51,83
7	120	15,5	83,79	1,32	12,62	51,59
8	120	25,5	81,02	1,77	13,85	46,38
9	120	20,5	83,19	1,38	12,84	50,56
10	120	20,5	83,04	1,31	12,41	50,75
11	120	20,5	83,12	1,35	12,64	50,53
Matéria-prima			83,04	1,31	12,41	50,75

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 52 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R²) e nível de significância dos componentes L*, a*, b* e brancura do sistema CIELAB de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Resposta	Modelo ¹	R ²	Prob > F
L*	$y = 96,62 - 0,2847T + 0,7326U + 0,0011T^2 - 0,0245U^2$	0,9882	0,0001
a*	$y = 1,2162 + 0,0282T - 0,1978U + 0,0093U^2 - 0,0013TU$	0,9071	0,0030
b*	$y = -6,25 + 0,1411T + 0,8002U - 0,0059TU$	0,6875	0,0345
Brancura	$y = 59,1633 - 0,0031TU$	0,4998	0,0150

1. T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

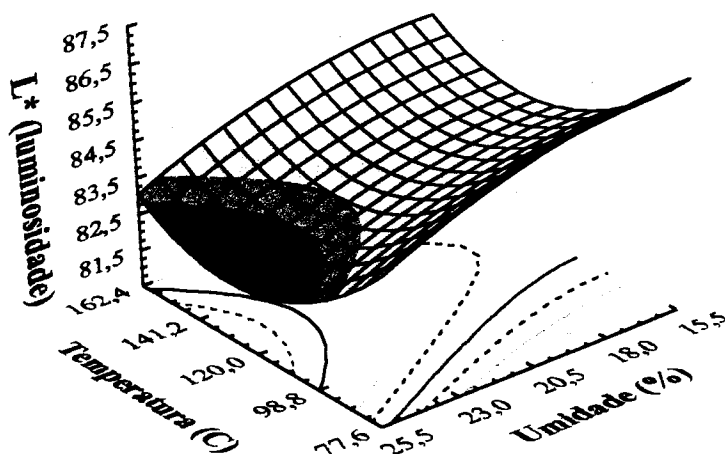


Figura 40 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente L* de cor (luminosidade) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

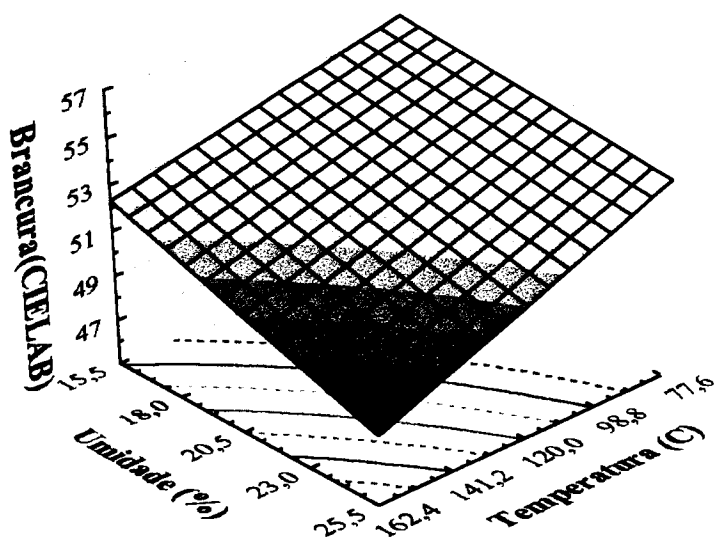


Figura 41 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

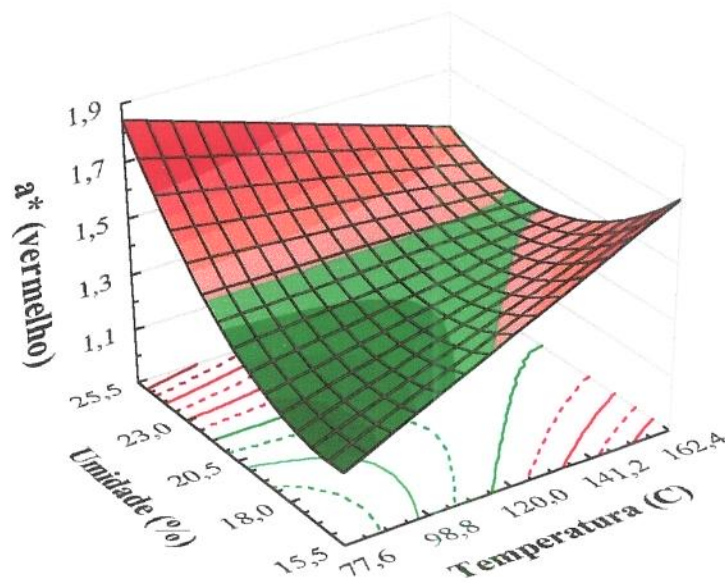


Figura 42 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente a^* de cor (vermelho) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

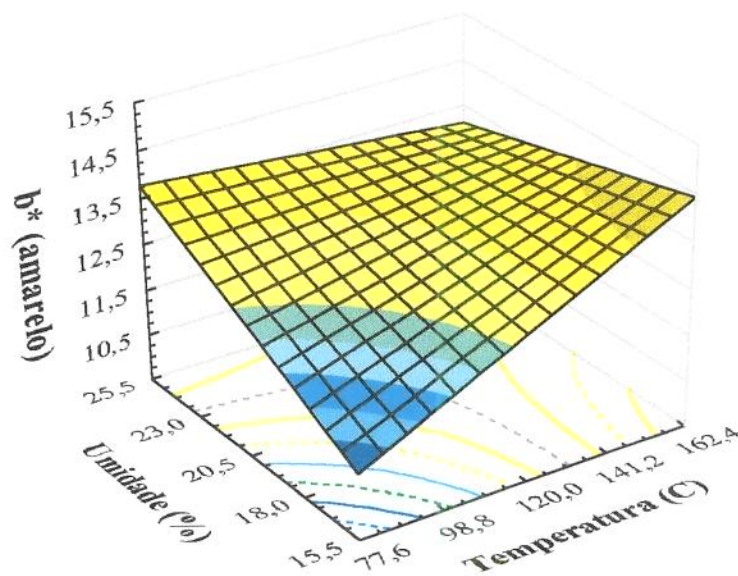


Figura 43 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente b^* de cor (amarelo) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

4.6.7 - Atividade das enzimas lipase e peroxidase

Na Tabela 53, apresentam-se os resultados das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceram-se os modelos de regressão completos. Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$) e que os resíduos não apresentam falta de ajuste ($p > 0,05$). Ambas as variáveis estudadas foram significativas ($p \leq 0,05$), tanto em lipase quanto em peroxidase (Tabelas 82a e 83a). A partir dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com os seus respectivos coeficientes de determinação e níveis de significância, encontram-se na Tabela 54. Na resposta lipase, os termos linear e quadrático das variáveis estudadas foram significativos ($p \leq 0,05$); em peroxidase, ambos os termos de temperatura de extrusão, o linear de umidade da matéria-prima e a interação. A adequabilidade dos modelos ajustados pode ser verificada pelos coeficientes de determinação, que explicam acima de 0,93 da variância total das respostas. Em razão desses resultados, conclui-se que as equações podem prever o comportamento das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

A Figura 44 representa o gráfico tridimensional correspondente ao modelo ajustado, que estabelece a variação da atividade de lipase em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima. Verifica-se a influência de valores intermediários de temperatura e umidade no aumento de atividade residual da lipase. Valores extremos, tanto altos quanto baixos, de ambas as variáveis estudadas resultaram em menores teores de atividade da enzima. A atividade de lipase foi reduzida de 14,30 na matéria-prima para 1,1 %, em média, quando utilizadas condições extremas de processamento (Tabela 53).

Os valores de hidrólise da atividade residual de lipase variaram entre 1,01 e 2,44 %, ou seja, ocorreu uma redução entre 83 e 93 % da atividade inicial com o processo de extrusão. Os níveis residuais de atividade de lipase (7-17 %) são relativamente baixos, mostrando que a enzima foi praticamente inativada em todas as condições estudadas.

Na Figura 45, representa-se em forma de diagrama de superfície, o efeito de temperatura e umidade na atividade de peroxidase. Com o aumento de temperatura de extrusão, ocorreu diminuição de atividade da enzima. Quanto à umidade, verifica-se que, em altas temperaturas a atividade diminuiu com o aumento de umidade, ocorrendo o inverso ao se utilizarem baixas temperaturas de extrusão. A atividade de peroxidase variou entre 28 e 1.516 Abs₄₂₀/min/g, ficando abaixo dos 13.500 verificados na matéria-prima nativa, ou seja, ocorreu uma redução entre 89 e 99 % da atividade inicial.

De forma similar ao observado na atividade de lipase, as condições de extrusão reduziram drasticamente a atividade residual de peroxidase. Os resultados obtidos sugerem que todas as enzimas presentes nessa fração de aveia foram inativadas, pois a peroxidase é utilizada para se verificar a efetividade do tratamento térmico aplicado, que se mostrou praticamente inativada.

Tabela 53 -Valores experimentais das determinações das atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		Determinações	
	T	U	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} /min/g)
1	90	17	2,14	585
2	150	17	1,73	28
3	90	24	2,10	1.082
4	150	24	1,26	18
5	77,6	20,5	2,44	1.516
6	162,4	20,5	1,01	46
7	120	15,5	1,93	8,3
8	120	25,5	1,60	270
9	120	20,5	2,19	150
10	120	20,5	2,14	230
11	120	20,5	2,27	192
Matéria-prima			14,30	13.500

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 54 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R²) e nível de significância para as atividades de lipase e peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Resposta	Modelo ¹	R ²	Prob > F
Lipase	$y = -5,99 + 0,0453T + 0,6489U - 0,0002T^2 - 0,0166U^2$	0,9302	0,0013
Peroxidase	$y = 3.167 - 69,98T + 175,65U + 0,3305T^2 - 1,2071TU$	0,9838	0,0001

1. T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

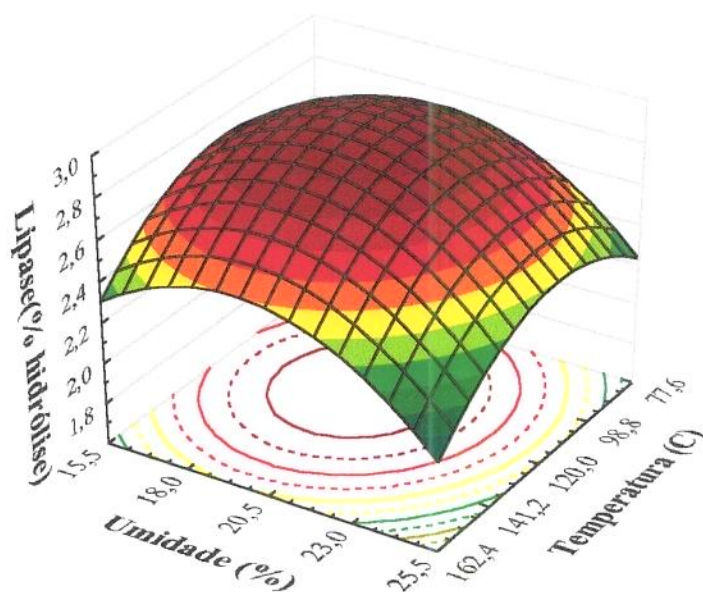


Figura 44 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

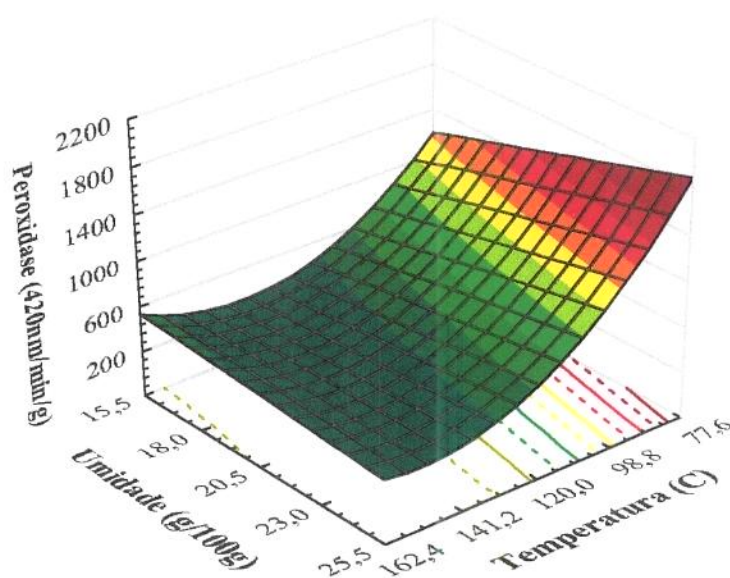


Figura 45 -Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm .

O efeito dos experimentos de moagem e extrusão na atividade residual das enzimas lipase e peroxidase dos produtos de aveia, bem como na matéria-prima nativa, está representado, de forma comparativa, nas Figuras 46 e 47. A atividade das enzimas diminuiu drasticamente com o processo por extrusão, sendo mais significativa na peroxidase, se comparada às atividades residuais das frações de moagem de aveia e da matéria-prima não processada.

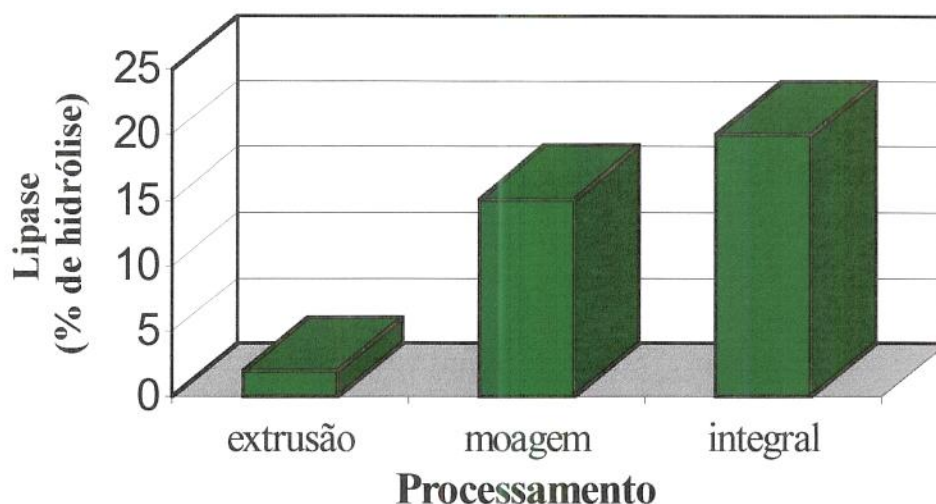


Figura 46 -Efeito do tipo de processamento na atividade residual de lipase dos produtos de aveia em comparação com a matéria-prima não processada.

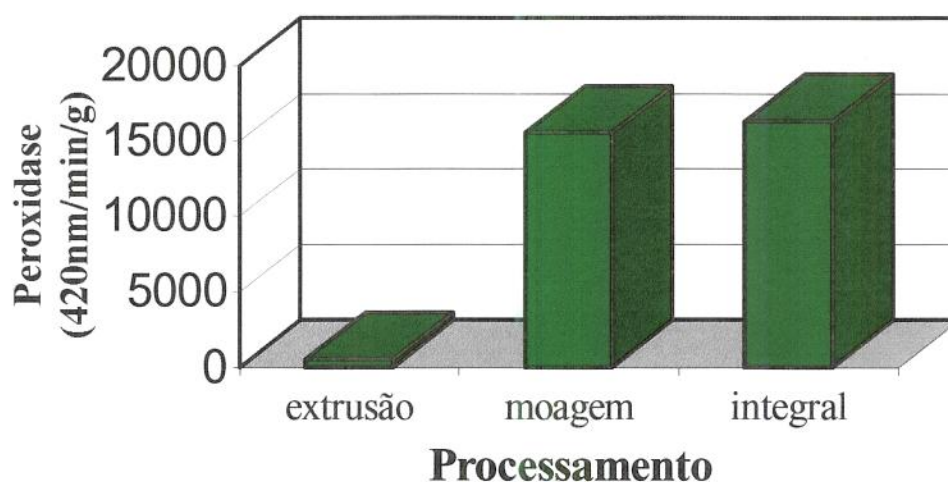


Figura 47 -Efeito do tipo de processamento na atividade residual de peroxidase dos produtos de aveia em comparação com a matéria-prima não processada.

4.7 -Efeito de Umidade da Matéria-Prima e Temperatura de Extrusão na Estabilidade ao Armazenamento de Produtos Extrusados da Fração de Aveia de Granulometria Inferior a 532 μm

4.7.1 - Índice de acidez

Na Tabela 55, apresentam-se os resultados das determinações do índice de acidez dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas. De acordo com os dados experimentais, realizou-se a análise de variância (ANOVA) o completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após extrusão). Observa-se pelo modelo de regressão que nenhuma das variáveis estudadas foi significativa ($p>0,05$) (Tabela 84a). O índice de acidez dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm variou entre 11,46 e 14,83 mg de KOH/g de óleo, com valor médio de 13,32 %. Esses resultados mostram que as condições de processamento foram suficientes para que ocorresse a paralisação da produção de ácidos graxos livres, pelo menos no tempo zero de armazenamento.

Na avaliação do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , tempos 21, 42, 63, 84 e 126 dias, verifica-se, pelas análises de variância (ANOVA) que os modelos também não foram significativos ($p>0,05$), ou seja, a acidez não variou estatisticamente entre as condições estudadas nos diferentes tempos de armazenamento. Isso fica melhor evidenciado na comparação entre os índices médios de acidez dos produtos extrusados e a matéria-prima nativa da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm ao longo do tempo de armazenamento (Figura 48). Verifica-se que a acidez do óleo dos produtos extrusados permaneceu estável, ao passo que a quantidade de ácidos graxos livres da matéria-prima nativa aumentou de forma praticamente linear com o aumento do tempo de armazenamento.

O fato de a acidez do óleo dos produtos extrusados não aumentar com o tempo de armazenamento deveu-se à inativação das enzimas produtoras de ácidos graxos livres em todas as condições de extrusão estudadas. Esses resultados são similares aos observados nos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , com a ressalva de que os valores de acidez dos extrusados da fração de granulometria inferior a 532 μm foram ligeiramente superiores desde o início do armazenamento.

Tabela 55 -Valores experimentais do índice de acidez durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)					
	T	U	48 h	21 dias	42 dias	63 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	12,99	12,00	11,54	11,70	13,09	13,40
2	150	17	13,52	12,72	11,68	11,55	12,45	13,75
3	90	24	11,46	10,67	09,99	10,36	11,06	11,25
4	150	24	13,91	14,05	13,89	14,03	14,02	14,39
5	77,6	20,5	14,44	14,20	13,19	13,17	14,32	14,69
6	162,4	20,5	14,06	14,18	14,02	13,86	14,50	14,74
7	120	15,5	11,54	10,45	10,60	12,37	11,49	11,97
8	120	25,5	14,01	13,91	13,75	13,68	15,01	15,12
9	120	20,5	13,93	13,59	14,06	14,19	13,88	14,60
10	120	20,5	14,83	13,44	13,09	13,39	13,90	13,86
11	120	20,5	11,80	10,73	11,26	11,15	12,69	13,40
Matéria-prima			10,09	57,40	80,70	103,44	120,24	142,50

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

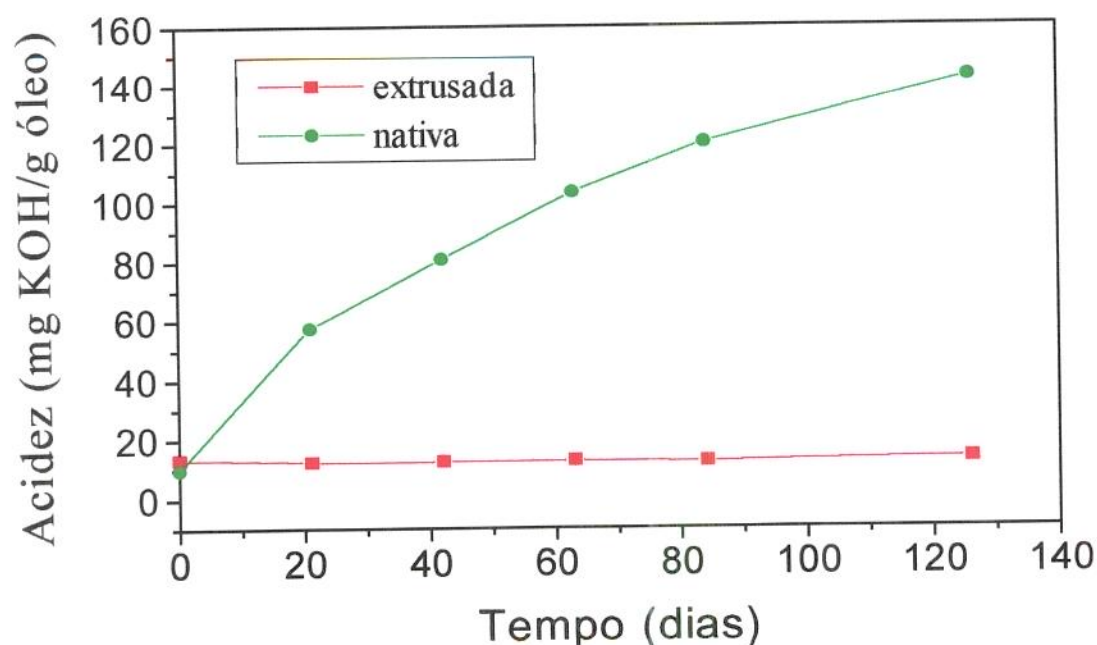


Figura 48 -Índice médio de acidez da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm : extrusada e nativa, em função do tempo de armazenamento.

4.7.2 - Índice de peróxidos

Na Tabela 56, apresentam-se os resultados das determinações do índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após a extrusão). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) (Tabela 85a). A partir do modelo completo eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 57. Verifica-se que ambos os termos da variável temperatura, bem como o linear de umidade e a interação interferiram significativamente no modelo ajustado. Embora a variância explicada pelo coeficiente de determinação seja relativamente alta (0,89), a equação deve ser empregada apenas para o estudo da tendência de variação, pois o modelo apresentou falta de ajuste ($p = 0,0145$), o que indica que outras variáveis além de temperatura e umidade deveriam ter sido controladas. Com este intuito, o modelo foi empregado para traçar o diagrama de superfície que permite visualizar o efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia estudada (Figura 49).

Observa-se que aumentos de temperatura de extrusão e diminuição de umidade inicial da matéria-prima provocaram aumentos no índice de peróxidos dos extrusados no tempo zero de armazenamento. Os valores variaram entre traços e 13,46 mmoles/kg de óleo.

Ao avaliar o efeito de temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , tempos zero, 42, 84 e 126 dias (Figura 50) observa-se que os peróxidos apresentaram relação quadrática convexa, aumentando com a elevação de temperatura de extrusão. Em relação aos tempos de armazenamento (zero, 42, 84 e 126 dias), verifica-se que o índice de peróxidos dos extrusados aumentou de forma proporcional.

Contudo, nos tratamentos um, cinco, bem como na matéria-prima nativa, os níveis de peróxidos foram de apenas traços, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já, nos produtos extrusados a 162,4 °C, os valores passaram de 6,05, tempo zero, para 85,60 mmoles de peróxidos/kg de óleo aos 126 dias de armazenamento. Se considerarmos o limite de 20 mmoles/kg de óleo (MUSTAKAS et alii, 1970) para analisar os produtos obtidos, veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco já citados, pode ser considerado aceitável o extrusado número três. Todos os demais tratamentos atingiram valores superiores aos estabelecidos por MUSTAKAS et alii (1970), o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, alterando conseqüentemente, o sabor e a qualidade dos produtos extrusados. Ao se reduzir este tempo para 42 dias de armazenamento, o número de produtos aceitáveis ao consumo humano aumentou para cinco, sendo eliminados os tratamentos realizados nas temperaturas iguais ou superiores a 150 °C e a 120 °C e com 15,5 % de umidade.

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm, considerando as modificações nas propriedades de gelatinização, inativação enzimática, produção de ácidos graxos livres e estabilidade dos produtos extrusados, determinada através do índice de peróxidos após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120 °C mostraram-se adequadas para o processamento de aveia em extrusor monorosca, independentemente do nível de umidade inicial da matéria-prima. Esse comportamento foi similar ao verificado nos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm, porém, no tempo zero, a variável umidade também foi significativa e os valores de peróxidos durante o armazenamento dos extrusados foram relativamente maiores.

Os produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm apresentaram maior rancidez oxidativa devido aos antioxidantes, presentes em quantidades relativamente menores em comparação aos extrusados da fração de granulometria superior a 532 µm. A menor quantidade de antioxidantes deveu-se ao processo de moagem e à concentração das porções externas da cariopse na fração granulometria superior a 532 µm, mais ricas nesses componentes.

Tabela 56 -Valores experimentais do índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Nº	Variáveis ¹		Índice de peróxidos (mmoles/kg de óleo)			
	T		48 hora	42 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	traços	traços	traços	traços
2	150	17	13,46	43,94	62,92	77,62
3	90	24	1,47	1,90	3,54	4,79
4	150	24	2,83	33,42	48,39	40,32
5	77,6	20,5	traços	traços	traços	traços
6	162,4	20,5	6,05	39,36	43,81	85,60
7	120	15,5	5,10	22,45	58,73	66,26
8	120	25,5	3,06	18,99	33,84	47,79
9	120	20,5	5,94	22,04	40,80	58,28
10	120	20,5	6,20	17,04	37,35	58,70
11	120	20,5	6,41	18,60	39,01	54,54
Matéria-prima			traços	traços	traços	traços

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 57 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

Resposta	Modelo*	(R^2)	Prob >F
t = 48 h	$y = -86,10 + 0,9852T + 3,0237U - 0,0012T^2 - 0,0288TU$	0,8953	0,0042
42 dias	$y = -46,72 + 0,5627T - 0,00007T^2$	0,9439	0,0001
84 dias	$y = -213,30 + 3,5341T - 0,0118T^2$	0,8469	0,0005
126 dias	$y = -233,80 + 3,7970T - 0,0117T^2$	0,8101	0,0013

* T = temperatura de extrusão (°C) e U = umidade da matéria-prima (%).

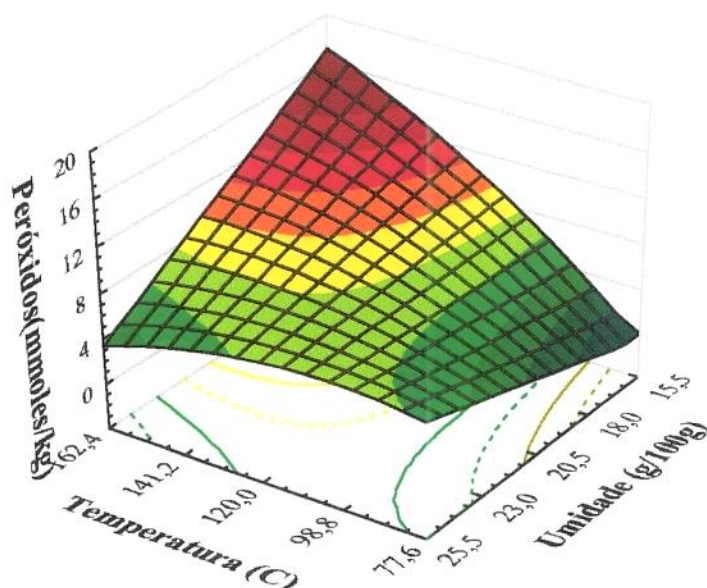


Figura 49 -Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima e no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , avaliado no tempo zero ($t= 48$ horas) de armazenamento.

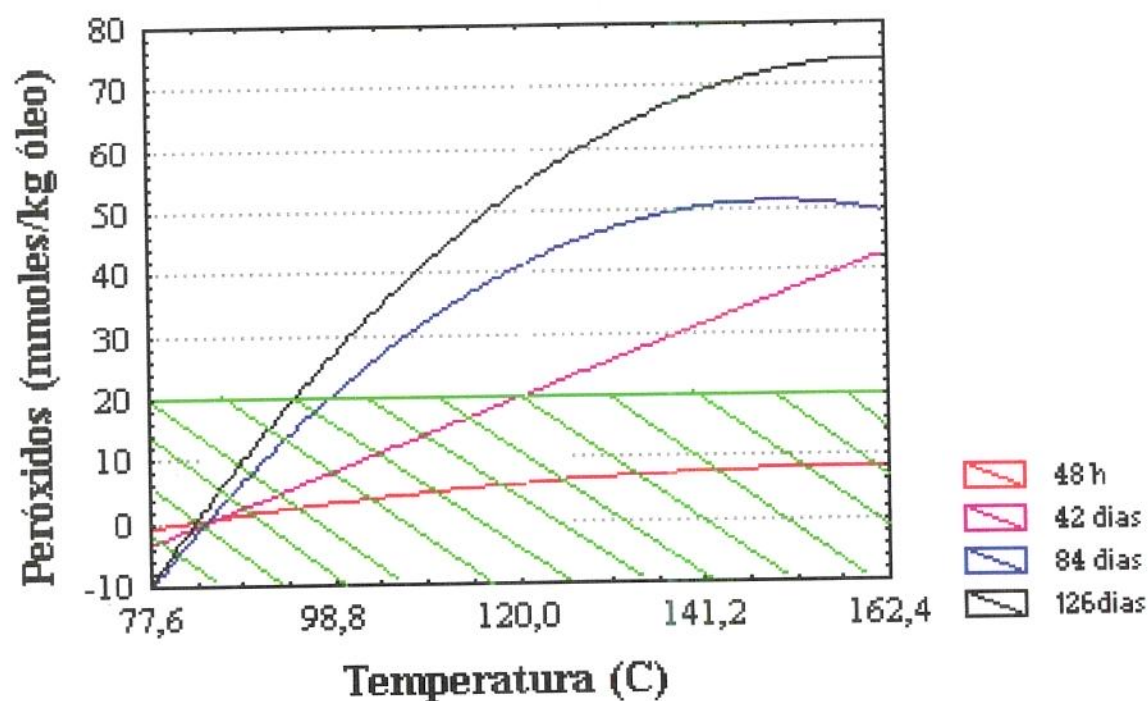


Figura 50 -Efeito de temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm em função do tempo de armazenamento ($t= 48$ horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).

4.7.3 - n-Hexanal

Na Tabela 58, apresentam-se os resultados das determinações de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , obtidos em função das condições experimentais empregadas.

De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após extrusão). Observa-se, pela análise de variância (ANOVA), que o modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e que não apresenta falta de ajuste ($p = 0,0811$) (Tabela 86a). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos através do procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com os seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 59. Verifica-se que os termos linear ($p = 0,0565$) e quadrático ($p = 0,0002$) da variável temperatura de extrusão interferiram significativamente no modelo ajustado. A adequabilidade do modelo ajustado pode ser verificada pelo coeficiente de determinação, que explica 0,71 da variância total das respostas. Em razão disso, conclui-se que a equação pode prever o comportamento do teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , dentro do intervalo de variação estudado.

O teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia estudada variou entre 0,49 e 3,07 mg/kg de amostra, com valor médio de 1,68, portanto, superior aos 0,45 encontrados na matéria-prima nativa.

Na avaliação do teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , tempos 21, 42, 63, 84 e 126 dias, verifica-se, pela análise de variância (ANOVA), que os modelos também foram significativos ($p \leq 0,05$). Tanto os termos lineares quanto os quadráticos da variável temperatura de extrusão interferiram significativamente nos modelos ajustados (Tabela 59).

Ao avaliar o efeito de temperatura de extrusão no teor de n-hexanal dos extrusados de aveia, tempos zero, 21, 42, 84 e 126 dias (Figura 51), observa-se que o n-hexanal apresentou uma relação quadrática convexa, aumentando com a elevação de temperatura de extrusão. Em relação

aos tempos de armazenamento (zero, 21, 42, 84 e 126 dias), a concentração de n-hexanal dos extrusados aumentou de forma proporcional.

De forma análoga ao que ocorreu com o índice de peróxidos, os tratamentos um, cinco e a matéria-prima nativa apresentaram níveis de n-hexanal relativamente baixos, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já nos produtos extrusados a 150 °C e com 24 % de umidade, os valores passaram de 2,18, tempo zero, para 11,91 mg de n-hexanal /kg de amostra aos 126 dias de armazenamento, ou seja, a rancidez oxidativa aumentou com a elevação da temperatura de extrusão.

Se considerarmos cinco mg de hexanal /kg de amostra como valor limite para analisar os produtos obtidos (FRITSCH & GALE, 1977), veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco já citados, podem ser considerados aceitáveis os extrusados números três e sete. Todos os demais tratamentos atingiram valores superiores, o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, alterando-se, por consequência, o sabor e a qualidade dos produtos extrusados. Pode-se dizer que os tratamentos realizados nas temperaturas iguais ou superiores a 120 °C apresentaram teores de n-hexanal acima do aceitável, independentemente do teor de umidade inicial da matéria-prima. Ao reduzir este tempo para 42 dias de armazenamento, o número de produtos ainda aceitáveis ao consumo humano aumentou para sete, sendo eliminados os tratamentos realizados nas temperaturas de 120 e 150 °C e com umidades de 25,5 e 20,5 %, respectivamente.

Na Figura 52, representam-se os cromatogramas da formação de n-hexanal em função do tempo de armazenamento dos produtos da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm e extrusados à temperatura de 120 °C e com 20,5 % umidade. Verifica-se que o comportamento foi similar ao relatado por FRITSCH & GALE (1977), ou seja, com o aumento da rancidez oxidativa, a concentração de n-hexanal aumentou, ocorrendo o aparecimento de um novo pico.

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm, considerando as modificações nas propriedades de gelatinização, inativação enzimática, produção de ácidos graxos livres e estabilidade dos produtos extrusados, determinada através do teor de n-hexanal após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120 °C mostraram-se adequadas para o processamento de aveia em extrusor

monorosca, não importando o nível de umidade inicial da matéria-prima. Para realizar o processamento em maiores temperaturas, é necessário que se controlem outros fatores, como atividade de água dos produtos processados, área superficial, embalagem de acondicionamento (FRITSCH & GALE, 1977), ou que se adicionem antioxidantes (PERCHERON & LÖLIGER, 1990). O uso de menores taxas de compressão e de maiores velocidades de rosca também pode interferir favoravelmente no aumento da estabilidade ao armazenamento de produtos extrusados de aveia.

Os produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm apresentaram comportamento similar aos da fração de granulometria superior a 532 μm , porém, no tempo zero, a variável temperatura foi significativa, e os valores de n-hexanal, durante o armazenamento dos produtos extrusados, foram relativamente maiores. A maior rancidez oxidativa desses extrusados, de forma similar ao verificado em peróxidos, deveu-se à presença de menores quantidades de antioxidantes na matéria-prima utilizada e ao maior tempo de residência em comparação aos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm .

Tabela 58 - Valores experimentais de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm

Nº	Variáveis ¹		n-Hexanal (mg/kg de amostra)					
	T	U	48 h	21 dias	42 dias	63 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	0,49	0,74	0,95	1,09	1,40	2,03
2	150	17	1,14	2,19	2,74	3,08	3,69	5,85
3	90	24	0,65	0,71	0,76	0,87	0,89	1,57
4	150	24	2,18	3,78	5,10	7,01	7,99	11,91
5	77,6	20,5	0,62	0,64	0,66	0,69	1,18	1,46
6	162,4	20,5	1,34	2,57	3,35	3,58	4,28	5,44
7	120	15,5	1,99	2,42	2,96	3,63	4,13	4,85
8	120	25,5	3,07	4,74	5,63	5,78	9,05	11,60
9	120	20,5	2,15	5,01	6,57	7,00	8,08	8,72
10	120	20,5	2,32	5,03	6,75	7,06	7,97	8,89
11	120	20,5	2,49	5,08	6,42	6,55	7,81	8,81
Matéria-prima			0,45	0,58	0,62	0,66	1,71	0,76

1. T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 59 -Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm

Resposta	Modelo ¹	R^2	Prob >F
t = 48 h	$y = -12,37 + 0,2306T - 0,0009T^2$	0,7099	0,0071
21 dias	$y = -25,61 + 0,4663T - 0,0018T^2$	0,6943	0,0087
42 dias	$y = -33,06 + 0,5984T - 0,0023T^2$	0,6823	0,0102
63 dias	$y = -34,33 + 0,6172T - 0,0024T^2$	0,6940	0,0088
84 dias	$y = -41,78 + 0,7563T - 0,0029T^2$	0,6690	0,0120
126 dias	$y = -44,42 + 0,7981T - 0,0030T^2$	0,6432	0,0162

1. T = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$) e U = umidade da matéria-prima (%).

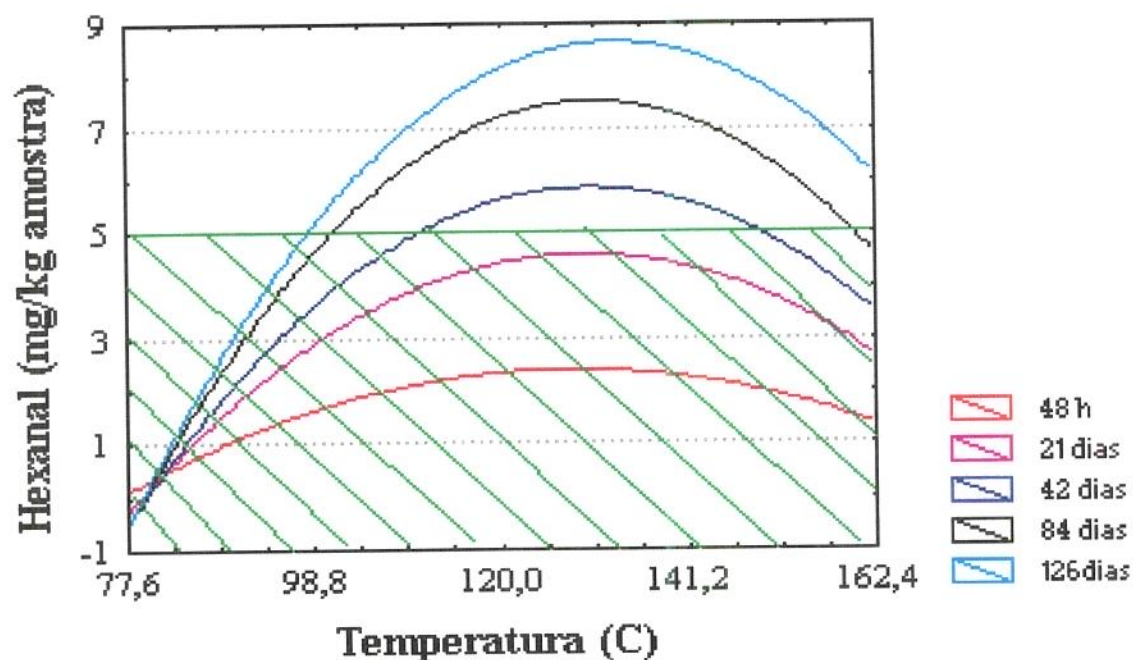


Figura 51 -Efeito de temperatura de extrusão no teor de n-hexanal dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , em função do tempo de armazenamento (t= 48 horas, 21 dias, 42 dias, 63 dias, 84 dias e 126 dias).

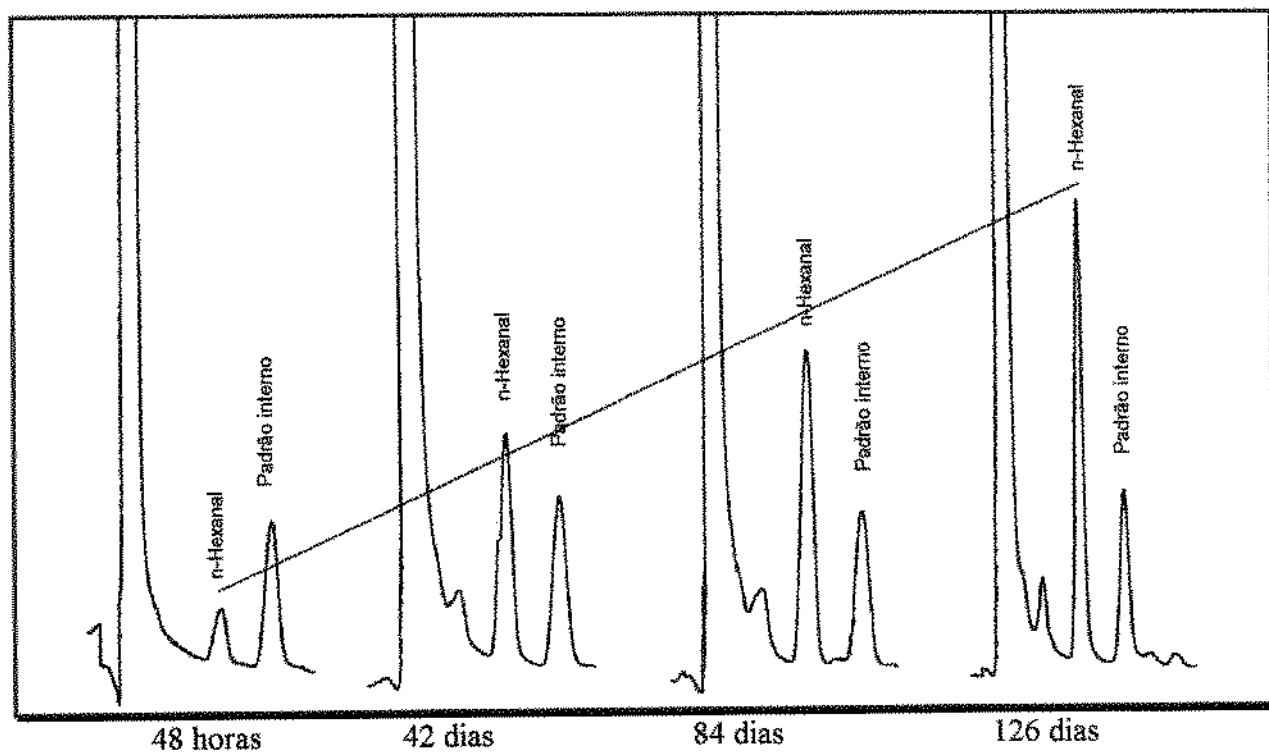


Figura 52 -Cromatogramas representativos da formação de n-hexanal nos produtos da fração de aveia de granulometria inferior a 532 μm , extrusados à temperatura de 120 °C e com 20,5 % umidade, em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42, 84 e 126 dias).

5 - CONCLUSÕES

1. EFEITO DE UMIDADE DE CONDICIONAMENTO E TEMPERATURA DE SECAGEM NO RENDIMENTO DE MOAGEM, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ESTABILIDADE DE FRAÇÕES DE AVEIA

- O rendimento da fração de granulometria superior a 532 μm diminuiu com a redução da umidade de condicionamento das cariopses (14,2-5,8 %), ocorrendo o inverso nas frações de granulometrias intermediária (532-150 μm) e inferior a 150 μm . As concentrações, em base seca, de proteínas, lipídios e cinzas das frações estudadas diminuíram com o aumento da umidade de condicionamento, enquanto a de carboidratos aumentou. As frações apresentaram alta rancidez hidrolítica, e o aumento do índice de acidez foi proporcional ao tempo de armazenamento. Os peróxidos não foram detectados mesmo nas amostras com quantidades elevadas de ácidos graxos livres e armazenadas por 60 dias.
- As temperaturas de secagem (44,6-115,4 °C) não interferiram significativamente ($p>0,05$) no rendimento de moagem e na composição centesimal aproximada das frações de aveia.

2. EFEITO DE UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS DE PRODUTOS EXTRUSADOS DAS FRAÇÕES DE AVEIA DE GRANULOMETRIAS SUPERIOR E INFERIOR A 532 μm

- A energia mecânica aumentou com a elevação de umidade da matéria-prima (15,5-25,5 %) independentemente da temperatura de extrusão (77,6-162,4°C).
- O índice de absorção de água dos extrusados foi relativamente baixo (4,16-6,35 g gel/ g amostra), aumentando com a elevação da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão. O índice de solubilidade mostrou-se inversamente proporcional à temperatura, diminuindo com o aumento da severidade do tratamento térmico aplicado.
- O aumento da viscosidade inicial de pasta foi proporcional à umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão, enquanto as viscosidades máxima à temperatura constante e final diminuíram com o aumento da temperatura.

- Produtos com menores valores de L* (luminosidade) e maiores de a* (vermelho) e b* (amarelo) foram obtidos a altas umidades e usando-se temperaturas de extrusão de 120 °C. Os extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm apresentaram maior claridade quando comparados aos da fração de granulometria superior a 532 µm.
- Os produtos extrusados apresentaram maior concentração de fibra alimentar solúvel quando comparados à matéria-prima, porém as variáveis de extrusão estudadas não interferiram significativamente ($p>0,05$) nos teores de fibras.
- A temperatura de extrusão afetou o valor nutritivo das proteínas, ocorrendo diminuição de lisina disponível com o aumento da temperatura de extrusão. Embora a digestibilidade *in vitro* não tenha variado significativamente ($p>0,05$), o uso de temperaturas intermediárias (120 °C) e baixas umidades resultaram em maiores valores de digestibilidade, sugerindo que a combinação de condições de extrusão pode ser aplicada com benefícios no valor nutritivo das proteínas de aveia.
- A atividade das enzimas lipase e peroxidase dos produtos diminuiu drasticamente com o processo de extrusão se comparada às atividades residuais das frações de moagem e da matéria-prima nativa, mostrando uma inativação praticamente completa.

3. EFEITO DE UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO NA ESTABILIDADE HIDROLÍTICA E OXIDATIVA DE PRODUTOS EXTRUSADOS DAS FRAÇÕES DE AVEIA DE GRANULOMETRIAS SUPERIOR E INFERIOR A 532 µm

- Os produtos extrusados das frações de aveia estudadas apresentaram boa estabilidade hidrolítica, não tendo variado significativamente o índice de acidez ($p>0,05$) durante os 126 dias de armazenamento.
- Independentemente do conteúdo inicial de umidade (15,5-25,5 %), todos os produtos extrusados em temperaturas inferiores a 120 °C apresentaram baixa rancidez oxidativa, ou seja, essas temperaturas se mostraram adequadas para o processamento de aveia.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.B. Review: enzyme inactivation during heat processing of food-stuffs. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v.26, n.1, p.1-20, 1991.
- AGUILERA, J.M.; KOSIKOWSKI, F.V. Soybean extruded product: a response surface analysis. **Journal of Food Science**, Chicago, v.41, n.3, p.647-651, 1976.
- AKESON, N. R.; STAHMANN, M. A. A pepsin-pancreatic digested index of protein quality and evolution. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.83, p.257-261, 1964.
- AMAN, P.; HESSELMAN, K. Analysis of starch and other main constituents of cereal grains. **Swedish Journal of Agricultural Research**, Uppsala, v.14, p.135-139, 1984.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC committee adopts oat bran definition. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.34, n.12, p.1034, 1989.
- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9. ed., Saint Paul, 1995.
- AOCS - AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices**. 3.ed., Chicago, 1990.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.4-7, 11-12, 1969.
- ANDERSON, R.A. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.59, n.4, p.265-269, 1982.
- ANDERSON, J. W.; CHEN, W. L. Cholesterol-lowering properties of oats products. In: WEBSTER, F. H. **Oats chemistry and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 309-333.
- ANDERSON, L.A; DIBBLE, M.V.; TURKKI, P.R.; MITCHELL, H.S.; RYNBERGEN, H.J **Nutrição**. Trad. Nadia M. F. Truggo. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. Cap.10, p.179-187. (Original em Inglês).
- ANGELUCCI, E.; MANTOVANI, D.M.B. **Minerais em Alimentos**. Manual Técnico, Campinas: ITAL/SBCTA, 1986. 131p.
- ARTZ, W.E.; WARREN, C.C.; VILLOTA, R. Twin-screw extrusion modification of corn fiber and corn starch extruded blend. **Journal of Food Science**, Chicago, v.55, n.3, p.746-750, 1990.
- ASP, N.G.; BJOERCK, I. The effect of extrusion cooking on nutritional value. In: ZEUTHEN, P.; CHEFTEL, J.C.; ERICSON, C., JUL; M., LENIGER, H.; LINKO, P.; VARELA, G.; VOS, G. **Thermal processing and quality foods**, New York: Elsevier, 1984. p. 79-84.

- ASP, N.-G.; MATSSON, B.; ONNING, G. Variation in dietary fiber, β -glucan, starch, protein, fat and hull content of oats grown in Sweden 1987-1989. **European Journal Clinical Nutrition**, London, v.46, n.1, p.31-37, 1992.
- ASPINALL, G.O.; CARPENTER, R.C. Structural investigations on the non-starch polysaccharides of oat bran. **Carbohydrate Polymers**, Linton, v.4, p.271-282, 1984.
- BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.5, p.1334-1337, 1991.
- BAECKER, H. Processing oats for human consumption. **Bulletin Association of Operative Millers**, Kansas, p.4939-4942, April, 1987.
- BARRETT, D. M.; THEERAKULKAIT, C. Quality indicators in blanched frozen, stored vegetables. **Food Technology**, Chicago, v.49, n.1, p.62-65, 1995.
- BELITZ, H.D.; GROSCH, W. Lipidos. In: **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1988. p.133-207. (Original em Alemão).
- BERGLUND, P.T.; FASTNAUGHT, C.E.; HOLM, E.T. Physicochemical and sensory evaluation of extruded high-fiber barley cereals. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.71, n.1, p.91-95, 1994.
- BETCHEL, D.B.; POMERANZ, Y. Ultrastructure and cytochemistry of mature oat (*Avena sativa*, L.) endosperm. The aleurone layer and starchy endosperm. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.58, n.1, p.61-69, 1981.
- BETSCHART, A. Protein content and quality of cereal grains and selected cereal foods. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.27, n.9, p.395-401, 1982.
- BJÖRCK, I.; ASP, N.G. The effect of extrusion-cooking on nutritional value. **Journal Food Engineering**, Oxford, v.2, n.3, p. 281-302, 1983.
- BJÖRCK, I.; NYMAM, M.; ASP, N.G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.61, n.2, p.174-179, 1984.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, Ottawa, v.46, n.1, p.31-37, 1959.
- BOOKWALTER, G.N. **Process for stabilizing whole cereal grains**, UNITED STATES PATENT. U.S. 4.544.564. US n.635.945. 01 Oct. 1985; 24 Jul. 1984. Food Science and Technology Abstracts, UD: 8610, v.10, V0273, 1985.
- BOX, G.P.; DRAPER, N.R. **Empirical model-building and response surfaces**. New York: J. Wiley & Sons, 1987. 669p.
- BOX, G.E.P.; WILSON, K.B. On the experimental attainment of optimum condition. **Journal Royal Statistics**, n.13, p.1-45, 1951.

- BROWN, C.M.; CRADDOCK, J.C. Oil content weight of entries in the world oat collection. **Crop Science**, Madison, v.12, n.5, p.514-515, 1972.
- BRUECHERT, L.J.; ZHANG, Y.; HUANG, T.-C.; HARTMAN, T.G.; ROSEN, R.; HO, C.-T. Contribution of lipids to volatile generation in extruded corn-based model systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.5, p.1444-1447, 1988.
- BURNETTE, F.S. Peroxidase and its relationship to food flavor and quality: a review. **Journal of Food Science**, Chicago, v.42, n.1, p1-5, 1977.
- BUTTERY, R.G.; TURNBBAUGH, J.G.; LING, L.C. Contribution of volatile to rice aroma. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.36, n.5, p.1006-1009, 1988.
- CALDWELL, E.F.; DAHL, M.; FAST, R.B.; SEIBERT, S.E. Hot cereals. In: FAST, R.B.; CALDWELL, E.F. **Breakfast cereals**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1991. p. 243-272.
- CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews and Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.29, p.35-57, 1990.
- CAMIRE, M.E.; FLINT, S.I. Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal, and potato peels. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.6, p.645-647, 1991.
- CARPENTER, K.J.; STEINKE, F.H.; CATAGNANI, G.L.; SWAISGOOD, H.E.; ALLRED, M.C.; MacDONALD, J.L.; SCHELSTRAETE, M. The estimation of 'available lysine' in human foods by three chemical procedures. **Plant Foods for Human Nutrition**, The Hague, v.39, n.1, p.129-135, 1989.
- CARVALHO, F.I.; BARBOSA, J.F.; FLOSS, E.L.; FERREIRA FILHO, A.W.; FRANCO, F.A.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.O. Potencial genético da aveia, como produtora de grãos, no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.71-82, 1987.
- CARVALHO, G. Uso de la avena brasileira por Quaker. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE AVENA, 1. 1991, Tres Arroyos, Argentina. **Anais**. Tres Arroyos, Argentina, 1991.
- CHANG, P.R.; SOSULSKI, F.W. Functional properties of dry milled fractions from wild oats (Avena, fatua, L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v.50, n.4, p.1143-1147, 1157, 1985.
- CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, Oxford, v.20, n.4, p.263-283, 1986.
- CHEN, J.; SERAFIN, F.L.; PANDYA, R.N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.1, p.84-89, 1991.
- CHIANG, B. -Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.54, n.3, p.436-443, 1977.

- CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H.H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p.158-193.
- CLUSKEY, J.E.; WU, Y.V.; WALL, J.S.; INGLETT, G.E. Food applications of oat, sorghum, and triticale protein products. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.56, n.3, p.481-483, 1979.
- COCHRAN, B.Y.; COX, G.M. **Experimental designs**. 2.ed. New York: John Wiley, 1964.
- COFFMAN, F.A. Origin and history. In: COFFMAN, F. A. **Oats and oat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1961. p. 15-40.
- COLONNA, P.; DOUBLER, J.L.; MELCION, J.P.; MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecule modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.61, n.6, p.538-543, 1984.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E.S.; STRONG, F.C. Determination of tocopherol (Vitamin E) by reduction of cupric ion. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v.65, n.5, p.1215-1221, 1982.
- DAHLIN, K.; LORENZ, K. Protein digestibility of extruded cereal grains. **Food Chemistry**, Oxford, v.48, n. 1, p. 13-18, 1993.
- DANIELS, R. Quick-cooking oats. In: DANIELS, R. **Breakfast cereal technology**. Park Ridge: Noyes Data Corporation, 1974. p. 140-153.
- DEANE, D.; COMMERS, E. Oat cleaning and processing-general steps. In: WEBSTER, F. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 371-412.
- DOUBLIER, J. L.; PATON, D.; LLAMAS, G. A rheological investigation of oat starch pastes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.64, n.1, p.21-26, 1987.
- DRAPER, S. R. Amino acid profiles of chemical and anatomical fractions of oat grains. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.24, n.11, p.1241-1250, 1973.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; SMITH, F. Colorimetric methods of determination of sugars and related substances. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.28, n.3, p.350-356, 1956.
- DURKE, A.B.; THIVERGE, P.A. Feluric acid and other phenolics in oat seeds (*Avena sativa*, L. var. Hinoat). **Journal of Food Science**, Chicago, v.42, n.2, p.551-552, 1977.
- EGGUM, B.O.; GULLORD, M. The nutritional quality of some oat varieties cultivated in Norway. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, The Hague, v.32, n.1, p.67-73, 1983.

- EGGUM, B.O.; HANSEN, I.; LARSEN, T. Protein quality and digestible energy of selected foods determined in balance trials with rats. **Plant Foods for Human Nutrition**, The Hague, v.39, n.1, p.13-21, 1989.
- EKLUND, A. On the determination of available lysine in casein and rapeseed protein concentrates using 2,4,6-trinitrobenzenesulphonic acid (TNBS) as a reagent for free epsilon amino group of lysine. **Analytical Biochemistry**, New York, v.70, n.2, p. 434-439, 1976.
- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. Lipase activity in oats-distribution, pH dependence, and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.4, p.379-381, 1992.
- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G.; STÖLLMAN, U.; LINGNERT, H.; DAHL, S. Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. **Journal of Cereal Science**, New York, v.17, n.3, p.247-254, 1993.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.165-216.
- EL-DASH, A.A. **Thermoplastic extrusion of food: theory and techniques**. Campinas, 1982. 81p. (Monografia) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- EL-DASH, A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.2, n.2, p.129-152, 1983.
- EXTRUDED snackfoods: starch to the rescue. **Food Manufacture**, London, v.65, n.9, p.21-23, 1990.
- FALCONE, R.G.; PHILLIPS, R.D. Effects of feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snacks-like products prepared from cowpea and sorghum flours by extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.5, p.1464-1469, 1988.
- FAO/WHO/UNU expert consultation. Energy and protein requirements; FAO/WHO nutrition meetings. Geneva: Food and Agriculture Organization/World Health Organization, 1985. Report series 724.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Statistical production yearbook**. New York, 1993.
- FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.27, n.5, p.212-216, 1982.
- FERRETTI, R.J.; LEVANDER, O.A. Effect of milling and processing on the selenium content of grains and cereal products. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Washington, v.22, n.6, p.1049-1051, 1974.

- FINNERTY, S.P.; LENZ, M.K. **Process for the manufacture of shelf-stable oat hot cereal**, UNITED STATES PATENT. U.S. 4.957.762. US n.356.86518. Sep.1990; 23 May 1989. Food Science and Technology Abstracts, UD: 9208, v.8, M0108, 1990.
- FLOSS, E.L. Aveia. In: BAYER, A.C.; FLOSS, E.L.; AUDE, M.I. da S. **As lavouras de inverno-1**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. p. 16-74.
- FORSSEL, P.; CETIN, M.; WIRTANEN, G.; MÄLKKI, Y. Antioxidative effects of oat oil and its fractions. **Fat Science Technology**, Berlin, v.92, n.8, p.319-321, 1990.
- FRANKEL, E.N.; NEFF, W.E.; SELKE, E. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hydroperoxides from autoxidized and photosensitized methyl oleate, linoleate and linolenate. **Lipids**, Austin, v.16, n.5, p.279-292, 1981.
- FRETZDORFF, B.; SEILER, K. The effects of twin-screw extrusion cooking on cereal enzymes. **Journal of Cereal Science**, New York, v.5, n.1, p.73-82, 1987.
- FREY, K.J.; HAMMOND, E.G. Genetics, characteristics, and utilization of oil in caryopses of oat species. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.52, n.9, p.358-362, 1975.
- FRITSCH, C.W.; GALE, J.A. Hexanal as a measure of rancidity in low fat foods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.54, n.3, p.225-228, 1977.
- FROLICH, W.; NYMAN, M. Minerals, phytate and dietary fiber in different fractions of oat grain. **Journal of Cereal Science**, New York, v.7, n.1, p.73-82, 1988.
- FULCHER, R.G. Morphological and chemical organization of the oat kernel. In: WEBSTER, F. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 47-74.
- FULCHER, R.G.; MILLER, S.S. Structure of oat bran and distribution of dietary fiber components. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. Saint Paul: American Association Cereal Chemists, 1993. p.1-24.
- GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science Publishers, 1983. p. 109-130.
- GALLIARD, T. Oxygen consumption of aqueous suspensions of wheat wholemeal, bran and germ: involvement of lipase and lipoxygenase. **Journal of Cereal Science**, New York, v.4, n.1, p.33-50, 1986a.
- GALLIARD, T. Hydrolitic and oxidative degradation of lipids during storage of wholemeal flour: effects of bran and germ components. **Journal of Cereal Science**, New York, v.4, n.1, p.179-192, 1986b.
- GARDNER, H.W.; INGLET, G.E. Food products from corn germ: enzyme activity and oil stability. **Journal of Food Science**, Chicago, v.36, n.4, p.645-648, 1971.

- GIMMLER, N.; LAWN, F.; MEUSER, F. Influence of extrusion cooking conditions on the efficiency of the cationization and carboxymethylation of potato starch granules. **Starch/Stärke**, Stuttgart, v.46, n.7, p.268-276, 1994.
- GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v.48, n.2, p.378-481, 1983.
- GORDON, D. T. Functional properties vs physiological action of dietary fiber. **Cereal Foods World**, 34(7): 517-525, 1989.
- GORDON, W.A.; HEMPENIUS, W.L.; KIRKWOOD, J.R. Process for preparing a highly expanded oat cereal product. U.S. patent 4.620.981. Apud PATON, D., LENZ, M.K. Current practice and novel processes. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993. p.25-47.
- GOULD, M.R.; ANDERSON, J.W.; O'MAHONEY, S. Biofunctional properties of oats. In: INGLET, G.E., MUNK, L. **Cereal for food and beverages**, New York: Academic Press, 1980. p.447-460. Apud PATON, D., LENZ, M.K. Current practice and novel processes. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993. p.25-48.
- GROSSMANN, M.V.E. Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca, visando a produção de álcool. 124p. Campinas, 1986. Tese (Doutorado) - FEA/UNICAMP.
- GUALBERTO, D.G. Mineral binding capacity of insoluble fiber from extruded cereal brans. **Dissertation Abstracts International B**, Michigan, v.54, n.10, p.4978, 1994.
- GUTKOSKI, L.C. Processamento de aveia para uso alimentar. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 416, p. 8-15, 1994.
- GUTKOSKI, L.C.; GEHRES, P.G.; SILVA, L. Avaliação da acidez e da atividade enzimática de produtos de aveia estabilizados termicamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.14, n.1, p. 113-122, 1994.
- HAMILTON, R.J. The chemistry of rancidity in foods. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science Publishers, 1983. p. 1-20.
- HARPER, J. M. Food extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.11, p.155-215, 1979.
- HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, v.1, 1981. 212 p.
- HARPER, J.M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C., LINKO, P., HARPER, J.M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. Cap.1, p.1-16.
- HARTMAN, L.; LAGO, R.C. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, London, v.22, n.8, p.475-476, 1973.

- HEYDANEK, M.; MCGORRIN, R. Gas chromatography-mass spectroscopy investigations on the flavor chemistry of oat groats. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.29, n.5, p.950-954, 1981a.
- HEYDANEK, M.; MCGORRIN, R. Gas chromatography-mass spectroscopy investigations of volatile from rancid oat groats. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.29, n.5, p.1093-1095, 1981b.
- HOLDEN, J.H.W. Oats. In: SIMMONDS, N.W. 2. ed. **Evolution of crop plants**. New York: Longman, 1979. p. 86-90.
- HOLGUIN, M.; NAKAI, S. Accuracy and specificity of the dinitrobenzenesulfonate methods for available lysine in proteins. **Journal Food Science**, Chicago, v.45, n.5, p.1218-1222, 1980.
- HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. 2.ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1990. 327p.
- HSIEH, R.J.; KINSELLA, J.E. Oxidation of polyunsaturated fatty acids: mechanisms, products and inhibition with emphasis on fish. In: KINSELLA, J.E. **Advances in Food and Nutrition Research**. Academic Press, Inc., San Diego, 1989, v.33, p. 233-341.
- HSIEH, F.; MULVANEY, S.J.; HUFF, H.E.; LUE, S.; BRENT Jr., J. Effect of dietary fiber and screw speed on some extrusion processing and product variables. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London, v.22, n.4, p.204-207, 1989.
- HUBER, G.R. Carbohydrates in extrusion processing. **Food Technology**, Chicago, v.45, n.3, p.160-161,168, 1991.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Diretoria Técnica, Departamento de Estatísticas Agropecuárias, 1985-1995.
- IMO INDUSTRIES INC. I.C.P. 2000 BAIRD. **Analytical Instruments Division**. Bedford, 1990.
- JANSSEN, M.B.P.L. Engineering aspects of food extrusion. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p.17-38.
- JANSSON, K.W.; LINDAHL, L. Rheological changes in oatmeal suspensions during heat treatment. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.6, p.1685-1689, 1991.
- JEUNINK, J.; CHEFTEL, J. C. Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v.44, p.1322-1328,1979.
- JOHNSON, D.W. Functional properties of oilseeds proteins. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.47, p.402-407, 1970.
- KAHLON, T.S. Nutritional implications and uses of wheat and oat kernel oil. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.34, n.10, p.872-874, 1989.

- KAKADE, M.L.; LIENER, I.F. Determination of available lysine in protein. **Analytical Biochemistry**, New York, v.27, p.273-280, 1969.
- KANNER, J.; GERMAN, J.B.; KINSELLA, J. E. Initiation of lipid peroxidation in biological systems. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.25, n.4, p.317-364, 1987.
- KAUR, J.; RAMAMURTHY, V.; KOTHARI, R. M. Characterization of oat lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, London, v.15, n.3, p.257-262, 1993.
- KENT, N.L. Oats. In: KENT, N.L. **Technology of cereals**. 3.ed. Oxford: Pergamon Press, 1984. p.154-174.
- KIM, C.J.; BYUN, S.M.; CHEIGH, H.S.; KWON, T.W. Optimization of extrusion rice bran stabilization process. **Journal of Cereal Science**, New York, v.52, n.5, p.1355-1366, 1987.
- KNUCKLES, B. E.; CHIU, M. M.; BETSCHART, A. A. β -glucan-enriched from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.2, p.198-202, 1992.
- KRUGER, J.E.; LaBERGE, D.E. Changes in peroxidase activity and peroxidase isozymes of wheat during germination. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.51, n.5, p.578-585, 1974.
- LaBERGE, D.E.; KRUGER, J.E. Changes in barley peroxidase activity during kernel development. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.53, n.5, p.762-767, 1976.
- LABEL, F. Oats: staple grain. **Food Processing**, Chicago, v.53, n.5, p.114-120, 1992.
- LABUZA, T.P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, Inc., 1982. Cap.5, p.99-118.
- LAN, F.L.; HOLCOMB, I.J.; FUSARI, S.A. Liquid chromatography assay of ascorbic acid, niacinamide, piridoxine, thiamine and riboflavin in multivitamin -mineral preparations. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v.67, n.5, p.1007-1011, 1984.
- LARA, A.B.W.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M.E.W.; PREGNOLATTO, W. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1976. 331p.
- LEE, I.; HAMMOND, E.G. Oat (*Avena sativa*) caryopses as a natural lipase bioreactor. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v.67, n.11, p.761-765, 1990.
- LEGENDRE, M.G.; DUPUY, H.P.; ORY, R.; MCILRATH, W.O. Instrumental analysis of volatiles from rice and cor products. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.26, n.5, p.1035-1038, 1978.
- LEHRACK, U.; VOLK, J. New possibilities of hidrotermic treatment of cereals and cereals products. **Getreide Mehl und Brot**, Begstrabe, v.46, n.9, p.268-273, 1992.

- LEWIS, M.J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Trad. Julián Zapico Torneros & Juan Pablo Barrio Lera. Zaragoza: Acribia, 1993. Cap.2, p.39-56. (Original em Inglês).
- LIKIMANI, T. A.; MAGA, J. A.; SOFOS, J. N. The rate of starch hydrolysis in extruded corn/soybean products. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London, v.23, n.2, p.226-228, 1990.
- LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, v.4, p.145-235, 1981.
- LIUKKONEN, K.H.; MONTFOORT, A.; LAAKSO, S.V. Water-induced lipid changes in oat processing. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.40, n.1, p.126-130, 1992.
- LIUKKONEN, K.; KAUKOVIRTA-NORJA, A.; LAAKSO, S. Elimination of lipid hydrolysis in aqueous suspensions of oat flour. **Journal of Cereal Science**, New York, v.17, n.3, p.255-265, 1993.
- LIUKKONEN, K.; JOHNSON, T.; LAAKSO, S. Alkaline sensitivity of lipase activity in oat flour: factors contributing to inhibition. **Journal of Cereal Science**, New York, v.21, n.1, p.79-85, 1995.
- LOCKHART, H.B.; HURT, H.D. Nutrition of oats. In: WEBSTER, F.H. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 413-426.
- LUCAS, B.; SOTELLO, A. Effect of different alkalis, temperature and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. **Analytical Biochemistry**, New York, v.107, p.192-197, 1980.
- LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.3, p.227-234, 1991.
- MacARTHUR, L.A.; D'APPOLONIA, B.L. Comparison of oat and wheat carbohydrates. II.Starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.56, n.5, p.458-461, 1979.
- MacARTHUR-GRANT, L.A. Sugars and nonstarchy polysaccharides in oats. In: WEBSTER, F. H. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.75-88.
- 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**. 192p. Campinas, 1992. Tese (Mestrado) - FEA/UNICAMP
- MARTIN, H.F.; PEERS, F.G. Oat lipase. **Biochemistry Journal**, London, v.55, n.3, p523-529, 1953.

- MATLASHEWSKI, G.J.; URQUHART, A.A.; SAHASRABUDHE, M.R.; ALTOSAAR, I. Lipase activity in oat flour suspensions and soluble extracts. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.59, n.5, p.418-422, 1982.
- MATZ, S.A.; MILNER, M. Inhibition of respiration and preservation of damp wheat by means of organic chemicals. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.28, n.3, p.196-207, 1951.
- MATZ, S.A. **Food texture**. Westport: The AVI Publishing Company, Inc., 1962. Cap. 4, p. 53-85.
- MATTERN, P.J. Wheat. In: LORENZ, K.J.; KULP, K. **Handbook of Cereal Science and Technology**, New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p.1-54.
- McAULEY, J.A.; KUNKEL, M.E.; ACTON, J.C. Relationships of available lysine to lignin, color and protein digestibility of selected wheat-based breakfast cereals. **Journal of Food Science**, Chicago, v.52, n.6, p.1580-1610, 1987.
- McMULLEN, M.S. Oats. In: LORENZ, K.J.; KULP, K. **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p.199-232.
- MEISTER, U.; SCHRAMM, G.; SYMMANK, H. Determination of activities of lipase, lipoxigenase and peroxidase in native and extruded cereal brans. **Zeitschrift fuer Lebensmittel und Forschung**, Berlin, v.199, n.4, p.275-280, 1994.
- MEL'NIKOV, E.M.; KRAUS, S.V.; ZUBRIKHINA, L.D.; LINNICHENKO, V.T. **Production of oat flour**, UNION OF SOVIETIC SOCIALIST REPUBLICS. S.U. 1540783. SU n.113.035. 15 Feb. 1988; 07 Feb. 1990. Food Science and Technology Abstracts, UD: 9009, v.9, V78, 1990.
- MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.52, n.3, p.283-297, 1975.
- MERCIER, C. Nutritional appraisal of extruded foods. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, New York, v.44, n.1, p.45-53, 1993.
- MITCHELL, J.R.; AREAS, J.A.G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.-T.; KARWE, M.V. **Food extrusion science and technology**, New York: M. Dekker, 1992. p.345-360.
- MOK, C.; PYLER, R.E.; McDONALD, C.E.; NAM, Y.; MIN, B. Extrusion process of barley flour for snack processing. **Korean Journal Food Science Technology**, Seul, v.16, n.4, p.429-436, 1984.
- MOLTEBERG, E.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.72, n.1, p.88-93, 1995.
- MOORE, S. On determination of cystine as cysteic acid. **Journal Biological Chemistry**, Bethesda, v.238, n.1/3, p.235-237, 1963.
- MORRISON, W. R. Cereal lipids. In: POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, Saint Paul, v.2, p. 221-288, 1978.

- MUNDSTOCK, C.M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste, triticale**. Porto Alegre: NBS, 1983. 265 p.
- MURPHY, J.P.; HOFFMAN, L.A. The origin, history, and production of oat. In: MARSHALL, H.G.; SORRELLS, M.E. **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., 1992. p.1-28.
- MUSTAKAS, G.C.; ALBRECHT, W.J.; BOOKWALTER, G.N.; MCGHEE, J.E.; KWOLEK, W.F.; GRIFFIN, Jr. E.L. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor, and keeping quality of full-fat soy flour. **Food Technology**, Chicago, v.24, n.11, p.102-108, 1970.
- NOGUCHI, A., MOSSO, K., AYMARD, C., JEUNINK, J., CHEFTEL, J.C. Maillard reactions during extrusion-cooking of protein-enriched biscuits. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London, v.15, n.2, p.105-110, 1982.
- O'CONNOR, J.; PERRY, H.J.; HARWOOD, J.L. A comparison of lipase activity in various cereal grains. **Journal of Cereal Science**, New York, v.16, n.2, p.153-156, 1992.
- ODA, T.; AOE, S.; NAKAOKA, M.; IDO, K.; OHTA, F.; AYANO, Y. Changes in the dietary fiber content of oats with extrusion cooking and their effect on cholesterol metabolism in rats. **Journal of Japanese Society Nutrition and Food Science**, Tokyo, v.41, n.6, p.449-456, 1988.
- OLKKU, J.; HAGQVIST, A.; LINKO, P. Steady-state modeling of extrusion cooking by RSM. In: JOWITT, R., ed. **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1984, p.27-50.
- OSTERGARD, K.; BJÖRCK, I. Effect of extrusion cooking on starch and dietary fiber in barley. **Food Chemistry**, Oxford, v.34, n.3, p.215-227, 1989.
- OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F.R.; STANLEY, D.W. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.4, p.319-324, 1983.
- PALAMAND, S.R.; DIECKMANN, R.H. Autoxidation of n-hexanal. Identification and flavor properties of some products of autoxidation. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.22, n.3, p.503-506, 1974.
- PARMAR, S.; HAMMOND, E.G.; FREY, K.J. Effect of variety and growth conditions on the ability of moist oat caryopses to hydrolyze triglycerides. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.71, n.6, p.537-539, 1994.
- PATON, D. Oat starch: some recent developments. **Starch/Stärke**, Stuttgart, v.31, n.6, p.184-187, 1979.
- PATON, D. Oat starch: physical, chemical, and structural properties. In: WEBSTER, F.H. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.93-118.

- PATON, D., LENZ, M.K. Current practice and novel processes. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993. p.25-48.
- PEDERSEN, B.; EGGUM, B.O. the influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains.2. Wheat. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, The Hague, v.33, n.1, p.51-61, 1983a.
- PEDERSEN, B.; EGGUM, B.O. the influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains.4. Rice. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, The Hague, v.33, n.1, p.267-278, 1983b.
- PEDERSEN, B.; EGGUM, B.O. the influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains.5. Maize.. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, The Hague, v.33, n.1, p.299-311, 1983c.
- PELLET, P.L.; YOUNG, V.R. **Nutritional evaluation of protein foods**. Report of a working group sponsored by the International Union of Nutritional Sciences and the United Nations University World Hunger Programs. Tokyo: The United Nations University, 1980.
- PERCHERON, E.; LÖLIGER, J. Influence of drying technology on precooked cereal autoxidation. **Lebensmittel Wissenschaft & Technologie**, London, v.23, n.5, p.400-403, 1990.
- PETERSON, D.M.; SENTURIA, J.; YOUNGS, V.L.; SCHRADER, L.E. Elemental composition of oat groats. **Journal of Agriculture Food and Chemistry**, Washington, v.23, n.1, p.09-13, 1975.
- PETERSON, D.M. Protein concentration of protein fractions, and amino acid balance in oats. **Crop Science**, Madison, v.16, n.10, p.663-666, 1976.
- PETERSON, D.M.; SMITH, D. Changes in nitrogen and carbohydrate fractions in developing oat groats. **Crop Science**, Madison, v.16, n.1, p.67-71, 1976.
- PETERSON, D.M. Oat tocots: concentration and stability in oat products and distribution within the kernel. **Cereal Chemistry**, v.72, n.1, p.21-24, 1995.
- PETERSON, M.P. Composition and Nutritional Characteristics Oat Grain and Product. In: MARSHALL, H.g.; SORRELLS, M.S. **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., 1992. p. 266-287.
- PIAZZA, G. J.; BILYK, A.; BROWER, D.P.; HAAS, M.J. The positional and fatty acid selectivity of oat seed lipase in aqueous emulsions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.69, n.10, p.978-981, 1992.
- PIGGOTT, J.R.; MORRISON, W.R.; CLYNE, J. Changes in lipids and in sensory attributes on storage of rice milled to different degrees. **International Journal of Food Science & Technology**, London, v.26, n.6, p.615-628, 1991.
- POMERANZ, Y.; YOUNGS, V.L.; ROBBINS, G.S. Protein content and amino acid composition of oat species and tissues. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.50, n.6, p.702-707, 1973.

- POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p.56-157.
- POSKOCILOVA, H.; VIERECKLOVA, M.; HOLAS, J. Extrusion processing of huskles oats. **Mlynsko-Pekarenski Prumysl**, Prague, v.34, n.7/8, p.219-222, 1988.
- RDA - RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. Subcommittee on the Tenth Edition of the RDAs, Food and Nutrition Board, Commission on Life Sciences. Washington: National Academy Press, 1989. 284p.
- RECOMENDAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O CULTIVO DE AVEIA. Recomendações aprovadas pela Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Aveia, Passo Fundo: UPF, 1995. 50p.
- RIPSIN, C.M.; KEENAN, J.M. The effects of dietary oat products on blood cholesterol. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v.3, p.137-141, 1992.
- RESENDE, R.; FRANCIS, F.J.; STUMBO, C.R. Thermal destruction and regeneration of enzymes in green bean and spinach puree. **Food Technology**, Chicago,, v.23, n.1, p.63-66, 1969.
- ROBBINS, G.S.; POMERANZ, Y.; BRIGGLE, L.W. Amino acid composition of oat groats. **Journal Agricultural of Food Chemistry**, Washington, v.19, n.3, p.536-539, 1971.
- RUSSEL, M. Extruders-fast & furious. **Food Engineering International**, Radnor, v.13, n.8, p.468-475, 1988.
- RYU, G.H.; WALKER, C.E. Physical properties of wheat flour extrudates produced with shortening and starch plus several baking ingredients. **Lebensmittel Wissenschaft & Technologie**, London, v.25, n.6, p.514-517, 1992.
- SAHASRABUDHE, M.R. Lipid composition of oats (*Avena sativa* L.). **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.56, n.2, p.80-84, 1979.
- SAHASRABUDHE, M. R. Measurement of lipase activity in single grains of oat (*Avena sativa* L.). **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.59, n.8, p.354-355, 1982.
- SAIO, K.; TERASHIMA, M.; WATANABE, T. Food use of soybean 7S and 11S proteins: changes in basic groups of soybean proteins by high temperature heating. **Journal of Food Science**, Chicago, v.40, n.3, p.541-544, 1975.
- SALISBURY, D.K.; WICHSER, W.R. Oatmilling - systems and products. **Bulletin Association of Operative Millers**, Kansas, p.3242-3247, may, 1971.
- SARWAR, G. Digestibility of protein and bioavailability of amino acids in foods. **World Review of Nutrition and Dietetics**, New York, v.54, p.26-70, 1987.

- SARWAR, G.; PEACE, R.W.; BOTTING, H.G.; BRULÉ, D. Digestibility of protein and amino acid in selected foods as determined by a rat balance method. **Plant Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v.39, n.1, p.23-32, 1989.
- SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide: statistics**. 5 ed. Cary, 1985. 956p.
- SAYRE, R. N.; SAUNDERS, R.M.; ENOCHIAN, R.V.; SCHULTZ, W.G.; BEAGLE, E.C. Review of rice bran stabilization systems with emphasis on extrusion cooking. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.27, n.7, p.317-322, 1982.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: Propriedades, degradação, modificações**. São Paulo: Varela, 1996 p. 337-386.
- SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO LATINOAMERICANO SOBRE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS E GORDURAS, 6. 1995, Campinas. **Anais**. Campinas: R. Vieira, 1995. p.47-54.
- SHEFFNER, A.Z. In vitro protein evaluation. In: ALBANESE, A.A. **Newer methods of nutritional biochemistry**, v.3. New York: Academic Press, 1967. p. 125-195.
- SHERWIN, E.R. Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.55, n.11, p.809-814, 1978.
- SHINNICK, F. L.; LONGACRE, M. J.; INK, S. L.; MARLETT, J. A. Oat fiber: composition versus physiological function in rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.118, n.2, p.144-151, 1988.
- SHINNICH, F. L.; MATHEWS, R.; INK, S. Serum cholesterol reduction by oats and other fiber sources. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.36, n.9, p.815- 821, 1991.
- SHUKLA, T. P. Chemistry of oats: proteins foods and other industrial products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.6, n.4, p.383-431, 1975.
- SILVA, D.J. Detrminação da energia bruta. In: SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1981. p.27-32.
- SNYDER, J.M.; MOUNTS, T.L.; HOLLOWAY, R.K. Volatile from microwave-treated, stored soybeans. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.68, n.10, p.744-747, 1991.
- SPACKMAN, D.H.; SETEIN, W.H.; MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. **Analytical Chemistry**, Washington, v.30, n.1, p.1190-1958, 1958.
- SRIHARA, P.; ALEXANDER, J.C. Effect of heat treatment on nutritive quality of plant protein blends. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, v.17, n. 4, p. 237-241, 1984.
- STANLEY, D.W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, Chicago, v.40, n.3, p.65-68, 1986.

- STRHECHER, R.; HENNING, H.M. **Análisis de Vitaminas: metodos comprobados.** Madrid: Paz Montalvo, 1967. p. 80-89, 122-133.
- SUNDBERG, B.; AMAN, P. Fractionation of different types of barley by roller milling and sieving. **Journal of Cereal Science**, New York, v.19, n.5, p.179-184, 1994.
- SWAISGOOD, H.E., CATIGNANI, G.L. Protein digestibility: *in vitro* methods of assessment. In: KINSELLA, J.E. **Advances in Food and Nutrition Research**, California, v.35, p.185-232, 1991.
- SYMONS, S.J.; FULCHER, R.G. Relationship between oat kernel weight and milling yield. **Journal of Cereal Science**, New York, v.7, n.3, p.215-217, 1988.
- TAVERNER, M.R.; FARRELL, D.J. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 3. A comparison of ileal availability values with fecal, chemical and enzymatic estimates. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.46, n. 1, p.173-180, 1981.
- THOMPSON, D.R. Response surface experimentation. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v.6, p.155-188, 1982.
- TOPPING, D.L. Soluble fiber polysaccharides: effects on plasma cholesterol and cooling fermentation. **Nutrition Reviews**, New York, v.49, n.7, p.195-203, 1991.
- URQUHART, A.A.; ALTOSAAR, I.; MATLASHEWSKI, G.J.; SAHASRABUDHE, M.R. Localization of lipase activity in oat grains and milled oat fractions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.2, p.181-183, 1983.
- URQUHART, A. A.; BRUMELL, C.A.; ALTOSAAR, I.; MATLASHEWSKI, G. J.; SAHASRABUDHE, M. R. Lipase activity in oats during grain maturation and germination. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.61, n.2, p.105-108, 1984.
- VAINIONPAEAE, J. Modelling of extrusion cooking of cereal using response surface methodology. **Journal Food Engineering**, Oxford, v.13, n.1, p. 1-26, 1991.
- VAN DE WEERDHOF, T.; WIERSUN, N.M.L.; REISSENWEBER, H. Application of liquid chromatography in food analysis. **Journal of Chromatography**, Amsterdam, v.83, p.455-460, 1973.
- VAUGHAN, C.E.; GREGG, B.R.; DELOUCHE, J.C. **Beneficiamento e manuseio das sementes.** Brasília: AGIPLAN, 1976. 195 p.
- VETRIMANI, R.; JYOTHIRMAYI, N.; HARIDAS RAO, P.; RAMADOSS, C.S. Inactivation of lipase and lipoxygenase in cereal bran, germ and soybean by microwave treatment. **Lebensmittel Wissenschaft &Technologie**, London, v.25, n.6, p.532-535, 1992.
- WALKER, C.E.; ROSS, A.S.; WRIGLEY, C.W.; MCMASTER, G.J. Accelerated starch-paste characterization with the rapid visco analyser. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.33, n.6, p.491-494, 1988.

- WALKER, A.R.P. Does the dietary fiber hypothesis really "work"? **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.38, n.3, p.128-134, 1993.
- WANG, W.-M.; KLOPFENSTEIN, C.F. Effect of twin-screw extrusion on the nutritional quality of wheat, barley, and oats. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.70, n.6, p.712-715, 1993.
- WEAVER, C.M.; CHEN, P.H.; RYNEARSON, S.L. Effect of milling on trace element and protein content of oats and barley. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.58, n.2, p.120-124, 1981.
- WEBSTER, F.H. Oat utilization: past, present and future. In: WEBSTER, F.H. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 413-426.
- WELCH, R. W. The development of rancidity in husked and naked oats after storage under various conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.28, n.3, p.269-274, 1977.
- WESTERN, D.E.; GRAHAM JR., W.R. Marketing, processing, uses and composition of oats and oat products. In: COFFMAN, F. A. **Oats and oat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1961. p. 552-582.
- WILHELM, E.; KEMPF, W.; LEHMUSAAARI, A.; CARANSA, A. Process technology for production of starch, protein and fiber from oats. **Starch/Stärke**, Stuttgart, v.41, n. 10, p. 372-376, 1989.
- WOLZAK, A., BRESSANI, R., BRENES, R.G. A comparison of in vivo and in vitro estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetable proteins. **Qualitas Plant Foods Human Nutrition**, Netherlands, v.31, p.31-43, 1981.
- WOOD, P.J.; ANDERSON, J.W.; BRAATEN, J.T.; CAVE, N.A.; SCOTT, F.W.; VACHON, C. Physiological effects of beta-D glucan rich fractions from oats. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.34, n.10, p.878-882, 1989a.
- WOOD, P.J.; WEISZ, J.; FEDEC, P.; BURROWS, V.D. Large-scale preparation and properties of oat fractions enriched in (1-3)(1-4)- beta-D- glucan. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.66, n.2, p.97-103, 1989b.
- WOOD, P.J.; WEISZ, J.; BLACKWELL, B.A. Molecular characterization of cereal β -D-glucans. Structural analysis of oat β -D-glucan and rapid structural evaluation of β -D-glucans from different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.1, p.31-39, 1991.
- YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.35, n.9, p.919-926, 1990.
- YOUNGS, V.L. Protein distribution in the oat kernel. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.49, n.4, p.407-411, 1972.

- YOUNGS, V. L.; PÜSKÜLCÜ, M.; SMITH, R. R. Oat lipids. I. composition and distribution of lipid components in two oat cultivators. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.54, n.4, p.803-812, 1977.
- YOUNGS, V.L.; PETERSON, D.M.; BROWN, C.M. Oats. **Advances in Cereal Science and Technology**, Saint Paul, v.5, p.49-105, 1982.
- YOUNGS, V.L. Oat lipids and lipid-related enzymes. In: WEBSTER, F.H. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 205-226.
- ZARKADAS, C.G.; YU, Z.; BURROWS, V. Assessment of the protein of two new Canadian-developed oat cultivators by amino acid analysis. **Journal Agriculture of Food Chemistry**, Washington, v.43, n.2, p.422-428, 1995.
- ZHOU, J. R.; ERDMAN, Jr. J. W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.35, n.6, p. 495-508, 1995.

7 - ANEXOS

7.1 - Anexo de Figuras

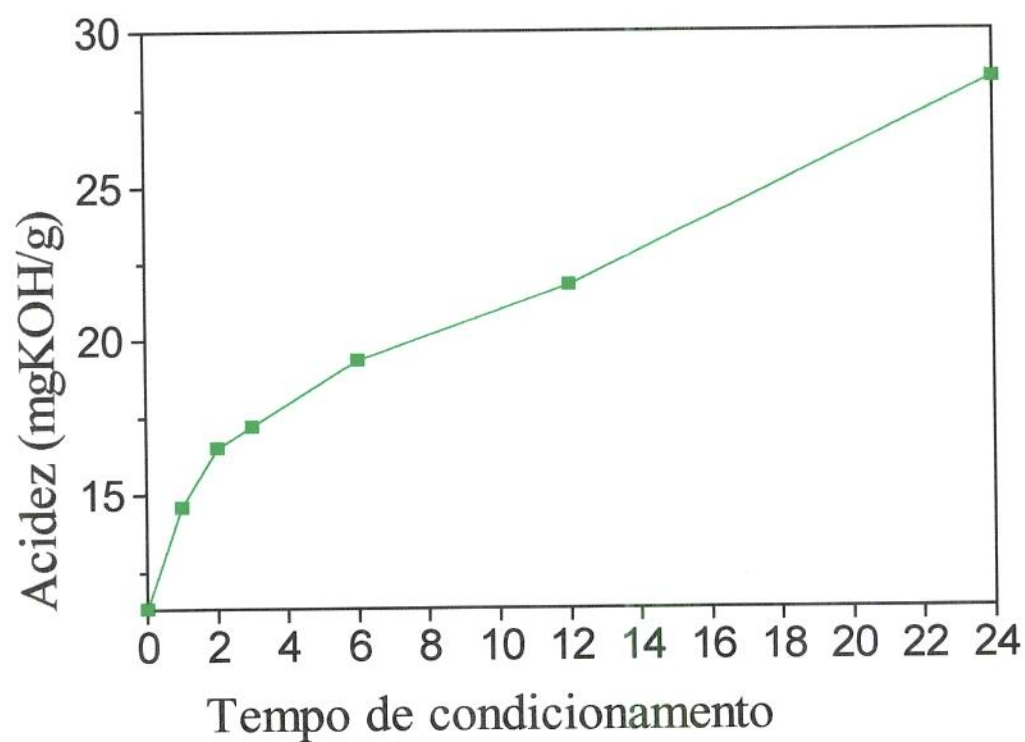


Figura 1a -Índice de acidez de produtos de aveia extrusados a 140°C e com 20 % de umidade inicial, em função do tempo de condicionamento das amostras (horas).

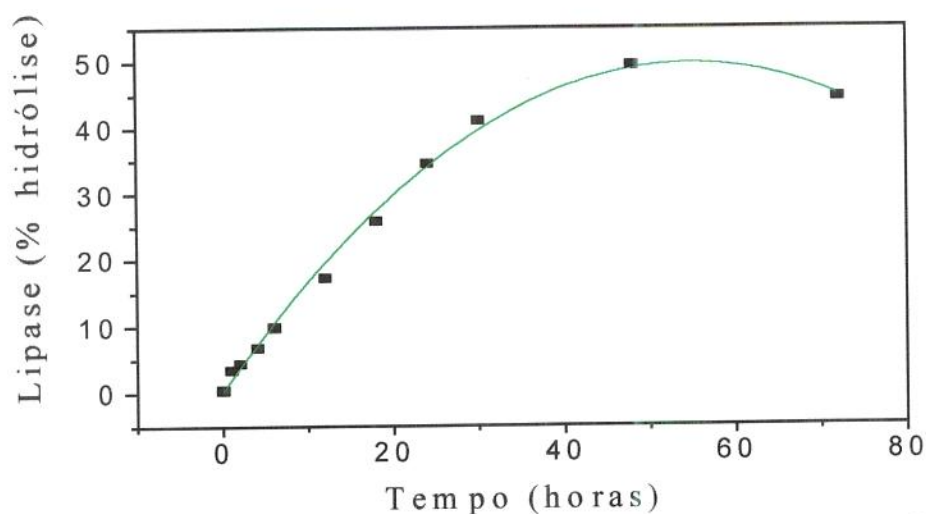


Figura 2a -Cinética de hidrólise do óleo de oliva por lipases de aveia em função do tempo de reação. A mistura consistiu de 2 g de farinha de aveia e 5ml de substrato, incubados a 38°C e nos tempos 0, 1, 2 4, 6, 12, 18, 24, 30, 48 e 72 horas.

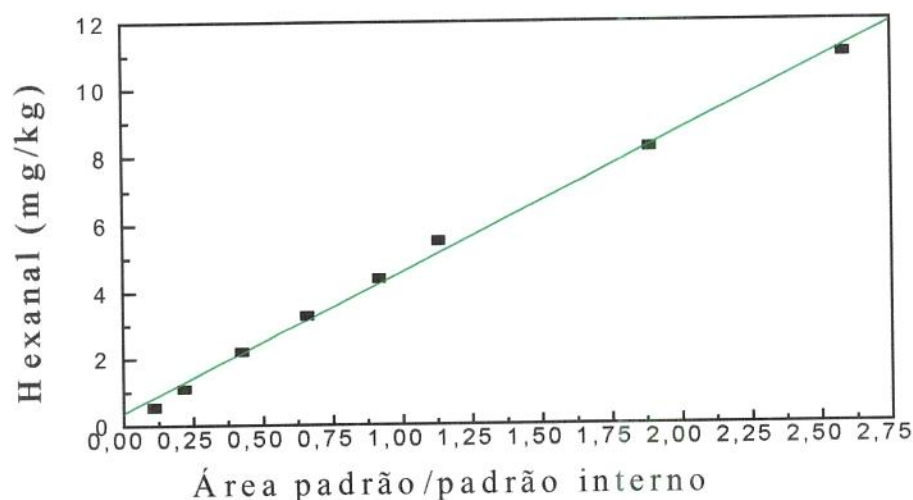


Figura 3a -Teor de n-hexanal em função da área de n-hexanal padrão / padrão interno (4-heptanona) obtido dos cromatogramas para determinar a curva padrão ($y = 0,3876 + 4,1929X$; $R = 0,9980$).

7.2 - Anexo de Tabelas

Tabela 01a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -22,09 + 0,33T + 10,21U - 0,002T^2 - 0,345U^2 - 0,007TU$$

Média das respostas = 51,69
Desvio padrão = 1,51

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9814
Coeficiente de variação = 0,0292

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	545,20	0,8902	119,50	0,0001
Quadrático	2	54,67	0,0893	11,98	0,0124
Interação	1	1,13	0,0019	0,49	0,5123
Regressão	5	601,01	0,9814	52,67	0,0003
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	10,72	3,57	10,42	0,0888
Erro puro	2	0,69	0,34		
Total	5	11,41	2,28		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	12,52	4,17	1,83	0,2589
U	3	596,54	198,85	87,14	0,0001
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	588,48	294,24	98,35	0,0001
Resíduo	8	23,93	2,99		
Total	10	612,42			
VARIÁVEIS	Estimativa dos	Significância	R^2 parcial		
(modelo ajustado)	coeficientes	Prob > F			
Intercepto	-4,5344	-	-		
U	8,9052	0,0005	0,8834		
U ²	-0,3081	0,0040	0,0775		
R ² p/regressão			0,9609		

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 02a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 77,50 - 0,104T - 8,66U + 0,001T^2 + 0,39U^2 - 0,009TU$$

Média das respostas = 27,65

Desvio padrão = 2,42

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8888

Coeficiente de variação = 0,0874

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	160,06	0,6190	13,71	0,0093
Quadrático	2	71,43	0,2722	6,12	0,0453
Interação	1	1,80	0,0068	0,31	0,6030
Regressão	5	233,29	0,8888	7,99	0,0198
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	28,10	9,37	17,39	0,0548
Erro puro	2	1,07	0,54		
Total	5	29,18	5,83		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	5,00	1,67	0,28	0,8341
U	3	232,73	77,57	13,29	0,0081
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	228,29	114,14	26,71	0,0003
Resíduo	8	34,19	4,27		
Total	10	262,48			
VARIÁVEIS	Estimativa dos	Significância	R^2 parcial		
(modelo ajustado)	coeficientes	Prob > F			
Intercepto	77,1024	-	-		
U	-8,8831	0,0046	0,6097		
U ²	0,3695	0,0040	0,2600		
R ² p/regressão			0,8697		

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 03a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o rendimento de moagem da fração de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 37,86 - 0,17T - 0,71U + 0,001T^2 - 0,014U^2 - 0,0005TU$$

Média das respostas = 21,11		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8710			
Desvio padrão = 1,55		Coeficiente de variação = 0,0736			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	78,30	0,8349	16,18	0,0066
Quadrático	2	3,89	0,0361	0,70	0,5399
Interação	1	0,006	0,0001	0,00	0,9610
Regressão	5	81,69	0,8710	6,75	0,0281
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	12,00	4,00	84,35	0,0117
Erro puro	2	0,09	0,04		
Total	5	12,09	2,42		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	2,91	0,97	0,40	0,7590
U	3	78,21	26,07	10,77	0,0127
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	78,11	78,11	44,83	0,0001
Resíduo	8	15,68	1,74		
Total	10	93,79			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	31,5369				
U	-1,0419		0,0001		0,8380
R^2 p/regressão					0,8380

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 04a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 27,39 - 0,022T - 0,88U + 0,0001T^2 + 0,035U^2 + 0,0002TU$$

Média das respostas = 21,70		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9212			
Desvio padrão = 0,21		Coeficiente de variação = 0,0096			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,992	0,7179	22,78	0,0031
Quadrático	2	0,563	0,2030	6,44	0,0413
Interação	1	0,001	0,0003	0,02	0,8915
Regressão	5	2,556	0,9212	11,69	0,0087
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,218	0,072	167,5	0,0059
Erro puro	2	0,001	0,000		
Total	5	0,219	0,044		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,099	0,033	0,76	0,5621
U	3	2,504	0,834	19,08	0,0036
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	2,457	1,228	30,84	0,0002
Resíduo	8	0,319	0,040		
Total	10	2,775			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	26,3468				
U	-0,8074		0,0020		0,6990
U^2	0,0322		0,0070		0,1862
R^2 p/regressão					0,8852

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 05a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 29,19 - 0,067T - 2,09U + 0,0004T^2 + 0,082U^2 + 0,0009TU$$

Média das respostas = 14,97
Desvio padrão = 0,37

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9501
Coeficiente de variação = 0,0248

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	10,08	0,7263	13,42	0,0010
Quadrático	2	3,09	0,2226	11,16	0,0143
Interação	1	0,016	0,0012	0,12	0,7410
Regressão	5	13,18	0,9501	19,05	0,0029
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,687	0,229	102,6	0,0097
Erro puro	2	0,004	0,002		
Total	5	0,692	0,124		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,336	0,112	0,81	0,5403
U	3	13,169	4,389	31,73	0,0011
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	12,85	6,422	49,97	0,0001
Resíduo	8	1,03	0,128		
Total	10	13,87			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	25,6854		-		-
U	-1,8657		0,0004		0,7255
U ²	0,0746		0,0016		0,2004
R ² p/regressão					0,9259

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 06a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de proteínas da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 21,42 - 0,034T - 1,218U + 0,0002T^2 + 0,049U^2 + 0,0004TU$$

Média das respostas = 12,99
Desvio padrão = 0,17

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9762
Coeficiente de variação = 0,0133

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	5,043	0,7998	84,12	0,0001
Quadrático	2	1,109	0,1759	18,49	0,0049
Interação	1	0,004	0,0006	0,12	0,7430
Regressão	5	6,156	0,9762	41,07	0,0005
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,146	0,005	23,90	0,0404
Erro puro	2	0,004	0,002		
Total	5	0,150	0,030		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,135	0,045	1,49	0,3230
U	3	6,138	2,046	2,05	0,0002
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	6,021	3,011	84,68	0,0001
Resíduo	8	0,284	0,036		
Total	10	6,306			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	19,8043		-		-
U	-1,1564		0,0002		0,7973
U ²	0,0446		0,0007		0,1576
R ² p/regressão					0,9549

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 07a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 10,25 + 0,0007T - 0,16U - 0,0000T^2 + 0,004U^2 + 0,0003TU$					
Média das respostas = 9,26		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9656			
Desvio padrão = 0,04		Coeficiente de variação = 0,0040			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,178	0,8932	64,93	0,0003
Quadrático	2	0,012	0,0599	4,35	0,0803
Interação	1	0,003	0,0126	1,82	0,2346
Regressão	5	0,193	0,9656	28,08	0,0011
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,006	0,0002	2,94	0,2642
Erro puro	2	0,001	0,000		
Total	5	0,007	0,001		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,004	0,001	0,96	0,4781
U	3	0,188	0,063	45,71	0,0005
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	0,188	0,094	69,69	0,0001
Resíduo	8	0,011	0,001		
Total	10	0,199			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	10,1833		-		-
U	-0,1413		0,0028		0,8931
U^2	0,0046		0,0238		0,0526
R^2 p/regressão					0,9457

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 08a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$y = 8,62 + 0,032T - 0,16U - 0,0001T^2 + 0,005U^2 - 0,0007TU$					
Média das respostas = 8,52		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9426			
Desvio padrão = 0,11		Coeficiente de variação = 0,0135			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,989	0,8626	37,57	0,0010
Quadrático	2	0,081	0,0704	3,07	0,1351
Interação	1	0,011	0,0096	0,84	0,4021
Regressão	5	1,081	0,9426	16,42	0,0040
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,064	0,021	30,67	0,0317
Erro puro	2	0,001	0,001		
Total	5	0,066	0,013		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,066	0,022	1,68	0,2850
U	3	1,005	0,335	25,44	0,0019
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,982	0,982	53,75	0,0001
Resíduo	9	0,165	0,018		
Total	10	1,147			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	9,6838		-		-
U	-0,1168		0,0001		0,8566
R^2 p/regressão					0,8566

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 09a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de lipídios da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 8,30 + 0,005T - 0,19U - 0,0000T^2 + 0,008U^2 + 0,0004TU$$

Média das respostas = 7,29			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8368		
Desvio padrão = 0,11			Coeficiente de variação = 0,0148		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,261	0,734	11,25	0,0141
Quadrático	2	0,033	0,094	1,44	0,3209
Interação	1	0,003	0,009	0,26	0,6316
Regressão	5	0,298	0,837	5,13	0,0486
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,0572	0,0191	44,02	0,0223
Erro puro	2	0,0008	0,0004		
Total	5	0,0581	0,0116		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,0033	0,0011	0,10	0,9597
U	3	0,2932	0,0977	8,41	0,0213
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	0,295	0,147	19,19	0,0009
Resíduo	8	0,061	0,008		
Total	10	0,356			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	8,6594		-	-	
U	-0,2234		0,0223	0,7341	
U ²	0,0082		0,0709	0,0934	
R^2 p/regressão				0,8275	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 10a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 4,58 - 0,0008T - 0,16U + 0,0001T^2 + 0,006U^2 - 0,0002TU$$

Média das respostas = 3,24			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9096		
Desvio padrão = 0,08			Coeficiente de variação = 0,0235		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,273	0,8506	23,52	0,0029
Quadrático	2	0,018	0,0570	1,58	0,2945
Interação	1	0,001	0,0019	0,11	0,7560
Regressão	5	0,292	0,9096	10,06	0,0121
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,029	0,010	0,00	0,0000
Erro puro	2	0,000	0,000		
Total	5	0,029	0,006		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,010	0,003	0,568	0,6596
U	3	0,287	0,096	16,52	0,0050
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,272	0,272	50,23	0,0001
Resíduo	9	0,048	0,005		
Total	10	0,321			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	3,8502		-	-	
U	-0,0615		0,0001	0,8481	
R^2 p/regressão				0,8481	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 11a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 6,09 - 0,014T - 0,709U + 0,0001T^2 + 0,029U^2 - 0,0003TU$$

Média das respostas = 1,46			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9245		
Desvio padrão = 0,19			Coeficiente de variação = 0,1288		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,800	0,7634	25,29	0,0024
Quadrático	2	0,378	0,1603	5,31	0,0580
Interação	1	0,002	0,0009	0,06	0,8209
Regressão	5	2,180	0,9245	12,25	0,0078
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,178	0,059	44,42	0,0022
Erro puro	2	0,000	0,000		
Total	5	0,178	0,036		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,030	0,010	0,28	0,8358
U	3	2,178	0,726	20,40	0,0031
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	2,150	1,075	41,31	0,0001
Resíduo	8	0,208	0,026		
Total	10	2,358			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	5,5248		-		-
U	-0,6886		0,0015		0,7626
U^2	0,02265		0,0063		0,1491
R^2 p/regressão					0,9117

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 12a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de cinzas da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 0,86 + 0,0006T - 0,012U + 0,0000T^2 + 0,0004U^2 - 0,0002TU$$

Média das respostas = 0,72			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9363		
Desvio padrão = 0,02			Coeficiente de variação = 0,0257		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,024	0,9112	35,71	0,0011
Quadrático	2	0,000	0,0031	0,12	0,8872
Interação	1	0,001	0,0229	1,79	0,2376
Regressão	5	0,026	0,9363	14,69	0,0052
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,001	0,0003	0,78	0,6036
Erro puro	2	0,001	0,0004		
Total	5	0,002	0,0003		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,001	0,0004	1,03	0,4557
U	3	0,025	0,0083	24,09	0,0021
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,024	0,024	77,52	0,0001
Resíduo	9	0,003	0,0003		
Total	10	0,027			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	0,9088		-		-
U	-0,0184		0,0001		0,8960
R^2 p/regressão					0,8960

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 13a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 57,78 + 0,029T + 1,20U - 0,0002T^2 - 0,045U^2 - 0,0004TU$					
Média das respostas = 65,81		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9370			
Desvio padrão = 0,29		Coeficiente de variação = 0,0045			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	5,522	0,8028	31,85	0,0014
Quadrático	2	0,920	0,1337	5,31	0,0580
Interação	1	0,003	0,0004	0,04	0,8592
Regressão	5	6,448	0,9370	14,87	0,0051
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,431	0,145	100,10	0,0099
Erro puro	2	0,003	0,001		
Total	5	0,433	0,086		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,141	0,047	0,54	0,6752
U	3	3,380	2,126	24,53	0,0020
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	6,304	3,152	43,94	0,0001
Resíduo	8	0,574	0,071		
Total	10	6,878			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	59,2049		-		-
U	11,0989		0,0190		0,7934
U^2	-0,0412		0,0089		0,1232
R^2 p/regressão					0,9166

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 14a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$y = 56,10 + 0,049T + 2,958U - 0,0003T^2 - 0,116U^2 + 0,0001TU$					
Média das respostas = 75,05		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9444			
Desvio padrão = 0,65		Coeficiente de variação = 0,0087			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	30,360	0,7842	35,25	0,0011
Quadrático	2	6,200	0,1602	7,20	0,0337
Interação	1	0,0004	0,0000	0,00	0,9769
Regressão	5	36,560	0,9444	16,98	0,0037
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	2,147	0,716	235,90	0,0042
Erro puro	2	0,006	0,003		
Total	5	2,153	0,431		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,302	0,100	0,23	0,8692
U	3	36,440	12,150	28,21	0,0015
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	36,255	18,128	59,07	0,0001
Resíduo	8	2,455	0,307		
Total	10	38,710			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	58,3549		-		-
U	2,8319		0,0005		0,7828
U^2	-0,1091		0,0023		0,1538
R^2 p/regressão					0,9366

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 15a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de carboidratos da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 69,42 + 0,028T + 1,42U - 0,0002T^2 - 0,058U^2 + 0,0009TU$					
Média das respostas = 78,99			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9933		
Desvio padrão = 0,12			Coeficiente de variação = 0,0015		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	8,489	0,8412	312,10	0,0000
Quadrático	2	1,515	0,1501	55,68	0,0004
Interação	1	0,019	0,0019	1,44	0,2837
Regressão	5	10,024	0,9933	147,40	0,0000
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,063	0,021	8,65	0,1054
Erro puro	2	0,005	0,002		
Total	5	0,068	0,013		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,155	0,052	3,79	0,0929
U	3	9,998	03,332	245,10	0,0000
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	9,869	4,935	177,39	0,0001
Resíduo	8	0,223	0,028		
Total	10	10,092			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	70,6045		-	-	
U	1,4031		0,0001	0,8388	
U ²	-0,0530		0,0001	0,1391	
R ² p/regressão				0,9779	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 16a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 70,59 + 0,025T + 1,49U - 0,0002T^2 - 0,049U^2 + 0,0003TU$					
Média das respostas = 81,44			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9523		
Desvio padrão = 0,47			Coeficiente de variação = 0,0057		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	20,51	0,9029	47,29	0,0006
Quadrático	2	1,12	0,0493	2,58	0,1696
Interação	1	0,002	0,0001	0,01	0,9268
Regressão	5	21,63	0,9523	19,96	0,0026
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	1,007	0,336	8,74	0,1045
Erro puro	2	0,076	0,038		
Total	5	1,084	0,216		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,076	0,025	0,12	0,9461
U	3	21,617	7,206	33,24	0,0010
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	20,50	20,50	83,22	0,0001
Resíduo	9	2,22	0,25		
Total	10	22,72			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	76,0981		-	-	
U	0,5337		0,0001	0,9024	
R ² p/regressão				0,9024	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 17a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$y = 74,86 + 0,12T + 0,93U - 0,0011T^2 - 0,039U^2 + 0,0052TU$					
Média das respostas = 86,72			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9122		
Desvio padrão = 0,72			Coeficiente de variação = 0,0083		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	23,426	0,8001	22,79	0,0031
Quadrático	2	2,681	0,0916	2,61	0,1675
Interação	1	0,601	0,0205	1,17	0,3290
Regressão	5	26,707	0,9122	10,39	0,0113
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	2,389	0,796	8,82	0,1036
Erro puro	2	0,181	0,090		
Total	5	2,569	0,514		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	3,211	1,070	2,08	0,2212
U	3	24,644	8,214	15,98	0,0054
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	23,35	23,35	35,49	0,0002
Resíduo	9	5,92	0,66		
Total	10	29,28			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	81,0211		-		-
U	0,5697		0,0002		0,7977
R^2 p/regressão					0,7977

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 18a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 86,45 + 0,030T + 0,22U - 0,0002T^2 + 0,005U^2 + 0,00003TU$					
Média das respostas = 90,65			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9529		
Desvio padrão = 0,28			Coeficiente de variação = 0,0031		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	7,798	0,9431	50,03	0,0005
Quadrático	2	0,081	0,0097	0,52	0,6250
Interação	1	0,000	0,0000	0,00	0,9864
Regressão	5	7,879	0,9526	20,22	0,0025
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,3752	0,1251	17,29	0,0552
Erro puro	2	0,0145	0,0072		
Total	5	0,3896	0,0779		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,301	0,100	1,29	0,3750
U	3	7,558	2,519	32,33	0,0011
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	7,546	7,547	94,06	0,0001
Resíduo	9	0,722	0,080		
Total	10	8,268			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	87,4097		-		-
U	0,3239		0,0001		0,9126
R^2 p/regressão					0,9126

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 19a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 2,97 + 0,002T - 0,19U - 0,0001T^2 + 0,003U^2 + 0,0004TU$$

Média das respostas = 1,37		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9583			
Desvio padrão = 0,09		Coeficiente de variação = 0,0674			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,958	0,9397	56,37	0,0004
Quadrático	2	0,015	0,0145	0,87	0,4739
Interação	1	0,004	0,0041	0,50	0,5122
Regressão	5	0,977	0,9583	22,99	0,0018
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,014	0,005	0,33	0,8106
Erro puro	2	0,028	0,014		
Total	5	0,042	0,0085		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,190	0,063	3,12	0,1264
U	3	1,086	0,365	17,96	0,0041
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,916	0,916	79,45	0,0001
Resíduo	9	0,104	0,012		
Total	10	1,019			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	2,4953		-	-	
U	-0,1128		0,0001	0,8982	
R^2 p/regressão				0,8982	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 20a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 2,45 - 0,020T - 0,15U + 0,0002T^2 + 0,007U^2 + 0,0009TU$$

Média das respostas = 0,47		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9266			
Desvio padrão = 0,11		Coeficiente de variação = 0,2388			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,685	0,8099	27,59	0,0020
Quadrático	2	0,079	0,0935	3,18	0,1283
Interação	1	0,020	0,0232	1,58	0,2644
Regressão	5	0,783	0,9266	12,63	0,0073
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,058	0,019	9,18	0,0998
Erro puro	2	0,004	0,002		
Total	5	0,062	0,012		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,0974	0,0324	2,62	0,1633
U	3	0,7211	0,2403	19,37	0,0035
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,682	0,682	37,66	0,0002
Resíduo	9	0,163	0,018		
Total	10	0,845			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F	R^2 parcial	
Intercepto	1,4402		-	-	
U	-0,0974		0,0002	0,8071	
R^2 p/regressão				0,8071	

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 21a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 0,63 - 0,003T - 0,063U + 0,0000T^2 + 0,001U^2 - 0,0003TU$					
Média das respostas = -0,21			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9167		
Desvio padrão = 0,08			Coeficiente de variação = 0,0974		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,372	0,9066	27,19	0,0021
Quadrático	2	0,002	0,0040	0,11	0,8904
Interação	1	0,003	0,0061	0,37	0,5719
Regressão	5	0,376	0,9167	10,99	0,0099
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,032	0,011	8,58	0,1062
Erro puro	2	0,002	0,001		
Total	5	0,034	0,007		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,022	0,008	1,09	0,4328
U	3	0,357	0,119	17,38	0,0045
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,354	0,354	56,10	0,0001
Resíduo	9	0,057	0,006		
Total	10	0,411			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	0,4930		-		-
U	-0,0701		0,0001		0,8617
R^2 p/regressão					0,8617

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 22a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 17,25 - 0,058T - 0,86U + 0,0003T^2 + 0,011U^2 + 0,002TU$					
Média das respostas = 10,37			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9565		
Desvio padrão = 0,26			Coeficiente de variação = 0,0255		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	7,420	0,9238	53,12	0,0004
Quadrático	2	0,200	0,0249	1,43	0,3224
Interação	1	0,063	0,0078	0,89	0,3876
Regressão	5	7,683	0,9565	21,99	0,0020
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,325	0,108	8,95	0,1021
Erro puro	2	0,024	0,012		
Total	5	0,349	0,070		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,367	0,122	1,75	0,2721
U	3	7,420	2,473	35,41	0,0009
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	7,303	7,303	90,26	0,0001
Resíduo	9	0,728	0,081		
Total	10	8,032			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	13,5596		-		-
U	-0,3186		0,0001		0,9093
R^2 p/regressão					0,9093

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 23a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$y = 16,46 - 0,048T - 0,80U + 0,0005T^2 + 0,033U^2 - 0,003TU$					
Média das respostas = 9,04			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9424		
Desvio padrão = 0,36			Coeficiente de variação = 0,0397		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	9,628	0,8587	37,29	0,0010
Quadrático	2	0,766	0,0683	2,97	0,1413
Interação	1	0,172	0,0154	1,33	0,3003
Regressão	5	10,567	0,9424	16,37	0,0041
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,469	0,156	1,77	0,3803
Erro puro	2	0,176	0,088		
Total	5	0,645	0,129		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,672	0,224	1,74	0,2751
U	3	10,290	3,431	26,58	0,0017
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	9,623	9,624	54,51	0,0001
Resíduo	9	1,589	0,177		
Total	10	11,212			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	12,7017		-		-
U	-0,3657		0,0001		0,8583
R^2 p/regressão					0,8583

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 24a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 10,24 - 0,004T - 0,264U + 0,0000T^2 + 0,002U^2 + 0,0000TU$					
Média das respostas = 7,50			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9932		
Desvio padrão = 0,07			Coeficiente de variação = 0,0096		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	3,801	0,9929	366,00	0,0000
Quadrático	2	0,001	0,0003	0,12	0,8900
Interação	1	0,000	0,0000	0,00	0,9474
Regressão	5	3,802	0,9932	146,50	0,0000
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,025	0,0082	12,99	0,0723
Erro puro	2	0,001	0,0006		
Total	5	0,026	0,0052		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,042	0,014	2,72	0,1545
U	3	3,761	1,254	241,40	0,0000
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	3,759	3,759	487,19	0,0001
Resíduo	9	0,069	0,008		
Total	10	3,829			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	9,7866		-		-
U	-0,2286		0,0001		0,9818
R^2 p/regressão					0,9818

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 25a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 18,28 + 0,091T + 4,71U - 0,0006T^2 - 0,202U^2 + 0,004TU$$

Média das respostas = 50,33			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8610		
Desvio padrão = 1,75			Coeficiente de variação = 0,0348		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	75,896	0,6875	12,37	0,0116
Quadrático	2	18,838	0,1706	3,07	0,1350
Interação	1	0,319	0,0029	0,11	0,7601
Regressão	5	95,054	0,8610	6,19	0,00335
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	9,869	3,289	1,20	0,4841
Erro puro	2	5,474	2,737		
Total	5	15,343	3,069		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	8,226	2,742	0,89	0,5054
U	3	87,656	29,219	9,52	0,0165
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	86,827	43,414	14,74	0,0021
Resíduo	8	23,568	2,946		
Total	10	110,397			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	22,7541		-		-
U	4,7865		0,0149		0,6223
U^2	-0,1905		0,0381		0,1642
R^2 p/regressão					0,7865

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 26a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 25,96 + 0,408T + 2,796U - 0,003T^2 - 0,128U^2 + 0,014TU$$

Média das respostas = 60,87			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8838		
Desvio padrão = 2,06			Coeficiente de variação = 0,0338		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	129,96	0,7126	15,33	0,0074
Quadrático	2	26,94	0,1477	3,18	0,1286
Interação	1	4,28	0,0235	1,01	0,3608
Regressão	5	161,19	0,8838	7,61	0,0220
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	12,059	4,019	0,881	0,5707
Erro puro	2	9,130	4,565		
Total	5	21,189	4,237		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	29,708	9,902	2,34	0,1906
U	3	141,504	47,168	11,13	0,0119
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	129,761	129,761	22,20	0,0011
Resíduo	9	52,615	5,846		
Total	10	182,376			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	47,4447		-		-
U	1,3429		0,0011		0,7115
R^2 p/regressão					0,7115

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 27a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 56,07 + 0,042T + 1,438U - 0,0003T^2 - 0,045U^2 + 0,003TU$					
Média das respostas = 69,38		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9128			
Desvio padrão = 0,94		Coeficiente de variação = 0,0136			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	45,317	0,8915	25,56	0,0024
Quadrático	2	0,921	0,0181	0,52	0,6239
Interação	1	0,164	0,0032	0,19	0,6850
Regressão	5	46,402	0,9128	10,47	0,0111
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,094	1,365	8,09	0,1120
Erro puro	2	0,337	0,169		
Total	5	4,432	0,886		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	3,805	1,268	1,43	0,3380
U	3	42,901	14,300	16,13	0,0050
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	41,831	41,831	41,82	0,0001
Resíduo	9	9,003	1,000		
Total	10	50,833			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	61,7536		-		-
U	0,7625		0,0001		0,8229
R^2 p/regressão					0,8229

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 28a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 38,77 - 0,45T - 0,69U + 0,002T^2 + 0,008U^2 + 0,007TU$					
Média das respostas = 13,56		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9752			
Desvio padrão = 0,63		Coeficiente de variação = 0,0467			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	71,384	0,8829	89,15	0,0001
Quadrático	2	6,178	0,0764	7,71	0,0296
Interação	1	1,288	0,0159	3,22	0,1328
Regressão	5	78,849	0,9752	39,39	0,0005
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	1,895	0,631	11,82	0,0790
Erro puro	2	0,107	0,053		
Total	5	1,001	0,400		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	77,50	25,83	67,50	0,0002
U	3	1,74	0,58	1,52	0,3179
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	77,078	38,539	81,73	0,0001
Resíduo	8	3,772	0,472		
Total	10	80,851			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	32,5558		-		-
T	-0,3740		0,0001		0,8772
T^2	0,0016		0,0068		0,0762
R^2 p/regressão					0,9533

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 29a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$y = 29,16 - 0,31T - 0,29U + 0,001T^2 - 0,03U^2 + 0,005TU$					
Média das respostas = 14,62			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9209		
Desvio padrão = 0,98			Coeficiente de variação = 0,0669		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	51,465	0,8510	26,89	0,0021
Quadrático	2	3,518	0,0582	1,84	0,2521
Interação	1	0,705	0,0117	0,73	0,4298
Regressão	5	55,689	0,9209	11,64	0,0088
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,568	1,522	14,02	0,0673
Erro puro	2	0,217	0,109		
Total	5	4,786	0,957		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	53,951	17,983	18,78	0,0037
U	3	1,513	0,504	0,53	0,6828
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	54,176	27,088	34,40	0,0001
Resíduo	8	6,299	0,787		
Total	10	60,476			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	29,32		-		-
T	-0,2789		0,0001		0,8463
T ²	0,0011		0,0870		0,0495
R ² p/regressão					0,8958

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 30a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$y = 37,34 - 0,41T - 1,16U + 0,001T^2 + 0,03U^2 + 0,007TU$					
Média das respostas = 11,81			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9301		
Desvio padrão = 1,00			Coeficiente de variação = 0,0849		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	61,274	0,8528	30,50	0,0016
Quadrático	2	4,356	0,0606	2,17	0,2099
Interação	1	1,199	0,0167	1,19	0,3245
Regressão	5	66,830	0,9301	13,30	0,0065
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,818	1,606	15,65	0,0607
Erro puro	2	0,205	0,102		
Total	5	5,023	1,005		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	66,72	22,24	22,14	0,0026
U	3	1,74	0,58	0,58	0,6541
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	65,09	32,54	39,46	0,0001
Resíduo	8	6,60	0,82		
Total	10	71,69			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	28,21		-		-
T	-0,3140		0,0001		0,8513
T ²	0,0013		0,0635		0,0545
R ² p/regressão					0,9058

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 31a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 16.304 - 21,38T - 28,06U + 0,10T^2 + 1,37U^2 + 0,71TU$$

Média das respostas = 15.702
Desvio padrão = 302

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,3716
Coefficiente de variação = 0,0193

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	238.093	0,3263	1,30	0,3515
Quadrático	2	21.766	0,0298	0,12	0,8905
Interação	1	11.342	0,0155	0,12	0,7394
Regressão	5	271.201	0,3716	0,59	0,7108
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	376.953	125.651	3,07	0,2547
Erro puro	2	81.619	40.809		
Total	5	458.571	91.714		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	44.231	14.744	0,16	0,9183
U	3	238.481	79.494	0,87	0,5163

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 32a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 15.068 + 41,49T - 254,33U - 0,16T^2 + 18,22U^2 - 1,49TU$$

Média das respostas = 15.462
Desvio padrão = 264

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,5022
Coefficiente de variação = 0,0171

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	9.071	0,0129	0,06	0,9379
Quadrático	2	294.332	0,4186	2,11	0,2170
Interação	1	50.400	0,0717	0,72	0,4344
Regressão	5	353.803	0,5032	1,01	0,4946
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	207.871	69.290	0,98	0,5409
Erro puro	2	141.434	70.717		
Total	5	349.305	69.861		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	110.387	36.796	0,53	0,6830
U	3	211.512	70.504	1,01	0,4615

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 33a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 15.149 + 33,99T - 328,32U - 0,16T^2 + 22,98U^2 - 0,82TU$$

Média das respostas = 15.263
Desvio padrão = 209

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,7646
Coefficiente de variação = 0,0138

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	294.228	0,3141	3,34	0,1201
Quadrático	2	406.811	0,4343	4,61	0,0732
Interação	1	15.256	0,0163	0,35	0,5820
Regressão	5	716.295	0,7646	3,25	0,1109
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	158.160	52.720	1,69	0,3924
Erro puro	2	62.318	31.159		
Total	5	220.478	44.096		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	73.619	24.540	0,56	0,6861
U	3	553.689	184.563	4,19	0,0786

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 34a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 34,30 - 0,78T + 2,64U + 0,006T^2 - 0,04U^2 - 0,03TU$$

Média das respostas = 22,42			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9366		
Desvio padrão = 1,95			Coeficiente de variação = 0,0868		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	184,84	0,6194	24,41	0,0026
Quadrático	2	79,68	0,2670	10,53	0,0161
Interação	1	14,98	0,0502	3,96	0,1034
Regressão	5	279,50	0,9366	14,77	0,0051
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	18,10	6,03	14,64	0,0646
Erro puro	2	0,82	0,41		
Total	5	18,92	3,79		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	137,17	45,72	12,08	0,0100
U	3	154,13	51,38	13,57	0,0077
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	4	278,74	69,69	21,89	0,0010
Resíduo	6	19,10	3,18		
Total	10	297,84			
VARIÁVEIS	Estimativa dos		Significância		R^2 parcial
(modelo ajustado)	coeficientes		Prob > F		
Intercepto	29,4978		-		-
T	-0,7504		0,0152		0,1241
U	3,4491		0,0206		0,4662
T ²	0,0057		0,0459		0,1594
TU	-0,0258		0,0740		0,1844
R ² p/regressão					0,9340

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 35a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria intermediária (entre 532 e 150 µm)

$$y = 25,08 - 0,73T + 4,71U + 0,008T^2 - 0,11U^2 - 0,06TU$$

Média das respostas = 24,81			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9677		
Desvio padrão = 1,81			Coeficiente de variação = 0,0731		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	274,39	0,5391	41,67	0,0008
Quadrático	2	130,38	0,2562	19,80	0,0042
Interação	1	87,70	0,1723	26,64	0,0036
Regressão	5	492,48	0,9677	29,92	0,0010
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	13,93	4,64	3,67	0,2213
Erro puro	2	2,53	1,26		
Total	5	16,46	3,29		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	302,85	100,95	30,66	0,0012
U	3	281,06	93,69	28,46	0,0014
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	4	486,70	121,67	32,82	0,0003
Resíduo	6	22,25	3,70		
Total	10	508,94			
VARIÁVEIS	Estimativa dos		Significância		R^2 parcial
(modelo ajustado)	coeficientes		Prob > F		
Intercepto	11,84		-		-
T	-0,6535		0,0332		0,0552
U	6,6073		0,0008		0,3706
T ²	0,0072		0,0012		0,2926
TU	-0,0624		0,0028		0,2378
R ² p/regressão					0,9563

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 36a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t = 48 horas) da fração de moagem de aveia de granulometria inferior a 150 µm

$$y = 44,57 - 0,96T + 2,50U + 0,007T^2 + 0,04U^2 - 0,03TU$$

Média das respostas = 22,79			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9559		
Desvio padrão = 1,56			Coeficiente de variação = 0,0686		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	115,74	0,4366	23,68	0,0028
Quadrático	2	118,94	0,4487	24,33	0,0026
Interação	1	18,19	0,0686	7,44	0,0414
Regressão	5	252,87	0,9539	20,69	0,0024
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	11,56	3,85	11,67	0,0799
Erro puro	2	0,66	0,33		
Total	5	12,22	2,44		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	182,82	60,94	24,93	0,0020
U	3	82,05	27,35	11,19	0,0117
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	252,29	63,07	29,55	0,0004
Resíduo	6	12,80	2,13		
Total	10	265,09			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	40,36		-		-
T	-0,9353		0,0020		0,2171
U	3,2113		0,0069		0,2410
T ²	0,0070		0,0003		0,2565
TU	-0,0284		0,0266		0,2372
R^2 p/regressão					0,9517

T= temperatura de secagem (°C); U= umidade de condicionamento (%).

Tabela 37a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de proteínas, umidade, cinzas lipídios e açúcares totais da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		Proteína	Umidade	Cinzas	Lipídios	Açúcares
Tratamentos	2	25,15**	0,53**	2,81**	1,98**	0,41**
Resíduo	6	0,006	0,015	0,0001	0,004	0,002
C.V.		0,0055	0,0129	0,0058	0,0073	0,0460

Significativo ao nível de 1 % de probabilidade** ($p \leq 0,01$).

Tabela 38a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de amido, fibra alimentar total, fibra alimentar solúvel e fibra alimentar da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		Amido	F. total	F. solúvel	F. insolúvel
Tratamentos	2	316,4**	113,8**	15,74**	47,77**
Resíduo	6	0,47	0,18	0,008	0,050
C.V.		0,0125	0,0386	0,0182	0,0372

Significativo ao nível de 1 % de probabilidade** ($p \leq 0,01$).

Tabela 39a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de energia bruta, energia metabolizável e acidez da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		E. bruta	E.metabol.	Acidez
Tratamentos	2	382,7**	414,9**	0,025ns
Resíduo	6	0,58	5,59	0,002
C.V.		0,0018	0,0063	0,0018

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$) e 1 % de probabilidade** ($p \leq 0,01$);

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 40a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos ácidos graxos merístico, palmítico esteárico araquidônico e total de ácidos graxos saturados da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		Mirístico	Palmítico	Esteárico	Araquid.	T.saturados
Tratamentos	2	0,0006*	0,72ns	0,004ns	0,024ns	0,62ns
Resíduo	3	0,00005	0,10	0,003	0,030	0,10
C.V.		0,0744	0,0167	0,0142	0,2117	0,0154

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$);

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 41a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos ácidos graxos oléico, linoléico, linolênico e total de ácidos graxos insaturados da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		Oléico	Linoléico	Linolênico	T. insaturados
Tratamentos	2	0,58*	0,06ns	0,03ns	0,62ns
Resíduo	3	0,040	0,04	0,009	0,10
C.V.		0,0052	0,0051	0,0849	0,0040

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$);

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 42a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos triptofano, lisina, histidina, arginina e ácido aspártico da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		Triptofano	Lisina	Histidina	Arginina	Ac.aspártico
Tratamentos	2	0,071*	0,054ns	0,087ns	0,81ns	1,62*
Resíduo	3	0,005	0,010	0,014	0,28	0,089
C.V.		0,0459	0,0288	0,0600	0,0843	0,0449

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$);

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 43a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos treonina, serina, ácido glutâmico, prolina e glicina da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		Treonina	Serina	Ac.glutâmico	Prolina	Glicina
Tratamentos	2	0,061ns	0,11ns	10,28*	0,184ns	0,116*
Resíduo	3	0,022	0,015	0,47	0,033	0,007
C.V.		0,0485	0,0298	0,0404	0,0360	0,0180

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$);

ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 44a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos ½ cistina, valina metionina, isoleucina e leucina da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		½Cistina	Valina	Metionina	Isoleucina	Leucina
Tratamentos	2	0,041ns	0,147*	0,265**	0,011ns	1,59*
Resíduo	3	0,007	0,012	0,005	0,009	0,13
C.V.		0,0478	0,0227	0,0400	0,0262	0,0594

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$) e 1 % de probabilidade** ($p \leq 0,01$);
ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 45a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação dos aminoácidos tirosina, fenilalanina, alanina, lisina disponível e digestibilidade *in vitro* da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios				
		Tirosina	Fenilalanina	Alanina	Lisina disp.	Digestib.
Tratamentos	2	0,123ns	0,481*	0,479	0,047**	22,3*
Resíduo	3	0,017	0,025	0,015	0,0009	1,44
C.V.		0,0376	0,0319	0,0305	0,0102	0,0144

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$) e 1 % de probabilidade** ($p \leq 0,01$);
ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 46a -Resumo das análises de variância e coeficientes de variação de escore químico (E.Q.), índice médio dos aminoácidos essenciais (MEAAI) e coeficiente de utilização protéica líquida calculado (NPU-C) da cariopse e das frações de aveia de granulometrias superior a 532 µm e inferior a 532 µm

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		E.Q.	MEAAI	NPU-C
Tratamentos	2	16,23ns	28,24*	11,17ns
Resíduo	3	3,15	1,88	2,54
C.V.		0,0288	0,0195	0,0271

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade* ($p \leq 0,05$);
ns- não significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($p > 0,05$).

Tabela 47a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para densidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 406,45 + 0,25T + 3,73U - 0,00025T^2 - 0,061U^2 - 0,012TU$					
Média das respostas = 454,63		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,6838			
Desvio padrão = 1,64		Coeficiente de variação = 0,0036			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	19,7616	0,4645	3,67	0,1044
Quadrático	2	3,0792	0,0724	0,57	0,5974
Interação	1	6,2500	0,1469	2,32	0,1880
Regressão	5	29,0908	0,6838	2,16	0,2087
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	12,7879	4,2626	12,79	0,0734
Erro puro	2	0,6866	0,3333		
Total	5	13,4546	2,6909		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	22,3479	7,4493	2,76	0,1506
U	3	13,2873	4,4291	1,65	0,2918

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 48a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para energia mecânica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 0,12 - 1,3E-4T - 9,2E-3U + 4,5E-7T^2 + 2E-4U^2 + 4,8E-7TU$$

Média das respostas = 0,0077			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9484		
Desvio padrão = 0,0012			Coeficiente de variação = 0,1584		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1E-4	0,7112	34,46	0,0012
Quadrático	2	3E-5	0,2371	11,49	0,0135
Interação	1	1E-8	0,0001	0,01	0,9371
Regressão	5	2E-4	0,9484	18,39	0,0031
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	7E-6	2E-6	10,16	0,0909
Erro puro	2	4E-7	2E-7		
Total	5	7E-6	1E-6		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	4,1E-6	1,4E-6	0,93	0,4891
U	3	1,3E-4	4,3E-5	29,80	0,0013
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	1,3E-4	6,4E-5	45,67	0,0001
Resíduo	8	1,1E-5	1,4E-6		
Total	10	1,4E-4			
VÁRIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	0,1062		-		-
U	-0,0087		0,0016		0,6889
U ²	0,0002		0,0014		0,2305
R^2 p/regressão					0,9194

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 49a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de absorção de água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -3,46 + 0,031T + 0,205U + 4,5E-0,0001T^2 - 0,0063U^2 + 0,0009TU$$

Média das respostas = 5,23			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8878		
Desvio padrão = 0,29			Coeficiente de variação = 0,0559		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	3,269	0,8592	19,15	0,0045
Quadrático	2	0,076	0,0201	0,45	0,6625
Interação	1	0,032	0,0085	0,38	0,5649
Regressão	5	3,378	0,8678	7,91	0,0202
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,3931	0,131	7,75	0,1164
Erro puro	2	0,076	0,017		
Total	5	0,032	0,085		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	3,139	1,046	12,25	0,0097
U	3	0,292	0,097	1,14	0,4176
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	3,293	1,646	25,72	0,0003
Resíduo	8	0,512	0,064		
Total	10	3,8056			
VÁRIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	2,7594		-		-
T	0,0120		0,0002		0,7996
TU	0,0004		0,0834		0,0658
R^2 p/regressão					0,8654

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 50a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de solubilidade em água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 15,96 - 0,18T + 0,33U + 0,0006T^2 - 0,0092U^2 + 0,0002TU$$

Média das respostas = 6,30		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9558			
Desvio padrão = 0,32		Coeficiente de variação = 0,0507			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	8,91	0,7747	43,80	0,0007
Quadrático	2	2,08	0,1809	10,22	0,0171
Interação	1	0,002	0,0002	0,02	0,8933
Regressão	5	10,99	0,9558	21,61	0,0021
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,485	0,162	13,42	0,0701
Erro puro	2	0,024	0,012		
Total	5	0,509	0,102		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	10,50	3,50	34,41	0,0009
U	3	0,12	0,04	0,41	0,7552
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	10,87	5,43	68,30	0,0001
Resíduo	8	0,63	0,079		
Total	10	11,50			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	19,2255		-		-
T	-0,1873		0,0004		0,7702
T ²	0,0006		0,0010		0,1748
R ² p/regressão					0,9450

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 51a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade inicial a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 252,99 - 2,54T - 13,00U + 0,0029T^2 + 0,068U^2 + 0,10TU$$

Média das respostas = 18,25		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9409			
Desvio padrão = 5,22		Coeficiente de variação = 0,2858			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1621,32	0,7041	29,76	0,0017
Quadrático	2	40,96	0,0178	0,75	0,5182
Interação	1	504,23	0,2190	18,51	0,0077
Regressão	5	21,66,51	0,9409	15,91	0,0043
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	90,03	30,01	1,30	0,4624
Erro puro	2	46,14	23,07		
Total	5	136,17	27,23		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1494	498,17	18,29	0,0040
U	3	1180	393,34	14,44	0,0067
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	1771	1771	30,03	0,0004
Resíduo	9	531	59,03		
Total	10	2302			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-30,7396		-		-
TU	0,01991		0,0004		0,7692
R ² p/regressão					

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 52a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade a temperatura constante a 95°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = 191,22 - 0,49T + 12,72U - 0,014T^2 - 0,69U^2 + 0,14TU$					
Média das respostas = 228,22			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9281		
Desvio padrão = 11,88			Coeficiente de variação = 0,0521		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	7171	0,7308	25,39	0,0024
Quadrático	2	1054	0,1074	3,73	0,1019
Interação	1	881	0,0898	6,24	0,0546
Regressão	5	9106	0,9281	12,90	0,0070
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	486,15	162,05	1,47	0,4285
Erro puro	2	219,74	109,87		
Total	5	705,89	141,18		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	8854	2951	20,91	0,0029
U	3	1395	465	3,29	0,1160
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	7446	7446	28,33	0,0005
Resíduo	9	2365	262		
Total	10	9812			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	291,6456		-		-
T^2	-0,0042		0,0005		0,7589
R^2 p/regressão					0,7589

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 53a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade final a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$y = -77,13 + 7,95T + 69,99U - 0,044T^2 - 2,08U^2 + 0,12TU$					
Média das respostas = 378,52			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,7655		
Desvio padrão = 25,64			Coeficiente de variação = 0,0675		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	149,94	0,0107	0,11	0,8945
Quadrático	2	9855	0,7028	7,49	0,0313
Interação	1	730,35	0,0521	1,11	0,3402
Regressão	5	10736	0,7655	3,27	0,1100
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	3151	1050	15,39	0,0616
Erro puro	2	136	60,24		
Total	5	3287	657,57		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	9555	3185	4,84	0,0610
U	3	4307	1435	2,18	0,2083

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 54a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a força de gel a 4°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -152,39 + 1,41T + 11,30U - 0,0088T^2 - 0,34U^2 + 0,027TU$$

Média das respostas = 33,15		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9344			
Desvio padrão = 2,85		Coeficiente de variação = 0,0859			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	167,78	0,2713	10,33	0,0168
Quadrático	2	377,57	0,6105	23,25	0,0029
Interação	1	32,49	0,0525	4,00	0,1019
Regressão	5	577,85	0,9344	14,23	0,0056
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	36,09	12,03	5,34	0,1618
Erro puro	2	4,51	2,25		
Total	5	40,59	8,12		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	547,31	182,43	22,47	0,0025
U	3	140,26	46,75	5,76	0,0445
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	437,59	218,79	9,68	0,0073
Resíduo	8	180,85	22,60		
Total	10	618,45			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-51,4853		-		-
T	1,6409		0,0127		0,3732
T ²	-0,0075		0,0624		0,3344
R ² p/regressão					0,7076

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 55a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 109,68 - 0,39T - 0,32U + 0,001T^2 - 0,002U^2 + 0,002TU$$

Média das respostas = 80,48		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8942			
Desvio padrão = 0,65		Coeficiente de variação = 0,0081			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	8,38	0,4919	9,97	0,0180
Quadrático	2	9,23	0,4644	10,97	0,0148
Interação	1	0,16	0,0079	0,37	0,5690
Regressão	5	17,76	0,8942	8,45	0,0176
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	1,92	0,64	7,07	0,1264
Erro puro	2	0,18	0,09		
Total	5	2,10	0,42		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	13,66	4,55	10,83	0,0126
U	3	3,38	1,13	2,68	0,1580
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	17,60	5,87	18,16	0,0011
Resíduo	7	2,26	0,32		
Total	10	19,87			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	106,10		-		-
T	-0,3528		0,0007		0,2599
U	-0,1821		0,0160		0,1620
T ²	0,0014		0,0011		0,4642
R ² p/regressão					0,8861

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 56a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -1,93 + 0,048T + 0,066U - 0,0001T^2 + 0,0017U^2 - 0,0009TU$$

Média das respostas = 1,96			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8601		
Desvio padrão = 0,08			Coeficiente de variação = 0,0424		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,106	0,4254	7,60	0,0305
Quadrático	2	0,072	0,2895	5,17	0,0606
Interação	1	0,036	0,1453	5,19	0,0716
Regressão	5	0,214	0,8601	6,15	0,0340
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,029	0,010	3,91	0,2105
Erro puro	2	0,005	0,003		
Total	5	0,034	0,007		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,1341	0,0447	6,43	0,0361
U	3	0,1031	0,0344	4,95	0,0588
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	0,1753	0,058	5,59	0,0283
Resíduo	7	0,0731	0,010		
Total	10				
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-0,4741		-		-
T	0,0307		0,0272		0,1648
U	0,0258		0,0417		0,2605
T^2	-0,0001		0,0364		0,2803
R^2 p/regressão					0,7056

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 57a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -11,76 + 0,29T + 0,77U - 0,0009T^2 - 0,0097U^2 - 0,0024TU$$

Média das respostas = 14,21			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9505		
Desvio padrão = 0,26			Coeficiente de variação = 0,0180		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	2,06	0,3114	15,74	0,0070
Quadrático	2	3,96	0,5991	30,28	0,0016
Interação	1	0,27	0,0401	4,06	0,1002
Regressão	5	6,28	0,9505	19,22	0,0028
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,006	0,002	0,01	0,9973
Erro puro	2	0,321	0,160		
Total	5	0,327	0,065		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	5,59	1,86	28,49	0,0014
U	3	0,94	0,31	4,81	0,0617
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	5,94	1,98	20,71	0,0007
Resíduo	7	0,67	0,09		
Total	10	6,61			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-1,23		-		-
T	0,2258		0,0003		0,2202
U	0,0788		0,0404		0,0911
T^2	-0,0009		0,0004		0,5874
R^2 p/regressão					0,8987

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 58a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 102,91 - 0,79T - 0,51U + 0,0026T^2 - 0,011U^2 + 0,005TU$$

Média das respostas = 45,22
Desvio padrão = 1,14

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,9159
Coeficiente de variação = 0,0252

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	34,49	0,4477	13,31	0,0099
Quadrático	2	34,86	0,4526	13,46	0,0097
Interação	1	1,20	0,0156	0,93	0,3802
Regressão	5	70,56	0,9159	10,89	0,0102
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,60	1,53	1,63	0,4019
Erro puro	2	1,88	0,94		
Total	5	6,48	1,30		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	55,57	18,52	14,30	0,0069
U	3	12,25	4,08	3,15	0,1242
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	1	32,98	32,98	6,71	0,0292
Resíduo	9	44,15	4,91		
Total	10	77,04			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	51,8958				
TU	-0,0027		0,0292		0,4269
R^2 p/regressão					0,4269

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 59a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar solúvel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 11,57 - 0,038T - 0,078U + 0,0000T^2 - 0,002U^2 + 0,0012TU$$

Média das respostas = 8,14
Desvio padrão = 0,14

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,6835
Coeficiente de variação = 0,0177

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,141	0,4276	3,38	0,1180
Quadrático	2	0,011	0,0343	0,27	0,7732
Interação	1	0,073	0,2216	3,50	0,1203
Regressão	5	0,225	0,6835	2,16	0,2090
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,023	0,007	0,19	0,8957
Erro puro	2	0,081	0,040		
Total	5	0,104	0,021		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,213	0,071	3,42	0,1095
U	3	0,081	0,026	1,29	0,3725

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 60a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar insolúvel dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 11,45 - 0,024T - 0,342U - 0,0001T^2 + 0,007U^2 + 0,0000TU$$

Média das respostas = 8,95
Desvio padrão = 0,23

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,5667
Coeficiente de variação = 0,0262

REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,190	0,2987	1,72	0,2696
Quadrático	2	0,170	0,2679	1,55	0,3002
Interação	1	0,000	0,0000	0,00	0,9838
Regressão	5	0,360	0,5667	1,31	0,3878
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,262	0,087	12,39	0,0756
Erro puro	2	0,014	0,007		
Total	5	0,276	0,055		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,228	0,076	1,38	0,3511
U	3	0,084	0,028	0,51	0,6945

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 61a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de fibra alimentar total dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 23,09 - 0,013T - 0,429U - 0,0000T^2 + 0,006U^2 + 0,0013TU$$

Média das respostas = 17,09		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,7914			
Desvio padrão = 0,21		Coeficiente de variação = 0,0122			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,646	0,6199	7,43	0,0318
Quadrático	2	0,100	0,0962	1,15	0,3875
Interação	1	0,078	0,0752	1,80	0,2371
Regressão	5	0,824	0,7914	3,79	0,0849
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,183	0,061	3,49	0,2306
Erro puro	2	0,035	0,017		
Total	5	0,217	0,043		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,703	0,234	5,39	0,0504
U	3	0,172	0,057	1,32	0,3672

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 62a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de solubilidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 22,76 - 0,229T - 0,313U + 0,0008T^2 + 0,012U^2 - 0,0004TU$$

Média das respostas = 5,50		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9242			
Desvio padrão = 0,50		Coeficiente de variação = 0,0900			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	11,776	0,7278	23,99	0,0027
Quadrático	2	3,172	0,1960	6,46	0,0411
Interação	1	0,006	0,0003	0,02	0,8856
Regressão	5	14,954	0,9242	12,19	0,0079
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	1,179	0,393	16,36	0,0582
Erro puro	2	0,048	0,024		
Total	5	1,227	0,245		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	13,353	4,451	18,13	0,0041
U	3	1,687	0,563	2,29	0,1956
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	3	14,887	4,963	26,83	0,0003
Resíduo	7	1,294	0,185		
Total	10	16,182			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	19,5950		-		-
T	-0,2284		0,0035		0,6309
T ²	0,0008		0,0200		0,1890
U ²	0,0031		0,0211		0,1001
R ² p/regressão					0,9200

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 63a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para lisina disponível dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 5,26 - 0,067T + 0,010U + 0,0002T^2 + 0,0009U^2 - 0,0005TU$$

Média das respostas = 0,80		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9677			
Desvio padrão = 0,09		Coeficiente de variação = 0,1147			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,887	0,6802	52,58	0,0004
Quadrático	2	0,366	0,2805	21,68	0,0034
Interação	1	0,009	0,0069	1,07	0,3486
Regressão	5	1,263	0,9677	29,92	0,0010
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,040	0,013	12,95	0,0725
Erro puro	2	0,002	0,001		
Total	5	0,422	0,008		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1,239	0,413	48,95	0,0004
U	3	0,011	0,004	0,44	0,7336
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	1,252	0,625	93,77	0,0001
Resíduo	8	0,053	0,006		
Total	10	1,305			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	5,8498		-		-
T	-0,0759		0,0018		0,6792
T ²	0,0003		0,0001		0,2799
R ² p/regressão					0,9591

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 64a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para digestibilidade da proteína *in vitro* dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -124,23 + 1,6201T + 12,107U - 0,005T^2 - 0,256U^2 - 0,023TU$$

Média das respostas = 80,66		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,5554			
Desvio padrão = 6,86		Coeficiente de variação = 0,0849			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	148,14	0,2802	1,58	0,2947
Quadrático	2	121,53	0,2299	1,29	0,3528
Interação	1	23,19	0,0452	0,51	0,5076
Regressão	5	293,58	0,554	1,25	0,4066
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	233,67	77,891	113,80	0,0087
Erro puro	2	1,37	0,684		
Total	5	235,04	47,008		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	127,46	42,48	0,90	0,5013
U	3	222,40	74,13	1,57	0,3056

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 65a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -7,89 + 0,046T + 0,847U - 0,0002T^2 - 0,019U^2 - 0,0009TU$$

Média das respostas = 2,09			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9124		
Desvio padrão = 0,18			Coeficiente de variação = 0,0873		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,359	0,7123	20,34	0,0040
Quadrático	2	0,345	0,1812	5,17	0,0606
Interação	1	0,036	0,0189	1,08	0,3464
Regressão	5	1,742	0,9124	10,42	0,0112
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,156	0,051	9,22	0,0994
Erro puro	2	0,011	0,006		
Total	5	0,167	0,033		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1,335	0,445	13,33	0,0081
U	3	0,527	0,176	5,25	0,0527
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	1	1,329	1,329	20,63	0,0014
Resíduo	9	0,579	0,064		
Total	10	1,908			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	3,4358		-		-
TU	-0,0005		0,0014		0,6963
R^2 p/regressão					0,6963

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 66a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 3,077 - 110,98T + 483,55U + 0,47T^2 - 8,22U^2 - 1,05TU$$

Média das respostas = 669,42			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9462		
Desvio padrão = 215,03			Coeficiente de variação = 0,3112		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	2.693.916	0,6267	29,13	0,0018
Quadrático	2	1.324.802	0,3082	14,33	0,0085
Interação	1	48.620	0,0113	1,05	0,3522
Regressão	5	4.067.338	0,9462	17,59	0,0034
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	222.581	74.194	17,22	0,0554
Erro puro	2	8.618	4.309		
Total	5	231.199	46.240		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	3.722.314	1.240.771	26,83	0,0016
U	3	145.156	48.382	1,05	0,4485
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	3.922.192	1.961.096	41,69	0,0001
Resíduo	8	376.344	47.043		
Total	10	4.298.536			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	9,901		-		-
T	-140,1573		0,0042		0,6172
T^2	0,5039		0,0008		0,2953
R^2 p/regressão					0,9124

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 67a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = 0,39 - 0,06T + 1,43U + 0,0002T^2 - 0,03U^2 + 0,0003TU$$

Média das respostas = 12,62			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,2714		
Desvio padrão = 1,20			Coeficiente de variação = 0,0947		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,07	0,1092	0,37	0,7052
Quadrático	2	1,59	0,1617	0,56	0,6059
Interação	1	0,004	0,0005	0,00	0,9556
Regressão	5	2,66	0,2714	0,37	0,8488
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,61	1,54	1,21	0,4850
Erro puro	2	2,54	1,27		
Total	5	7,15	1,43		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,44	0,15	0,10	0,9551
U	3	1,82	0,61	0,42	0,7449

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 68a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de peróxidos (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -93,17 + 0,72T + 5,427U - 0,0018T^2 - 0,10U^2 - 0,010TU$$

Média das respostas = 3,56			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9321		
Desvio padrão = 0,90			Coeficiente de variação = 0,2535		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	31,79	0,5313	19,55	0,0043
Quadrático	2	19,51	0,3261	11,99	0,0123
Interação	1	4,47	0,0747	5,50	0,0659
Regressão	5	55,78	0,9321	13,72	0,0061
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	3,79	1,26	9,23	0,0993
Erro puro	2	0,27	0,13		
Total	5	4,07	0,81		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	48,77	16,26	19,99	0,0033
U	3	16,69	5,57	6,85	0,0320
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	39,08	19,54	7,53	0,0145
Resíduo	8	20,76	2,59		
Total	10	59,84			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância		R^2 parcial
(modelo ajustado)			Prob > F		
Intercepto	-24,08		-		-
T	0,4137		0,0191		0,4745
T ²	-0,0015		0,0770		0,1785
R ² p/regressão					0,6530

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 69a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de hexanal (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 µm

$$y = -21,65 + 0,28T + 0,58U - 0,0012T^2 - 0,013U^2 + 0,0003TU$$

Média das respostas = 1,90		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,7770			
Desvio padrão = 0,66		Coeficiente de variação = 0,3501			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,503	0,1514	1,69	0,2737
Quadrático	2	6,208	0,6252	7,01	0,0354
Interação	1	0,003	0,0003	0,01	0,9373
Regressão	5	7,715	0,7770	3,48	0,0985
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	2,15	0,72	23,41	0,0412
Erro puro	2	0,06	0,03		
Total	5	2,21	0,44		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	7,20	2,40	5,42	0,0498
U	3	0,55	0,18	0,41	0,7513

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 70a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para densidade dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 283,70 + 1,34T + 12,45U - 0,023T^2 - 0,226U^2 - 0,024TU$$

Média das respostas = 483		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,6019			
Desvio padrão = 5,79		Coeficiente de variação = 0,0120			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	134,58	0,3189	2,00	0,2297
Quadrático	2	94,42	0,2238	1,40	0,3279
Interação	1	25,00	0,0592	0,74	0,4278
Regressão	5	254,01	0,6019	1,51	0,3306
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	119,33	39,77	1,64	0,4014
Erro puro	2	48,67	24,33		
Total	5	167,99	33,59		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	225,99	75,33	2,24	0,2013
U	3	78,10	26,03	0,78	0,5561

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 71a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para energia mecânica dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 0,15 - 1,0E-4T - 1,2E-2U + 1,8E-7T^2 + 2,4E-4U^2 + 3,3E-6TU$$

Média das respostas = 0,0090			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9028		
Desvio padrão = 0,0023			Coeficiente de variação = 0,2513		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,8E-4	0,7099	18,26	0,0050
Quadrático	2	5,0E-5	0,1911	4,92	0,0660
Interação	1	4,9E-7	0,0019	0,09	0,7692
Regressão	5	2,4E-4	0,9028	9,29	0,0144
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	2,2E-5	7,2E-6	3,90	0,2108
Erro puro	2	3,7E-6	1,9E-6		
Total	5	2,6E-5	5,1E-6		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	4,3E-6	1,4E-6	0,29	0,8334
U	3	2,3E-4	7,6E-5	15,06	0,0062
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	2,3E-4	1,2E-4	31,11	0,0002
Resíduo	8	2,9E-5	3,7E-6		
Total	10	2,6E-4			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	0,1342		-		-
U	-0,0111		0,0014		0,6956
U ²	0,0002		0,0064		0,1904
R^2 p/regressão					0,8860

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 72a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de absorção de água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = -5,91 + 0,10T + 0,22U + 4,5E-0,0003T^2 - 0,0047U^2 + 0,0002TU$$

Média das respostas = 4,33			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9484		
Desvio padrão = 0,27			Coeficiente de variação = 0,0614		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	6,017	0,8782	42,52	0,0007
Quadrático	2	0,478	0,0698	3,38	0,1178
Interação	1	0,003	0,0004	0,03	0,8583
Regressão	5	6,498	0,9484	18,37	0,0031
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,319	0,1066	6,30	0,1401
Erro puro	2	0,034	0,016		
Total	5	0,354	0,071		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	6,22	2,07	29,30	0,0013
U	3	0,29	0,09	1,38	0,3491
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	6,478	2,159	44,46	0,0001
Resíduo	7	0,373	0,053		
Total	10	6,852			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-3,2321		-		-
T	0,0922		0,0001		0,8382
T ²	-0,0003		0,0442		0,0672
TU	0,0004		0,0577		0,0400
R^2 p/regressão					0,9455

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 73a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para índice de solubilidade em água dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 13,65 - 0,013T + 0,682U + 0,0003T^2 - 0,022U^2 + 0,0029TU$$

Média das respostas = 4,50		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9474			
Desvio padrão = 0,17		Coeficiente de variação = 0,0425			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	2,000	0,6522	30,99	0,0015
Quadrático	2	0,545	0,1778	8,45	0,0249
Interação	1	0,360	0,1178	11,15	0,0206
Regressão	5	2,906	0,9474	18,01	0,0033
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,135	0,045	3,39	0,2357
Erro puro	2	0,026	0,013		
Total	5	0,161	0,032		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1,481	0,494	15,30	0,0059
U	3	1,938	0,646	20,02	0,0032
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	2,002	2,002	16,92	0,0026
Resíduo	9	1,065	0,118		
Total	10	3,067			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	6,1456		-		-
TU	-0,0007		0,0026		0,6528
R^2 p/regressão					0,6528

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 74a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade inicial a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 234,76 - 2,56T - 10,16U + 0,0066T^2 + 0,092U^2 + 0,0062TU$$

Média das respostas = 9,88		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8956			
Desvio padrão = 5,04		Coeficiente de variação = 51,02			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	717,94	0,5899	14,12	0,0088
Quadrático	2	203,07	0,1669	3,99	0,0919
Interação	1	169,00	0,1389	6,65	0,0495
Regressão	5	1090,01	0,8956	8,58	0,0170
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	119,40	320,49	8,78	0,0090
Erro puro	2	7,69	36,51		
Total	5	127,09			
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	984,97	328,32	12,92	0,0086
U	3	278,63	92,87	3,65	0,0985
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	961,49	320,49	8,78	0,0090
Resíduo	7	255,61	36,51		
Total	10	1217,10			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	60,9122		-		-
T	-1,4205		0,0045		0,5055
T^2	0,0063		0,0536		0,1612
TU	0,0102		0,0822		0,1232
R^2 p/regressão					0,7899

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 75a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade a temperatura constante a 95°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 34,84 - 2,87T + 33,02U - 0,015T^2 - 1,279U^2 + 0,237TU$$

Média das respostas = 178,19			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9711		
Desvio padrão = 13,28			Coeficiente de variação = 0,0745		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	25350	0,8305	71,84	0,0002
Quadrático	2	1824	0,0598	5,17	0,0606
Interação	1	2467	0,0808	13,98	0,0134
Regressão	5	29642	0,9711	33,60	0,0007
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	740,22	246,74	3,47	0,2314
Erro puro	2	141,94	70,97		
Total	5	882,15	176,43		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	21021	7006	39,71	0,0007
U	3	11606	3868	21,93	0,0026
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	26697	13348	27,91	0,0002
Resíduo	8	3826	478		
Total	10	30524			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	365,6334		-		-
T	-3,1946		0,0003		0,5752
TU	0,07964		0,0024		0,2994
R^2 p/regressão					0,8746

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 76a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a viscosidade final a 50°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = -1042 + 3,28T + 108,74U - 0,050T^2 - 3,52U^2 + 0,38TU$$

Média das respostas = 254,59			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9960		
Desvio padrão = 5,61			Coeficiente de variação = 0,0223		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	15803	0,4037	251,3	0,0000
Quadrático	2	16802	0,4292	267,2	0,0000
Interação	1	6387	0,1631	203,1	0,0000
Regressão	5	38992	0,9960	248,0	0,0000
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	151,02	50,34	16,23	0,0586
Erro puro	2	6,20	3,10		
Total	5	157,22	31,45		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	23815	7938	252,5	0,0000
U	3	26408	8802	279,9	0,0000
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	22113	11056	5,19	0,0359
Resíduo	8	17036	2129		
Total	10	39149			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	198,6815		-		-
T^2	-0,01126		0,0910		0,1877
TU	0,0999		0,0300		0,3771
R^2 p/regressão					0,5648

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 77a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a força de gel a 4°C dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = -156,99 + 1,32T + 12,33U - 0,0083T^2 - 0,358U^2 + 0,021TU$$

Média das respostas = 28,16			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8698		
Desvio padrão = 4,73			Coeficiente de variação = 0,1680		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	384,18	0,4467	8,57	0,0242
Quadrático	2	343,53	0,3995	7,67	0,03000
Interação	1	20,25	0,0235	0,90	0,3854
Regressão	5	747,96	0,8698	6,68	0,0287
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	103,58	34,53	8,20	0,1106
Erro puro	2	8,42	4,21		
Total	5	112,00	22,40		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	715,26	238,42	10,64	0,0131
U	3	129,72	43,24	1,93	0,2429
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	2	618,24	309,12	10,23	0,0062
Resíduo	8	241,73	30,22		
Total	10	859,96			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	-39,0470		-		-
T	1,4253		0,0431		0,2025
T ²	-0,0069		0,0127		0,5164
R ² p/regressão					0,7189

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 78a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente L* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 99,55 - 0,31T - 0,59U + 0,001T^2 - 0,025U^2 + 0,001TU$$

Média das respostas = 83,62			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9918		
Desvio padrão = 0,17			Coeficiente de variação = 0,0020		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	9,79	0,5530	168,20	0,0000
Quadrático	2	7,71	0,4352	132,30	0,0000
Interação	1	0,06	0,0035	2,15	0,2028
Regressão	5	17,57	0,9918	120,60	0,0000
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,13	0,045	7,95	0,1138
Erro puro	2	0,01	0,005		
Total	5	0,15	0,029		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	8,29	2,76	94,90	0,0001
U	3	7,73	5,58	88,40	0,0001
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	4	17,50	4,376	126,15	0,0001
Resíduo	6	0,21	0,035		
Total	10	17,71			
VARIÁVEIS	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
(modelo ajustado)					
Intercepto	96,62		-		-
T	-0,2847		0,0001		0,1479
U	0,7326		0,0335		0,4051
T ²	0,0011		0,0001		0,4073
U ²	-0,0245		0,0093		0,0279
R ² p/regressão					0,9882

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 79a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente a* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 1,26 + 0,027T - 0,19U + 0,0000T^2 - 0,0013U^2 + 0,009TU$$

Média das respostas = 1,43		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9072			
Desvio padrão = 0,07		Coeficiente de variação = 0,0534			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	0,14	0,4372	11,77	0,0128
Quadrático	2	0,07	0,2466	6,64	0,0391
Interação	1	0,07	0,2234	12,03	0,0179
Regressão	5	0,29	0,9072	9,77	0,0129
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,026	0,009	7,22	0,1240
Erro puro	2	0,002	0,001		
Total	5	0,029	0,006		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	0,109	0,037	6,28	0,0379
U	3	0,239	0,080	13,69	0,0076
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	4	0,285	0,071	14,65	0,0030
Resíduo	6	0,029	0,004		
Total	10	0,314			
VARIÁVEIS	Estimativa dos		Significância		R^2 parcial
(modelo ajustado)	coeficientes		Prob > F		
Intercepto	1,2162		-		-
T	0,0282		0,0685		0,1262
U	-0,1978		0,0898		0,2060
U ²	0,0093		0,0546		0,3515
TU	-0,0013		0,0090		0,2234
R^2 p/regressão					0,9071

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 80a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o componente b* de cor dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = -1,93 + 0,25T - 0,24U - 0,0004T^2 + 0,025U^2 - 0,0059TU$$

Média das respostas = 12,56		Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9526			
Desvio padrão = 0,27		Coeficiente de variação = 0,0214			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	3,71	0,4860	25,64	0,0024
Quadrático	2	2,02	0,2650	13,98	0,0090
Interação	1	1,54	0,2016	21,27	0,0058
Regressão	5	7,27	0,9516	20,10	0,0025
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,269	0,089	1,94	0,3584
Erro puro	2	0,093	0,046		
Total	5	0,362	0,072		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	5,35	1,78	24,64	0,0020
U	3	2,87	0,96	13,31	0,0081
F.VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
(modelo ajustado)					
Regressão	3	5,24	1,75	5,13	0,0345
Resíduo	7	2,38	0,34		
Total	10	7,63			
VARIÁVEIS	Estimativa dos		Significância		R^2 parcial
(modelo ajustado)	coeficientes		Prob > F		
Intercepto	-6,25		-		-
T	0,1411		0,0435		0,2699
U	0,8002		0,0501		0,1069
TU	-0,0059		0,0712		0,3107
R^2 p/regressão					0,6875

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 81a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o grau de brancura dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 97,14 - 0,78T - 0,84U + 0,002T^2 - 0,059U^2 + 0,008TU$$

Média das respostas = 51,56			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9922		
Desvio padrão = 0,36			Coeficiente de variação = 0,0071		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	47,75	0,5590	179,70	0,0000
Quadrático	2	33,46	0,3923	125,90	0,0001
Interação	1	3,42	0,0401	25,77	0,0038
Regressão	5	84,62	0,9922	127,40	0,0000
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,636	0,212	14,89	0,0636
Erro puro	2	0,028	0,014		
Total	5	0,664	0,133		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	49,01	16,34	123,00	0,0000
U	3	31,55	10,52	79,19	0,0001
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	42,62	42,62	8,99	0,0150
Resíduo	9	42,66	4,74		
Total	10	85,29			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	59,1633		-		-
TU	-0,0031		0,0150		0,4998
R^2 p/regressão					0,4998

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 82a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de lipase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = -8,51 + 0,066T + 0,772U - 0,0002T^2 - 0,016U^2 - 0,001TU$$

Média das respostas = 1,89			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9535		
Desvio padrão = 0,13			Coeficiente de variação = 0,0719		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,457	0,7330	39,40	0,0009
Quadrático	2	0,392	0,1973	10,60	0,0159
Interação	1	0,046	0,0232	2,50	0,1748
Regressão	5	1,896	0,9535	20,50	0,0024
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,083	0,028	6,50	0,1362
Erro puro	2	0,008	0,004		
Total	5	0,092	0,018		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1,660	0,553	29,92	0,0013
U	3	0,394	0,131	7,11	0,0298
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	1,849	0,462	20,00	0,0013
Resíduo	6	0,138	0,023		
Total	10	1,988			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-5,99		-		-
T	0,0453		0,0385		0,0810
U	0,6489		0,0247		0,0625
T^2	-0,0002		0,0136		0,7170
U^2	-0,0166		0,0199		0,0689
R^2 p/regressão					0,9302

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 83a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a atividade de peroxidase dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 1.856,43 - 67,36T + 291,29U + 0,32T^2 - 2,82U^2 - 1,21TU$$

Média das respostas = 375,03			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9865		
Desvio padrão = 81,37			Coeficiente de variação = 0,2169		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1.802.972	0,7351	136,10	0,0000
Quadrático	2	552.217	0,2252	41,69	0,0008
Interação	1	64.262	0,0262	9,70	0,0264
Regressão	5	2.419.451	0,9865	73,07	0,0001
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	29.908	9.969	6,22	0,1415
Erro puro	2	3.202	1.601		
Total	5	33.111	6.622		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	2.242.797	747.599	112,90	0,0001
U	3	162.757	54.252	8,19	0,0224
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	2.412.907	603.226	91,27	0,0001
Resíduo	6	39.654	6.609		
Total	10	2.452.561			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	3,167		-		-
T	-69,9829		0,0014		0,6985
U	175,6428		0,0417		0,0375
T^2	0,3305		0,0015		0,2225
TU	-1,2071		0,0206		0,0262
R^2 p/regressão					0,9838

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 84a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de acidez (t= 48 horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a 532 µm

$$y = 7,69 - 0,15T + 1,28U + 0,0003T^2 - 0,04U^2 + 0,005TU$$

Média das respostas = 13,32			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,3281		
Desvio padrão = 1,39			Coeficiente de variação = 0,1043		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	1,42	0,0992	0,37	0,7088
Quadrático	2	2,37	0,1648	0,61	0,5780
Interação	1	0,92	0,0642	0,48	0,5204
Regressão	5	4,71	0,3281	0,49	0,7749
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	4,81	1,60	0,66	0,6483
Erro puro	2	4,84	2,42		
Total	5	9,65	1,93		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	1,97	0,66	0,34	0,7982
U	3	3,08	1,03	0,53	0,6799

T= temperatura de extrusão (°C); U= umidade da matéria-prima (%).

Tabela 85a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o índice de peróxidos ($t= 48$ horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a $532 \mu\text{m}$

$$y = -117,79 + 1,04T + 5,827U - 0,0015T^2 - 0,068U^2 - 0,028TU$$

Média das respostas = 4,59			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9215		
Desvio padrão = 1,51			Coeficiente de variação = 0,3298		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	86,55	0,5924	18,86	0,0047
Quadrático	2	11,48	0,0786	2,50	0,1766
Interação	1	36,60	0,2505	15,95	0,01104
Regressão	5	134,63	0,9215	11,74	0,0086
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	11,36	3,79	68,32	0,0145
Erro puro	2	0,11	0,05		
Total	5	11,47	2,29		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	115,25	38,42	16,74	0,0049
U	3	58,66	19,55	8,52	0,0207
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	130,81	32,70	12,83	0,0042
Resíduo	6	15,30	2,55		
Total	10	146,10			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-86,10		-		-
T	0,9852		0,0055		0,4676
U	3,0237		0,0172		0,1895
T^2	-0,0012		0,1337		0,1858
TU	-0,0288		0,0091		0,0524
R^2 p/regressão					0,8953

T= temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$); U= umidade da matéria-prima (%).Tabela 86a -Análise de variância e estimativa dos coeficientes para o teor de hexanal ($t= 48$ horas) dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria inferior a $532 \mu\text{m}$

$$y = -11,51 + 0,19T + 0,048U - 0,0009T^2 - 0,005U^2 + 0,0021TU$$

Média das respostas = 1,68			Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8608		
Desvio padrão = 0,45			Coeficiente de variação = 0,2739		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	2	2,21	0,2915	5,23	0,0594
Quadrático	2	4,12	0,5437	9,76	0,0188
Interação	1	0,19	0,0256	0,92	0,3820
Regressão	5	6,52	0,8608	6,18	0,0336
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Falta de ajuste	3	0,996	0,332	11,49	0,0811
Erro puro	2	0,057	0,028		
Total	5	1,054	0,210		
FATORES	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
T	3	5,39	1,79	8,52	0,0207
U	3	1,14	0,38	1,81	0,2629
F.VARIAÇÃO (modelo ajustado)	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	5,376	2,687	9,97	0,0071
Resíduo	8	2,198	0,274		
Total	10	7,572			
VARIÁVEIS (modelo ajustado)	Estimativa dos coeficientes		Significância Prob > F		R^2 parcial
Intercepto	-12,3700		-		-
T	0,2306		0,0565		0,1651
T^2	-0,0009		0,0002		0,5448
R^2 p/regressão					0,7099

T= temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$); U= umidade da matéria-prima (%).