

Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Tecnologia de Alimentos

*ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE TÉCNICAS NA  
MINIMIZAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE ÓLEO  
DURANTE O PROCESSO DE FRITURA DE MAÇÃ*

Amanda Faria Querido  
Engenheira de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa-García

Co-orientador: Dr. Jean P. Dominique Pallet

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP,  
para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

Campinas, 2005

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

Q35e Querido, Amanda Faria  
Estudo da influência de técnicas na minimização da  
incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã /  
Amanda Faria Querido. – Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Nelson Horacio Pezoa Garcia  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de  
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Fritura. 2.Baixa pressão (Ciência). 3.Maçã - Produtos.  
I.Pezoa Garcia, Nelson Horacio. II.Universidade Estadual de  
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

ckn

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Nelson Horacio Pezoa-García  
Orientador

---

Dra. Hilary Castle de Menezes  
Membro

---

Dra. Lireny Ap. Guaraldo Gonçalves  
Membro

---

Dra. Helena Maria André Bolini  
Membro

---

Dra. Henriette M.C. Azeredo  
Membro

---

Dr. Jose Aníbal Trujillo-Quijano  
Membro

A Deus, pela vida e aos meus pais,  
Sueli e Carlos, pelo amor,  
Ofereço.

Dedico,  
a minha pituquinha Thaís.  
por tudo que ainda virá....

## *AGRADECIMENTOS*

Ao professor Horacio pela orientação, confiança e estímulo.

A Fapesp e Capes pelo apoio financeiro sem o qual não seria possível o desenvolvimento desta tese.

Aos membros da banca pela compreensão da pressa na correção e pelas sugestões e críticas.

As profas Hilary e Ireny pelas sugestões e apoio durante todo o trabalho e ao prof Carlos Grosso pela ajuda com as coberturas.

A profa Débora e Yara pela participação imensurável na microscopia.

Aos funcionários do DTA e FeA em geral pela amizade, dedicação, paciência e apoio, em especial: Aninha, Pri-pri, Marlene, Adauto, Jaime, Valdeci, "Web", Nice, Lia.....

Aos amigos e colegas do laboratório de frutas pela solidariedade, ajuda e alegria.

Aos pesquisadores Dominique, Max Reynes e Philippe Bohuon pela oportunidade de trabalho no Cirad et a mês amies Marc, Claire, Araceli, Régis, Ana, Lúcio, Vilma, Leandro, Fer.....

Ao amigo, companheiro e agora marido Pavão pela paciência, companheirismo, incentivo e carinho em todos os momentos.

Aos meus irmãos Ro, Nani e Di; a Madra, Diu, Vó Pina, tia Cida, tio Sérgio e todos os meus familiares pelo carinho e atenção.

A amiga Aline e família pelo imenso coração e todo apoio não só aqui em Campinas.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que isto acontecesse!!!!!!

## ÍNDICE

Lista de Tabelas .....	ix
Lista de Figuras .....	xiv
Resumo .....	xvii
Summary .....	xix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>3</b>
2.1. O Processo de Fritura .....	3
2.1.1. A Fritura Combinada a Outras Técnicas .....	6
2.1.2. O Óleo .....	7
2.1.3. O Óleo de Palma - Características .....	9
2.2. Desidratação Osmótica .....	10
2.2.1. As Membranas Celulares e a Transferência de Massa .....	11
2.2.2. A Influência da Temperatura .....	12
2.2.3. O Tamanho do Material .....	13
2.2.4. Os tipos de Agente Osmótico .....	14
2.3. O Processo de Secagem .....	17
2.3.1. Migração da Água .....	18
2.3.2. Transferência de Calor .....	19
2.3.3. Cinética da Secagem .....	20
2.4. Uso de coberturas comestíveis em alimentos .....	22
2.4.1. Uso de coberturas comestíveis previamente ao processo de fritura .....	25
2.5. Atividade de Água (Aa) .....	29
2.6. A Maçã .....	32
2.6.1. Dados de Produção .....	32
2.6.2. Composição Química .....	34
2.6.3. Principais Cultivares no Brasil .....	34
2.6.4. Classificação .....	35
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
3.1. Procedimentos em Pressão Ambiente .....	36
3.1.1. Matéria-prima .....	36
3.1.2. Equipamentos .....	36
3.1.3. Análises Físicas, Químicas e Físico-químicas .....	37
3.1.4. Microscopia .....	41
3.1.5. Estudos Preliminares .....	43
3.1.6. Avaliações com a Fritadeira Croydon F-25 .....	47
3.1.7. Delineamento Experimental .....	49
3.1.8. Processamento .....	52
3.1.9. Análise Sensorial .....	59
3.2. Procedimentos em Pressão Reduzida: Vácuo .....	61
3.2.1. Matéria-prima .....	61

3.2.2.	Equipamentos .....	61
3.2.3.	Métodos .....	61
3.2.4.	Processamento: Processo de Fritura.....	62
3.2.5.	Processamento: Impregnação Osmótica para o Processo de Fritura 68	
4.	Resultados e Discussão.....	70
4.1.	AVALIAÇÕES COM A FRITADEIRA CROYDON F-25.....	70
4.1.1.	Caracterização do Tipo de Fritura.....	70
4.1.2.	Perfil de Temperatura do Óleo e Determinação da Razão Óleo: Produto 71	
4.2.	Estudo da Viabilidade de Reutilização do Óleo Baseado nas Características do Produto Frito .....	75
4.2.1.	Determinações no Produto .....	75
4.2.2.	Determinações no Óleo .....	77
4.3.	Testes Preliminares .....	78
4.3.1.	Influência do Descascamento no Processo de Desidratação Osmótica.....	78
4.3.2.	Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Desidratação Osmótica.....	79
4.3.3.	Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Secagem de Maçã .....	81
4.3.4.	Secagem da Maçã .....	82
4.4.	Caracterização da maçã in natura .....	87
4.4.1.	Peso e Dimensões.....	87
4.4.2.	Determinações Físicas e Químicas .....	88
4.5.	Desidratação osmótica.....	88
4.5.1.	Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos Experimentais .....	88
4.5.2.	Otimização dos Processos de Desidratação Osmótica .....	93
4.5.3.	Caracterização do Produto .....	95
4.5.4.	Reconsiderações .....	96
4.6.	Processo de fritura .....	97
4.6.1.	Ensaio de fritura para maçã <i>in natura</i> .....	97
4.6.2.	Ensaio de fritura para maçã desidratada em estufa.....	107
4.6.3.	Ensaio de fritura de maçã osmoticamente desidratada .....	130
4.7.	Centrifugação.....	142
4.7.1.	Estudo do tempo de centrifugação .....	<u>142</u>
4.8.	Utilização de Coberturas Comestíveis Aplicadas Previamente ao Processo de Fritura.....	143
4.7.2.	Secagem das Coberturas .....	143
4.7.3.	Incorporação de Óleo .....	144
4.7.3.1.	Aplicação de Cobertura Posterior ao Processo de Desidratação Osmótica.....	144

4.7.3.2.	Aplicação da Cobertura Previamente ao Processo de Desidratação Osmótica.....	145
4.7.3.3.	Uso de Polissacarídeos no Xarope Durante o Processo de Desidratação Osmótica.....	146
4.7.4.	Caracterização dos Produtos.....	147
4.9.	Análise sensorial.....	149
4.7.5.	Processo Combinado Desidratação Osmótica e Fritura .....	149
4.7.6.	Utilizando Coberturas Comestíveis.....	155
4.10.	Microscopia .....	159
4.11.	Processo de fritura a pressão reduzida (vácuo) .....	166
4.11.1.	Estudo da vaporização da água no processo de fritura em diferentes condições de temperatura e pressão .....	168
4.11.2.	Estudo do Efeito da Pressão Reduzida na Incorporação de Óleo Durante o Processo de Fritura .....	170
5.	Conclusão .....	173
6.	Referências Bibliográficas.....	175
7.	Anexos .....	184

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Principais compostos formados durante a fritura em função do tipo de alteração do óleo. ....	4
<b>Tabela 2:</b> Estabilidade oxidativa de óleos vegetais (120 <sup>o</sup> C) .....	8
<b>Tabela 3:</b> Características físicas e químicas do óleo de palma refinado. ....	9
<b>Tabela 4:</b> Principais ácidos graxos presentes no óleo de palma refinado (%). ....	9
<b>Tabela 5:</b> Produção de maçãs nos estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e São Paulo (SP) (em toneladas). ....	33
<b>Tabela 6:</b> Área de cultivo de maçãs nos estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e São Paulo (SP) (em hectares). ....	33
<b>Tabela 7:</b> Composição química da maçã. ....	34
<b>Tabela 8:</b> Níveis codificados e decodificados das variáveis em cada ensaio .....	51
<b>Tabela 9:</b> Níveis codificados e decodificados para cada ensaio de fritura .....	52
<b>Tabela 10:</b> Condições de temperatura e pressão dos ensaios para o estudo das cinéticas de vaporização. ....	67
<b>Tabela 11:</b> Condições de temperatura e pressão nos ensaios para o estudo do efeito da pressão reduzida na incorporação de óleo no processo de fritura. ....	68
<b>Tabela 12:</b> <b>Sólidos totais e lipídeos no material submetido à pré-secagem osmótica e frito.</b> .....	76
<b>Tabela 13:</b> <b>Valores médios de L* , a* , b* , ΔE* e ΔC* (calibração RSIN; iluminante D65/10<sup>o</sup>; sistema CIELAB) para o material desidratado e frito.</b> .....	76
<b>Tabela 14:</b> <b>Valores de ácidos graxos livres (AGL) no óleo sem uso e após algumas frituras.</b> .....	78
<b>Tabela 15:</b> <b>Valores de perda de peso (PP), perda de umidade (PU), incorporação de sólidos (IS) e sólidos totais (ST) em maçãs osmoticamente desidratadas com casca e sem casca.</b> .....	79
<b>Tabela 16:</b> <b>Valores médios de L* , a* , b* , ΔE* e ΔC* (calibração RSIN; iluminante D65/10<sup>o</sup>; sistema CIELAB) para maçã <i>in natura</i> e osmoticamente desidratada com diferentes combinações de antioxidantes após 1 e 24 h do término do processo.</b> .....	80
<b>Tabela 17:</b> <b>Atividade enzimática em maçãs após a imersão em diferentes antioxidantes.</b> .....	81
<b>Tabela 18:</b> <b>Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem (estufa com circulação de ar) em função do tempo. Temperatura de secagem: 50<sup>o</sup>C .....</b>	82
<b>Tabela 19:</b> <b>Equações para os 3 pontos mais próximos de umidade de 76,5% nas curvas de secagem de maçã a 50<sup>o</sup>C e tempo estimado para obtenção desta umidade.</b> .....	83
<b>Tabela 20:</b> <b>Equações para os 3 pontos mais próximos da umidade de 50% nas curvas de secagem de maçã a 50<sup>o</sup>C e tempo estimado para obtenção desta umidade.</b> .....	84

Tabela 21: Equações para os 3 pontos mais próximos da umidade de 50% nas curvas de secagem de maçã nas temperaturas de 70, 100 e 120°C e tempo estimado para obtenção desta umidade. ....	86
Tabela 22: Determinações na maçã <i>in natura</i> e desidratada em estufa (70°C). ....	87
Tabela 23: Peso e dimensões médias das maçãs tipo 2. ....	87
Tabela 24: Valores de acidez, Aa, pH, °Brix e açúcares (não redutores, redutores e totais) na maçã <i>in natura</i> . ....	88
Tabela 25: Valores de perda de peso (PP), sólidos totais (ST), incorporação de sólidos (IS), umidade (U) e perda de umidade (PU) em cada ensaio do planejamento experimental. ....	89
Tabela 26: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficiente de regressão para cada fator no modelo codificado para perda de peso. ....	89
Tabela 27: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficientes de regressão de cada fator no modelo codificado para incorporação de sólidos. ....	90
Tabela 28: Análise de variância do modelo ajustado para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica. ....	90
Tabela 29: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficientes de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade. ....	92
Tabela 30: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de desidratação osmótica. ....	92
Tabela 31: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para perda de umidade no processo de desidratação osmótica. ....	93
Tabela 32: Valores de acidez, Aa, pH, °Brix e açúcares (não redutores, redutores e totais) na maçã <i>in natura</i> e osmoticamente desidratada a 40°C por 40 minutos. ....	95
Tabela 33: Valores de sólidos totais, umidade e incorporação de sólidos em maçãs osmoticamente desidratadas em diferentes condições de temperatura e tempo. ....	96
Tabela 34: Determinações na maçã <i>in natura</i> e osmoticamente desidratada na temperatura de 35°C por 3 horas. ....	97
Tabela 35: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã <i>in natura</i> . ....	98
Tabela 36: Valores médios de L*, a*, b*, ΔE* e ΔC* (Calibração RSIN, D65/10°, sist CIELAB) nos ensaios do planejamento experimental de fritura de maçã <i>in natura</i> . ....	99
Tabela 37: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> a pressão ambiente. ....	100
Tabela 38: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> . ....	101
Tabela 39: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> . ....	102

Tabela 40: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> . .....	103
Tabela 13: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> . .....	104
Tabela 42: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã <i>in natura</i> . .....	105
Tabela 45: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã parcialmente desidrata em estufa. ....	108
Tabela 46: Resultados das análises instrumentais de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E^*$ , $\Delta C^*$ . ....	109
Tabela 45: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã desidratada. ....	110
Tabela 46: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa. ....	110
Tabela 47: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã desidratada. ....	112
Tabela 49: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa. ....	112
Tabela 49: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa. ....	114
Tabela 50: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa. ....	114
Tabela 51: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã desidrata em estufa. ....	117
Tabela 52: Resultados das análises instrumentais de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E^*$ e $\Delta C^*$ (calibração RSIN, iluminante D65/10 <sup>0</sup> , sistema CIELAB) .....	118
Tabela 53: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã desidratada. ....	120
Tabela 54: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa. ....	121
(a) .....	
(b) .....	122
Tabela 55: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã desidratada. ....	123
Tabela 56: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa. ....	123
(a) .....	
(b) .....	124

<b>Tabela 57: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa.</b> .....	125
<b>Tabela 58: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã parcialmente desidratada em estufa.</b> .....	125
<b>Tabela 59: Respostas observadas experimentalmente e respostas previstas pelos modelos matemáticos experimentais ajustados.</b> .....	128
<b>Tabela 60: Determinações nos <i>chips</i> de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação convencional e fritura, nas condições de validação do processo (145°C / 220s).</b> .....	129
<b>Tabela 61: Valores médios de L*, a* e b* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) nos <i>chips</i> de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação convencional e fritura, nas condições de validação do processo (145°C/ 220s).</b> .....	129
<b>Tabela 62: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	130
<b>Tabela 63: Resultados das análises de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã osmoticamente desidratada. Parâmetros L*, a* e b* e <math>\Delta E^*</math>, <math>\Delta C^*</math></b> .....	131
<b>Tabela 64: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	133
<b>Tabela 65: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	133
<b>Tabela 66: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator para teor de óleo no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	135
<b>Tabela 67: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	135
<b>Tabela 68: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator para diferença total de cor no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	137
<b>Tabela 69: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.</b> .....	137
<b>Tabela 70: Respostas observadas experimentalmente e respostas previstas pelos modelos matemáticos experimentais ajustados.</b> .....	140
<b>Tabela 71: Determinações nos <i>chips</i> de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação osmótica e fritura, nas condições de validação do processo (155°C/180 s).</b> .....	141
<b>Tabela 72: Valores médios de L*, a* e b* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) nos <i>chips</i> de maçã obtidos no processo combinado de desidratação osmótica e fritura, nas condições de validação do processo (155°C / 180 seg).</b> .....	141
<b>Tabela 73: Teores de lipídeos nos <i>chips</i> de maçã obtidos pelo processo combinado de desidratação osmótica + fritura e posterior remoção de óleo em papel absorvente ou por centrifugação</b> .....	143

Tabela 74: Valores de sólidos totais e lipídeos nos <i>chips</i> de maçã cobertos com pectina ou alginato de sódio.....	144
Tabela 75: Valores de sólidos totais e lipídeos nos <i>chips</i> de maçã revestidos com pectina e alginato de sódio previamente ao processo de desidratação osmótica. ....	145
Tabela 76: Determinações no processo de desidratação osmótica de maçã com o uso de 0,1% pectina no xarope. ....	146
Tabela 77: Valores de sólidos totais e lipídeos na maçã desidratada osmoticamente em xarope de sacarose com 0,1% de pectina e frita. ....	147
Tabela 78: Determinações na maçã em diferentes processos.....	148
Tabela 79: Valores médios de L*, a*, b*, $\Delta C^*$ , $\Delta E^*$ (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) na maçã em diferentes processos. ....	148
Tabela 80: Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global dos <i>chips</i> de maçã armazenados pelo período de 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.....	149
Tabela 81: Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global das amostras de <i>chips</i> de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio. ....	155
Tabela 82: Valores finais de perda de vapor e teor de umidade (média de 2 a 3 repetições para cada condição). ....	169

## Lista de Figuras

Figura 1: Curva genérica de secagem - Variação da umidade do material .....	21
Figura 2: Estrutura dos Alginatos.....	27
Figura 3: Estrutura da pectina.....	29
Figura 4: Fluxograma do Processo de Desidratação Osmótica. ....	53
Figura 5: Fluxograma do Processo de Fritura a Pressão Ambiente.....	55
Figura 6: Equipamento experimental de fritura a vácuo. ....	63
Figura 7: Suporte metálico para imersão em óleo das fatias de maçã.....	63
Figura 8: Evolução da massa do sistema durante a fritura. ....	65
Figura 9: Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã <i>in natura</i> ( inicial 125°C).....	71
Figura 10: Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã <i>in natura</i> (temperatura inicial 158°C).....	71
Figura 11 : Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã <i>in natura</i> (temperatura inicial 185°C).....	72
Figura 12: Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada (temperatura inicial 140°C) .....	73
Figura 13 : Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada. (temperatura inicial 160°C) .....	74
Figura 14: Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada (temperatura inicial 180°C) .....	74
Figura 15: Curva de secagem de maçã a 50°C .....	83
Figura 16: Curva de secagem de maçã a 70°C .....	85
Figura 17: Curva de secagem de maçã a 100°C .....	85
Figura 18: Curva de secagem de maçã a 120°C .....	85
Figura 19: (a) Superfície de resposta para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica de maçã.....	91
(b) Superfície de contorno para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica de maçã. ....	91
Figura 20: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> .....	102
(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> . ....	102
Figura 21: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> .....	103
(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> . ....	103
Figura 22: (a) Superfície de resposta para Delta E no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> .....	105
(b) Superfície de contorno para Delta E no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã <i>in natura</i> .....	105

Figura 23: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%) .....	111
(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).....	111
Figura 24: (a) Superfície de resposta para o teor de óleo na fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).....	113
(b) Superfície de contorno para o teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).....	113
Figura 25: (a) Superfície de resposta para diferença total de cor na fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade 76,5%).....	115
(b) Superfície de contorno para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).....	115
Figura 26: Diagrama de cores (ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E^*$ e $\Delta C^*$ , calibração RSIN, iluminante D65/10 <sup>0</sup> , sistema CIELAB). .....	119
Figura 27: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%) .....	122
(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).....	122
Figura 28: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%) .....	124
(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).....	124
Figura 29: (a) Superfície de resposta para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).....	126
(b) Superfície de contorno para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).....	126
Figura 30: Faixa otimizada de tempo e temperatura no processo de fritura de maçã desidratada em estufa. ....	127
Figura 31 : Diagrama de cores nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã osmoticamente desidratada. (Parâmetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E^*$ e $\Delta C^*$ ; calibração RSIN, iluminante D65/10 <sup>0</sup> , sistema CIELAB).....	132
Figura 32: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.....	134
(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada. ....	134
Figura 33: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.....	136
(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada. ....	136
Figura 34: (a) Superfície de resposta para Delta E* no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.....	138
(b) Superfície de contorno para Delta E* no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada. ....	138

Figura 35: Faixa otimizada de tempo e temperatura no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.....	139
Figura 36: Histograma de frequência dos valores hedônicos atribuídos a cada atributo aos <i>chips</i> de maçã (obtido pelo método combinado de desidratação osmótica e fritura) estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.....	152
Figura 37: Histograma de intenção de compra de <i>chips</i> de maçã estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.....	153
Figura 38: Histograma de frequência dos valores hedônicos atribuídos aos atributos avaliados (aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) para <i>chips</i> de maçã com revestimentos de pectina e alginato de sódio e sem revestimento.....	157
Figura 39: Histograma de intenção de compra de <i>chips</i> de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio e sem revestimento.....	159
Figura 40- Maçã <i>in natura</i> : a estrutura está preservada.....	160
Figura 41- Maçã DO + cobertura de alginato + fritura: a pequena compactação das camadas celulares é devida ao processo de osmose. Não foi observada interferência da fritura nas estruturas celulares da maçã.....	160
Figura 42- Maçã DO + cobertura de pectina + fritura: não observou-se diferença estrutural em relação ao tratamento com alginato.....	161
Figura 43 - DO + cobertura de alginato (sem fritura): o filme ( $\Rightarrow$ ) translúcido é visível apenas quando a fatia é seccionada.....	162
Figura 44 - DO + cobertura de pectina (sem fritura): não há diferença aparente entre os filmes, o aspecto macroscópico é sempre vítreo.....	162
Figura 45- DO + cobertura de alginato + fritura: a estrutura permanece inalterada; o filme está aderido e uniforme.....	163
Figura 46- DO + cobertura de pectina + fritura: a secção perpendicular à superfície demonstra preservação estrutural e semelhança com a figura precedente.....	163
Figura 47: As setas indicam áreas mais densas devido a presença de feixes vasculares. A região demarcada mostra áreas opacas alternadas com áreas translúcidas; é uma formação característica na secção da fruta.....	164
Figura 48: Cinéticas durante a fritura de maçã <i>in natura</i> em diferentes condições de temperatura e pressão.....	167
Figura 49: Cinéticas durante a fritura de maçã impregnada por osmose em diferentes condições de temperatura e pressão.....	168
Figura 49: Teor de matéria seca durante a fritura de maçã à 160°C.....	170
Figura 50 : Teor em água durante a fritura de maçã à 160°C.....	171
Figura 51 : Teor de óleo durante a fritura de maçã à 160°C.....	172

---

## Resumo

O processo de fritura de alimentos há muito tempo é empregado domesticamente e também vem sendo uma das maneiras de conservação de alimentos empregadas na indústria de alimentos. Este projeto, que visou estudar as melhores condições para a fritura da maçã, incluiu o estudo da desidratação osmótica e da secagem com ar quente como pré-tratamentos, o uso de coberturas comestíveis, a centrifugação do produto após a fritura, além de estudar a tecnologia de fritura sob vácuo. Os ensaios em pressão atmosférica foram conduzidos na fritadeira Croydon – F25. Na otimização dos parâmetros tempo e temperatura do processo de fritura em óleo de palma foi utilizada a metodologia de superfície de resposta, tendo por base um planejamento fatorial em dois níveis, visando a minimização da incorporação de óleo e da alteração da cor. Obtiveram-se *chips* vindos da fritura de maçã parcialmente desidratada em estufa (umidade de 50%) e da maçã osmoticamente desidratada. Para a validação foram definidas as condições de fritura de 145°C/220 segundos e 155°C/180 segundos para a maçã parcialmente desidratada em estufa e osmoticamente desidratada, respectivamente. Ambos os *chips* obtidos apresentaram valores de  $A_a$  inferiores a 0,6 sendo, portanto, considerados microbiologicamente estáveis. Contudo, apresentaram teores de óleo elevados, em torno de 30%. Como revestimento comestível utilizaram-se coberturas formadas a partir de soluções de 1 e 2% de alginato de sódio ou 1, 2 e 4% de pectina de baixo grau de metoxilação associados a íons cálcio, obtendo-se 12% de lipídeos nos *chips* representando uma redução da ordem de 60%. A centrifugação a 1500 rpm após o processo de fritura em centrífuga de cesto mostrou-se eficiente apenas para remoção do óleo em excesso na superfície, não sendo eficiente para remover o óleo incorporado. Na avaliação sensorial utilizando testes afetivos para estimar a preferência e aceitação dos *chips* foram avaliados os atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global. Os *chips* sem coberturas armazenados em sacos de embalagem flexível metalizada foram submetidos à análise sensorial mensal até 120 dias de armazenamento. A aprovação dos provadores para todos os atributos foi superior a 50% até 90 dias; a partir de então, para o atributo textura

---

apresentou-se inferior a 50%. A maior parte das médias de aceitação dos *chips* de maçã situou-se na escala hedônica entre as categorias “Gostei ligeiramente” e “Gostei moderadamente” com exceção do atributo sabor da amostra de *chips* com cobertura de pectina e para os atributos aparência, cor e impressão global da amostra sem cobertura que apresentaram-se um pouco superiores a 7: situando-se entre as categorias “Gostei moderadamente” e “Gostei muito”. A perda de água, na forma de vapor, ocorrida durante o processo de fritura, mostrou-se mais correlacionada ao gradiente de transferência de calor (diferença entre a temperatura de trabalho do óleo e o ponto de ebulição da água) do que à aplicação de pressão reduzida. Utilizaram-se maçã sem pré-tratamento e osmoticamente impregnada para verificar a influência do teor de sólidos na incorporação de óleo. Nas maçãs osmoticamente impregnadas, o teor de água e de óleo não foram afetados pela redução de pressão; para as maçãs sem pré-tratamento, o teor de água foi reduzido em cerca de 50% pela aplicação de vácuo e o teor de óleo foi reduzido em cerca de 25%.

## Summary

The frying process has been used domestically and in the food industry as a way to preserve food. The main purpose of this work was to study the best conditions to fry apples, including the use of osmotic dehydration and hot air drying as pre-treatments, the use of edible coatings, centrifugation of the product after frying and the study of vacuum frying technology. All experiments were carried out at atmospheric pressure in a Croydon - F25 fryer. Response surface methodology was used to optimize the time and temperature parameters of the frying process in palm oil, based on a factorial plan at two levels, seeking to minimize oil incorporation and color alterations. Although all the mathematical models were statistically significant, it was only possible to develop *chips* from apples partially dehydrated in an oven (moisture contents of 50%) and osmotically dehydrated. For validation, the frying conditions were defined as 145°C/220 seconds for oven partially dehydrated apples and 155°C/180 seconds for osmotically dehydrated ones. Chips obtained from both processes presented low  $A_w$  values (below 0.6), therefore being considered microbiologically stable, although they presented high oil contents of about 30%. As edible coatings, coverings made of 2% sodium alginate solutions or 2% and 4% of pectin with a low degree of methylation associated to the calcium ions were used. With the poly-saccharides solutions chips with 12% lipid were obtained, representing a reduction of about 60%. Centrifugation at 1500rpm after the frying process, using a basket centrifuge was efficient in removing excess oil from the surface, but not to remove internal oil. In the sensory evaluation affective tests to estimate *chip* preference and acceptance were used, evaluating the following attributes: appearance, color, aroma, flavor, texture and overall impression. The non covered *chips* stored in flexible metalized packages were submitted to a sensory analysis until 120 days. Approval rates for all attributes were greater than 50% for all samples up to 90 days of storage, but after this, the texture approval rates were less than 50%. In most cases the acceptance averages for the apple chips were between 6 and 7 for each attribute, representing the categories " I Liked slightly " and " I Liked moderately " on the hedonic scale, with the exception of the attribute

flavors for chip samples with a covering of pectin and the attributes of appearance, color and global impression for the samples with not covering, which were above 7, representing the categories "Liked moderately" and "Liked a lot". The results obtained in vacuum system suggested that the loss of water vapor during the frying process was more correlated to the heat transfer gradient (difference between the working oil temperature and the boiling of the water point) than to the application of reduced pressure. The study of the effect of a pressure reduction on oil incorporation was elaborated so that the temperature was constant and the pressure difference was the only variable in the experiment. In nature and osmotically impregnated apples were studied to verify the influence of the solids content on oil incorporation. After frying (180 seconds), osmotically impregnated apples presented similar water contents after treatment at atmospheric and reduced pressures. For apples in natura different values were observed. Concerning the final oil content, no significant differences were found among the impregnated apple samples between those treated at atmospheric and at reduced pressures (around 25%). For in nature apples different oil contents were observed.

## 1. INTRODUÇÃO

A grande diversidade de recursos fitogenéticos que se encontram disponíveis no Brasil representa, claramente, uma oportunidade ímpar para o desenvolvimento de novos produtos que atendam às necessidades nutricionais e às exigências do mercado consumidor, desde que se estabeleçam critérios técnico-científicos que garantam produtos saudáveis que sejam atraentes aos consumidores.

Apesar desta diversidade fitogenética e de se fazer presente como grande produtor de frutas tropicais, o Brasil apresenta uma taxa de desperdício de alimentos que ultrapassa 35% da produção agrícola. Esses fatores justificam pesquisas de métodos de conservação de alimentos que proporcionem, além de baixo custo, produtos estáveis que conservem suas características nutritivas e sensoriais, ou que ofereçam características sensoriais diferenciadas e bem aceitas pelo consumidor, como seria o caso de frutas fritas. Isto visando também o desenvolvimento de produtos para a exportação.

Os produtos ditos de conveniência estão cada vez mais presentes no dia-a-dia das pessoas, sobretudo nos grandes aglomerados populacionais onde a vida apressada, a oferta de atividades profissionais e a maior disponibilidade de lazer exigem que a alimentação seja feita dentro do contexto tempo X qualidade nutricional (Allanson, 1999).

O processo de fritura de alimentos é há muito tempo empregado domesticamente sendo também uma das maneiras de conservação que podem ser empregadas na indústria de alimentos (Varela *et al.*, 1988).

Este processo já vem sendo aplicado a alguns produtos (Allanson, 1999), como carnes, empanados e batatas, e o mercado consumidor está sempre aberto a novos e bons produtos. No entanto, as frutas em geral não são tratadas por este método de conservação porque a absorção de óleo durante o processamento altera as características de sabor e aroma, podendo prejudicar a aceitação dos consumidores (Dobarganes & Pérez-Camino, 1991).

Uma das maneiras de se produzir produtos fritos a partir de frutas com boa aceitação e qualidade seria otimizar os parâmetros temperatura e tempo do processo e desenvolver técnicas que diminuíssem a incorporação de óleo e a perda de compostos da fruta. Alguns tratamentos antes da fritura podem ser estudados, como o uso de coberturas comestíveis (Allanson, 1999; Gontard & Guilbert, 1995) o emprego da desidratação osmótica e outros após a fritura como a centrifugação do produto. A desidratação osmótica (Vitrac, Dufour, Raoult-Wack, 1997; Reynes & Aymard, 1997), o congelamento, o branqueamento e a secagem com ar (Leng *et al.* 1997) são processos que vêm sendo utilizados como pré-tratamentos na produção de frutas desidratadas, podendo ser aplicados a produtos fritos, pois, reduzindo a umidade inicial, proporcionam menor tempo de residência no processo subsequente.

Desenvolvendo-se técnicas que diminuam a incorporação de óleo e otimizando as condições de processamento, de maneira a se diminuir a perda de componentes do material, a aplicação da fritura poderia ser mais empregada às frutas tornando-se outra opção de método de conservação para as frutas produzidas no Brasil, podendo ainda explorar este potencial de produção de frutas tropicais desenvolvendo produtos tipo *chips* visando ainda a exportação.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. O Processo de Fritura

No processo de fritura, a superfície do alimento em contato com o óleo quente se aquece rapidamente e começa a secar, pois parte da água do alimento migra nos primeiros instantes do processo da porção central para as paredes externas na tentativa de repor a água que é evaporada do produto. Outras substâncias como vitaminas e minerais são perdidas durante o processo, ao mesmo tempo em que ocorre absorção do óleo pelo alimento.

O calor fornecido ao alimento pelo óleo (fonte externa), é utilizado para a elevação da temperatura inicial do produto à temperatura de ebulição da água (calor sensível) e para evaporação da água do produto (calor latente) havendo ainda perdas para o ambiente (Rodrigues, 1997; Athanase, 1998).

A água do alimento desempenha um importante papel durante o processo de fritura, recebendo calor do óleo quente que está em contato com o alimento. Esta transferência de calor evita que o alimento se queime. A conversão de água líquida à vapor quando ela sai do alimento consome parte da energia do óleo, assim, mesmo que o óleo esteja em temperaturas acima de 100°C, a temperatura do alimento se mantém na temperatura de ebulição da água até que toda a água existente seja removida. O calor é então conduzido desde a superfície até o interior do alimento (Blumenthal, 1991; Kozempel, 1991). Esta transferência de calor é realizada pela combinação da convecção através do contato da superfície do produto com o óleo e uma condução do calor para o interior do produto (Felows, 1988, *apud*: Athanase, 1998)

A velocidade de transmissão de calor ao interior do produto é dependente da diferença entre a temperatura do banho (óleo) e a temperatura de ebulição da água do produto. Esta diferença de temperatura constitui a força motriz: quanto mais se eleva esta diferença, mais rapidamente se dá a desidratação (Athanase, 1998).

Alguns estudos realizados por Prasiliani & Calvelo (1986) e citados por Varela *et al.* (1988) comprovam ainda que a temperatura no interior do produto

que está sendo frito se mantém constante e é pouco dependente da dimensão do mesmo. Tal situação é similar ao que ocorre na fase inicial do processo de secagem, quando a temperatura superficial do produto se mantém constante e igual à temperatura do bulbo úmido (na fritura é a temperatura de evaporação da água).

Além de diminuir o teor de água no alimento, a fritura promove a destruição térmica de microorganismos e a inativação de enzimas responsáveis pela degradação do mesmo (Reynes & Aymard, 1997).

No processo de fritura o alimento é submerso no óleo quente e assim, é exposto a três fatores que causam mudanças em sua estrutura: 1) água proveniente do alimento, que leva a alterações hidrolíticas; 2) oxigênio, que leva a alterações oxidativas e 3) temperatura que resulta em alterações térmicas (Dobarganes & Pérez-Camino, 1991). A tabela 1 apresenta, de forma resumida, os compostos formados no óleo devido às alterações ocorridas durante a fritura.

**Tabela 1:** Principais compostos formados durante a fritura em função do tipo de alteração do óleo.

Tipo de alteração	Agente causador	Compostos resultantes
Hidrolítica	Umidade	Monoglicerídios Diglicerídios Glicerol Ácidos graxos
Oxidativa	Oxigênio	Monômeros oxidados Polímeros e dímeros oxidativos Dímeros e polímeros não polares Compostos voláteis (hidrocarbonos, aldeídos, cetonas etc)
Térmica	Temperatura	Monômeros cíclicos Dímeros e polímeros

Fonte: Gutiérrez *et al.* (1988); *apud* Varela *et al.* (1988).

Os produtos resultantes destas reações tem sido estudados por diversos pesquisadores há muitos anos para se tentar determinar as relações destes compostos com a qualidade sensorial do óleo e do alimento frito (Meltzer *et al.*, 1981; Augustin, Asap & Heng, 1987; White, 1991; Dobarganes, 1997) e o valor

nutritivo e o efeito tóxico dos compostos (Gere, 1983, *apud* White, 1991; Billek, 1985, *apud* Lima & Guaraldo, 1995a; Combe, 1997).

As alterações que se produzem em um óleo ou gordura durante a fritura são: o escurecimento, aumento de viscosidade e da formação de espuma, aumento do índice de acidez e de compostos polares, entre outras (Gere, 1983; *apud* White, 1991; Varela, 1983; Dobargenes & Perez-Camino, 1988, Lima & Guaraldo, 1995b). Na fritura por imersão de um material com alto teor de umidade as principais alterações serão as hidrolíticas (Morton, 1977; *apud*: White, 1991; Lima, 1994).

A fritura é um processo complexo que envolve vários fatores que afetam a qualidade do produto final (Varela *et al.*, 1988). Dentre estas fontes de variação podemos citar:

- Tipo de equipamento: pressão de trabalho (atmosférica ou reduzida); presença ou ausência de agitação; imersão ou flotação, potência;
- Características da matéria-prima: teor de umidade; estágio de maturação; tecido celular; forma e tamanho dos pedaços;
- Tipo do óleo: composição de ácidos graxos, ponto de fusão;
- Razão óleo:produto;
- Condições de processo: tempo e temperatura;
- Pré-tratamento: branqueamento, secagem e outros (Lima, 1994).

Os parâmetros temperatura e tempo adequados e eficientes no processo de fritura também dependem das fontes de variação já citadas.

A temperatura é um dos fatores preponderantes no processo. Busca-se o uso da menor temperatura possível que leve à produção de alimentos de boa qualidade. Se a temperatura for muito baixa, o alimento terá excesso de absorção de óleo e se for muito alta ficará cozido por fora, mas não cozido por dentro.

O tipo da matéria-prima é muito importante e a umidade inicial deste material é um fator crítico para a qualidade final; esta determina para uma mesma

umidade no produto final teores de incorporação de óleo e tempo de processos diferentes (Vitrac *et al.*, 1997).

Segundo Varela *et al.* (1988) e Varela (1994, *apud*: Rodrigues, 1997) na fritura por imersão ocorre a substituição de parte da água do alimento por óleo. Esta substituição ocorre em duas fases:

1ª Fase - uma parte da água do alimento é evaporada e a temperatura deste fica na temperatura de ebulição da água, em torno de 100°C, independente da temperatura do óleo. Esta fase corresponde a 2/3 do tempo total da fritura.

2ª Fase - penetração do óleo no alimento e formação da crosta, responsáveis pelo sabor dos alimentos fritos.

### **2.1.1. A Fritura Combinada a Outras Técnicas**

No emprego do processo de fritura às frutas seria importante garantir baixos teores de gordura, desenvolvimento de boa textura e características sensoriais agradáveis. Para isto, uma opção seria combinar o tempo do processo com uma temperatura ideal a técnicas auxiliares que proporcionassem menores taxas de incorporação de óleo. Algumas alternativas seriam o emprego de barreiras protetoras (coberturas comestíveis) e a desidratação parcial do alimento antes da fritura.

O uso de coberturas comestíveis tem recebido bastante atenção de pesquisadores nos últimos anos, graças, principalmente, às suas propriedades de barreira e de melhoria de integridade estrutural e das propriedades mecânicas do alimento (Allanson, 1999; Gontard & Guilbert, 1995).

As barreiras mecânicas dos produtos usados como coberturas nos alimentos a serem fritos, proporcionando menor penetração de óleo, resultam em alimentos com menor teor de lipídeos e uma textura crocante com aspecto atraente.

Leng *et al.* (1997) realizaram como pré-tratamentos o branqueamento (65 e 75°C) e a secagem com ar (30°, 40° e 50°C) em batata doce fatiada nas espessuras de 0,5; 1 e 2mm. Os autores observaram que a absorção máxima de óleo se deu no primeiro minuto de fritura para todas as espessuras sem distinção

dos pré-tratamentos. Esta absorção foi da ordem de 21 a 25% na espessura de 0,5mm e da ordem de 15 a 20% nas outras duas espessuras. Verificaram ainda que a diminuição do teor de água é influenciada pela espessura e pelos pré-tratamentos, ao passo que a absorção de óleo é mais influenciada pela espessura.

Vitrac *et al.* (1997) observaram que a pré-secagem diminuiu o teor final de óleo na faixa de 5 a 15%, provavelmente devido a diminuição do teor de água inicialmente presente que ocupou menos espaço nos tecidos do material, verificaram ainda que uma queda de 20°C na temperatura do óleo não promoveu diferenças significativas no teor final de óleo, mas resultou num aumento no tempo de fritura necessário para se atingir os 4% de umidade estabelecidos.

Em longos períodos de fritura, uma diminuição da perda de umidade em temperaturas elevadas (acima de 170°C) foi observada por Diaz *et al.* (1996). Este efeito pode ser explicado pela rápida formação de uma crosta na superfície do material, que diminuiria as taxas de transferência de massa.

Reynes & Aymard (1997) combinaram o processo de desidratação osmótica à fritura de abacaxi, fixando a temperatura da desidratação osmótica em 40°C e a concentração da solução em 50°Brix, variando o tempo de 2 a 7 horas. Nestas condições observaram que o ganho de sólidos no material durante a desidratação aumentou regularmente com o tempo e que as perdas de peso e água apresentaram um pico em 2 horas de processo. Foi estabelecida em 2 horas a duração da desidratação nas condições já citadas e obtiveram no processo de fritura subsequente uma incorporação de óleo mínima de 14,02 a 16,87% com o uso de temperaturas inferiores a 150°C (estudaram a faixa de 140° a 160°C) no tempo de fritura variando de 120 a 150s., sendo estas as condições tidas como ótimas no processo de fritura combinado com a desidratação osmótica.

### **2.1.2. O Óleo**

O óleo empregado na fritura é um dos componentes mais críticos do processo. Muitos óleos podem ser utilizados sendo os mais comuns os óleos de soja, milho, algodão, palma e também a mistura de dois ou mais tipos de óleo.

Para uso industrial alguns atributos do óleo a ser utilizado são importantes: deve possuir alta resistência a oxidação e a polimerização, baixa taxa de formação de espuma, pouco escurecimento, ausência de odor, e custo acessível.

A tabela 2 apresenta a estabilidade oxidativa de alguns óleos vegetais, obtida em aparelho Rancimat.

**Tabela 2:** Estabilidade oxidativa de óleos vegetais (120<sup>0</sup>C)

Óleo	Período de indução (horas)
algodão	16-20
milho	18-20
girassol	14-16
soja	8-12
palma	30-40
oleína de palma	35-50

Fonte: Morton & Chidley, 1988; *apud*: Lima, 1994.

O óleo utilizado no processo de fritura de um alimento pode sofrer certas degradações, provocando um aumento da quantidade de matéria graxa absorvida pelo alimento, portanto é necessário um controle efetivo do estado de degradação do óleo no decorrer do processo (Lemaire *et al.*, 1997).

Porém, é importante salientar que a fritura em óleo novo não necessariamente leva à produção de alimentos fritos de boa qualidade. Blumenthal (1988, *apud*: Blumenthal, 1991) descreve cinco fases pelas quais passa um óleo durante o processo de fritura:

- Óleo novo - produto branco, amido não gelatinizado no centro, falta odor de alimento cozido, superfície não crocante, baixa quantidade de óleo aderido ao produto;
- Óleo fresco - bordas do alimento ligeiramente tostadas, centro parcialmente cozido, superfície pouco crocante, absorção de óleo pouco maior que na fase 1;
- Óleo ótimo - alimento com cor castanho dourado, superfícies rígidas e crocante, aroma delicioso de óleo e do produto, centro perfeitamente cozido (rígido), ótima absorção de óleo;

- Óleo degradado - superfície do alimento escurecida e/ou manchadas, excessiva quantidade de óleo absorvido, produto tendendo a ser flácido, superfícies endurecidas;

- Óleo de descarte ou impróprio - escuro, superfícies do produto endurecidas, excessiva quantidade de óleo absorvido, centro não cozido totalmente, odor e sabor desagradáveis (queimado).

### 2.1.3. O Óleo de Palma - Características

O óleo de palma é uma boa opção para uso industrial, já que não apresenta odor desagradável, graças à ausência de ácido linolênico; tem alta resistência a oxidação devido à baixa insaturação; não forma gomas, pois não se polimeriza facilmente e tem ponto de fusão inferior à temperatura da boca. Na tabela 3, estão apresentadas algumas características deste óleo.

**Tabela 3:** Características físicas e químicas do óleo de palma refinado.

Determinação	FAO-Codex (1992)	Agropalma (2005)
Ponto de fusão (°C)		31 - 38
Ácidos graxos livres (%)		≤ 0,05
Densidade relativa (50°C/água a 25°C)	0,891 - 0,899	0,892 - 0,893
Índice de peróxido (meq/Kg)	≤ 10	≤ 1
Índice de iodo (Wijs)	50 - 55	52-55
Índice de saponificação (mg KOH/g de óleo)	190 - 209	190-202

**Tabela 4:** Principais ácidos graxos presentes no óleo de palma refinado (%).

Ácido Graxo	FAO-Codex (1992)	Agropalma (2005)
Palmítico C16:0	41 - 47	40,5 - 42,0
Esteárico C18:0	3,5 - 6,0	4,5 - 5,2
Oléico C18:1	36 - 44	40 - 43
Linoleico C18:2	6,5 - 12,0	9 - 10
Trans	≤ 1	-

## 2.2. Desidratação Osmótica

A desidratação osmótica é um processo baseado no mecanismo de osmose que pode ser utilizado para remover a água de alimentos através da difusão pelas membranas semi-permeáveis das células.

Neste processo o alimento é imerso em uma solução desidratante durante certo tempo, a solução sendo mais concentrada que o produto, e conseqüentemente, com pressão de vapor inferior, provoca a transferência de massa entre os mesmos, buscando atingir o equilíbrio (Mizrahi *et al.*, 2001).

Vários autores (Ponting *et al.*, 1966; Lerici 1977; Moy *et al.*, 1978; VIDEV *et al.*, 1990; Raoult-Wack, 1994) relatam que a desidratação osmótica é eficiente na redução de 30 até 50% do peso do material, porque, com o tempo, há uma diminuição da taxa de osmose.

A desidratação osmótica é geralmente usada como uma etapa anterior ao processo de congelamento, liofilização, secagem e na obtenção de frutas tropicais de alta umidade (Mastrangelo *et al.*, 2000)

A desidratação osmótica tem vantagens citadas a seguir:

- como pré tratamento a outro processo de desidratação, reduz o tempo de exposição do produto a temperaturas elevadas, resultando numa significativa melhora da qualidade (Ponting *et al.*, 1966; Bongirvar & Sreenivasan, 1977; Lerici *et al.* 1985, Giangiacomo *et al.* 1987)

- redução do tempo e conseqüentemente redução da energia necessários ao processo subsequente de desidratação para se alcançar a redução de umidade desejada;

- pouco consumo de energia, minimização da perda de coloração e de sabor (Senesi *et al.*, 1988, *apud* Askar, 1998);

- possibilidade de reutilização da solução osmótica;

Em contrapartida, apresenta algumas desvantagens:

- incorporação de sólidos provenientes do agente osmótico (Azeredo & Jardine, 2000);

- os resíduos de açúcares que permanecem sobre a superfície dos pedaços de fruta podem vir a formar um filme após a secagem que advém do processo osmótico. Este problema pode ser reduzido submetendo o produto, após o término da desidratação osmótica, a um rápido banho em água potável.

A eficiência do processo de desidratação osmótica é aumentada quando o processo é conduzido sob agitação ou circulação do agente osmótico, porém é preciso ter certo cuidado para que não haja danos ao material a ser desidratado. Além disso deve-se levar em consideração os custos decorrentes desta implementação (Ponting *et al.*, 1966).

Vários fatores como a temperatura, o tamanho e a forma de corte dos pedaços do material, a agitação, o tempo, o tipo e a concentração do agente osmótico, a pressão e o tipo do tecido celular afetam o processo de desidratação osmótica. A seguir abordaremos alguns destes fatores de influência.

### **2.2.1. As Membranas Celulares e a Transferência de Massa**

A transferência de massa depende das propriedades do tecido, especialmente do espaço intercelular presente. Quando o material (fruta, legume, ou outro) é imerso em uma solução osmótica, o processo de desidratação é fortemente dependente das características da microestrutura biológica inicial, como a porosidade (Islam & Flink, 1982; Lenart & Flink, 1984,) e das variáveis do processo (pré-tratamento, temperatura, natureza e concentração do agente osmótico, agitação, aditivos, tempo de processo) que exercem influência sobre a transferência de massa e sobre a qualidade do produto final (Ponting *et al.*, 1966; Lerici *et al.*, 1985a; Raoult-Wack & Guilbert, 1990).

Durante a desidratação osmótica, pelo menos dois fluxos ocorrem simultaneamente: a saída de água para a solução osmótica e a transferência de solutos desta mesma solução para o alimento, através da membrana celular.

Em frutas ou verduras, as paredes das membranas celulares são estruturas biológicas vivas que podem se esticar e se expandir sob influência do crescimento e da pressão de turgor gerada no interior das células. Estas membranas celulares, que são compostas principalmente por células parenquimáticas, permitem livre

passagem de solventes, mas também permitem, em grau menor, a passagem de moléculas de soluto. Este tipo de membrana pode ser classificado como diferencialmente permeável ou seletiva, um tanto quanto semipermeável.

Segundo Torreggiani (1993), numa situação osmótica ideal, a membrana semi-permeável seria permeável a moléculas de solventes mas não a moléculas de solutos.

A transferência de água é favorecida pelo uso de soluções altamente concentradas (Ponting *et al.*, 1966; Heng *et al.*, 1990; Raoult-Wack, 1994; Vial *et al.*, 1991) e pela redução do tamanho das partículas da fruta até certo nível, acima do qual os sólidos incorporados aumentam (Islam & Flink, 1982; Lerici *et al.*, 1985a; Lenart & Flink, 1984a).

Nas primeiras 2 horas do processo ocorre a maior taxa de perda de água e o máximo de sólidos incorporados se dá nos primeiros 30 minutos (Conway *et al.*, 1983; Torreggiani, 1993; Giangiacomo *et al.*, 1987). Askar *et al.* (1996) confirmaram que a transferência de massa (saída de água do interior dos tecidos) mais importante se dá nas primeiras horas do processo visto que o sistema fruta : solução osmótica tende a entrar em equilíbrio.

### **2.2.2. A Influência da Temperatura**

A temperatura é um fator de importância primária no processo de desidratação osmótica, tendo efeito sobre a cinética das transferências de massa e a viscosidade da solução.

Rastogi & Raghavarao (1995) também estudaram os efeitos da temperatura e da concentração do agente osmótico, desidratando rodela de coco. Utilizou-se xarope de sacarose em diferentes concentrações (40° a 70°Brix) em temperaturas variando de 25° a 45°C. Os resultados obtidos demonstraram que os coeficientes de difusividade aumentam com o aumento da temperatura e da concentração do agente osmótico. Apesar do aumento da remoção de água nestas condições, indicando maior eficiência do processo, o produto em condições mais amenas obteve melhor aceitação sensorial.

Vários autores (Ponting, 1973; Lenart & Flink, 1984b; Vial *et al.*, 1991; Islam & Flink, 1982) observaram que há aceleração da perda de água e aumento da incorporação de sólidos quando a temperatura é aumentada. Porém, a 45°C o escurecimento enzimático e a deterioração do sabor têm início. Acima de 60°C as características dos tecidos são alteradas e a incorporação de sólidos é favorecida; mas com a diminuição da temperatura, a transferência de massa diminui. (Farkas & Lazar, 1993; Heng *et al.*, 1990; Lenart & Flink, 1984b; Vial *et al.*, 1991; Lenart & Lewicki, 1990a; *apud* Torreggiani, 1993;).

Além das alterações nas características do tecido, Heng *et al.* (1990) observaram uma significativa perda de ácido ascórbico em temperaturas superiores a 60°C.

Segundo Fennema (1996) as maiores perdas de ácido ascórbico acontecem devido à oxidação por efeito da temperatura em presença de oxigênio, embora a degradação deste ácido seja muito variável e dependente de cada sistema em particular.

Um trabalho em que foram estudados os efeitos da temperatura e da concentração do xarope sobre as taxas de desidratação osmótica foi desenvolvido por Farkas & Lazar (1969). Os experimentos foram realizados em escala laboratorial e em uma planta piloto com pedaços de maçã. Foram correlacionados diversos dados sobre tempo, temperatura, concentração e redução de peso. Comparando-se os pedaços das maçãs deidrocongelados, com e sem pré-desidratação osmótica, avaliou-se em termos sensoriais os atributos sabor e textura, sendo que o produto com o pré-tratamento apresentou melhores resultados.

### **2.2.3. O Tamanho do Material**

No que diz respeito ao tamanho do material a ser desidratado, existem algumas divergências.

Para Ponting (1973), o efeito do formato, do tamanho e das dimensões dos pedaços da matéria-prima são de pouca importância para o processo de desidratação osmótica.

Já Giangiacomo *et al.*, (1987), Lerici *et al.* (1985a), Lenart & Flink (1984a), Islam & Flink (1982) e Harvey (*apud* Bilhalva, 1976) sugerem que o corte do material em pedaços é uma operação vantajosa no processo de desidratação osmótica, pois, aumentando a superfície de contato entre o material e o agente osmótico para o intercâmbio da água, aumenta-se também a transferência de massa.

Entretanto, Giangiacomo *et al.*, (1987) citam que a influência das dimensões dos pedaços do material deve-se basicamente à relação entre o volume e a superfície. Maior é a taxa de desidratação quanto maior for a área de contato entre o material e o agente osmótico; no entanto, o ganho de sólidos sofre menor influência deste fator.

Porém, para Lerici *et al.* (1985a), Lenart & Flink (1984a) e Islam & Flink (1982), a transferência de massa e o rendimento do processo de desidratação osmótica pela redução do tamanho dos pedaços da fruta pode ser aumentado até certo nível, acima do qual os sólidos incorporados aumentam.

Segundo Islam & Flink (1982) e Lenart & Flink (1984), além do tamanho do material, características da microestrutura biológica inicial dos tecidos da matéria-prima exercem influência sobre a transferência de massa.

#### **2.2.4. Os tipos de Agente Osmótico**

Os principais agentes osmóticos comumente utilizados na desidratação de frutas são soluções de açúcares, por serem compatíveis com o sabor adocicado das frutas como por exemplo: sacarose, frutose e xarope de milho (Lerici *et al.*, 1985; Torreggiani *et al.*, 1987).

O tipo de açúcar utilizado como agente osmótico afeta fortemente a cinética de remoção de água, a incorporação de sólidos e o equilíbrio da água interna. A medida em que se aumenta a massa molar dos solutos, são observados uma diminuição dos sólidos incorporados e um aumento de perda de água, favorecendo a perda de peso e o processo de desidratação propriamente dito (Islam & Flink, 1982; Heng *et al.*, 1990; Lerici *et al.*, 1985).

Como agente osmótico, a sacarose tem sido regularmente utilizada por apresentar sabor compatível com as frutas, baixa taxa de incorporação, ampla disponibilidade (Falcone & Suazo, 1988), Além disso, é eficiente, como outros açúcares, na inibição do processo de escurecimento enzimático, inibindo a atuação da polifenoloxidase por criar um obstáculo ao oxigênio (Ponting *et al.*, 1966; Videv *et al.*, 1990), além de aumentar a estabilidade dos pigmentos do material durante o processo de desidratação e armazenamento (Welti *et al.*, 1995).

Sacarídeos de baixo peso molecular (glicose, frutose, entre outros) apresentam maiores taxas de incorporação no produto aumento devido a rápida velocidade de penetração destas moléculas. Neste caso, o aumento de sólidos, ao invés da desidratação é o principal efeito do processo (Torreggiani, 1993; Lerici *et al.*, 1985a). A este respeito, Bolin, Huxsoll e Jackson (1983) indicam que de acordo com os dados reportados por Chandrasekaran & King (1972), a frutose tem um coeficiente de difusão 32% mais alto que a sacarose.

Contrariamente, Erba (1994) relata que a presença de sorbitol no xarope de frutose induz um menor ganho de sólidos e um aumento da perda de água em pêssegos e damascos.

A porcentagem de água removida na desidratação osmótica é diretamente dependente da concentração da solução osmótica e da duração do processo (Moy *et al.*, 1978) e, ainda aumentando a concentração da solução osmótica, a perda de água é mais favorecida que a incorporação de sólidos (Ponting *et al.*, 1966; Islam & Flink, 1982; Conway *et al.* 1983; Raoult-Wack & Guilbert, 1990).

Raoult-Wack (1994) descreve um efeito dos gradientes de concentração da fruta e da solução osmótica: quando a diferença inicial de concentração entre a fruta e solução é de até 40%, predomina o ganho de solutos; quando essa diferença é superior a 40%, predomina a saída de água. Já Moy *et al.* (1978) descrevem este mesmo efeito dos gradientes de concentração, porém com uma diferença de 20% de concentração entre a fruta e a solução osmótica.

Videv *et al.* (1990) sugerem em trabalhos com maçã a aplicação em escala industrial de xaropes com 70 % de açúcares, embora uma concentração de 65 a 75% seja eficiente na remoção de água em geral para frutas.

Vários autores (Ponting *et al.*, 1966; Islam & Flink, 1982; Torreggiani, 1993) observaram que com a aceleração da perda de água, quando a temperatura é aumentada, há aumento do açúcar ganho. Este fenômeno é devido essencialmente a diferenças das massas molares entre a água e os açúcares. Raoult-Wack (1989) descreve um efeito antagônico para a água e os solutos transferidos, provavelmente devido a combinação dos açúcares incorporados pela difusão com os açúcares transportados pelo fluxo de água, como uma função da razão do fluxo de água.

A adição de NaCl à solução osmótica aumenta o gradiente de perda de água pela sua alta capacidade de redução da atividade de água. Efeitos sinérgicos foram observados no uso de açúcares e sal (Lenart & Flink, 1984b; Islam & Flink, 1982), porém o uso do sal é limitado quando se trata de frutas, devido ao gosto salgado incompatível com este material.

A incorporação de NaCl até 4% (que corresponderia a máxima concentração de NaCl aceita sensorialmente) foi um dos parâmetros a ser avaliado no trabalho desenvolvido por Vijaynand *et al.*(1995), além da perda de peso. Com o objetivo de otimizar o processo de desidratação osmótica de couve-flor, os autores utilizaram um planejamento experimental composto rotacional central e analisaram os resultados através de superfície de resposta. Tomando-se como variáveis independentes a temperatura (de 40 a 90°C), o tempo de processamento (de 5 a 180 minutos), a concentração de NaCl (de 5 a 25%) e a relação de couve-flor : salmoura (de 2 a 4, peso/peso). Houve 40% de perda de peso e 4,2% de incorporação de NaCl sob as seguintes condições: temperatura de 80°C, 5 minutos de processo, concentração de 12% de NaCl na salmoura e relação entre massa couve-flor e massa de salmoura de 1:2.

Alguns álcoois podem ser utilizados combinados com outros agentes osmóticos e à medida que sua concentração na solução aumenta, aumenta também a perda de água.

O uso de álcoois polihídricos, como o sorbitol e o glicerol, é recomendado para um abaixamento da atividade de água em nível inferior ao obtido com soluções de açúcares exclusivamente. Deve-se observar que o glicerol atua como

agente umectante, sendo largamente utilizado em produtos de confeitaria para conferir textura agradável. A legislação brasileira prevê um limite máximo de 5g/100g em frutas dessecadas (Conselho Nacional de Saúde, 1988) para as quais há permissão de uso tanto de glicerol quanto de sorbitol como agentes umectantes.

O álcool etílico é um excelente agente osmótico. No entanto seu uso é limitado, pois atua paralelamente extraindo componentes do sabor, da cor e outros sólidos solúveis dos produtos, além de apresentar um custo elevado e ser inflamável (Askar, 1996).

### **2.3. O Processo de Secagem**

Empregada como método de conservação de alimentos, a secagem é um dos processos mais antigos utilizados pelo Homem que o usa desde os tempos pré-históricos. É um processo copiado da natureza e que através dos tempos foi sendo aperfeiçoado.

O maior estímulo ao uso de alimentos desidratados ocorreu na 2<sup>o</sup> Guerra Mundial, tendo como principal centro pesquisador de frutas e hortaliças desidratadas a Universidade da Califórnia - Davis, Estados Unidos da América (Gava, 1984).

Em geral, qualquer método ou operação unitária que reduza a quantidade de água de um alimento é uma forma de secagem. Este conceito mostra-se, contudo muito amplo e engloba muitas operações como a evaporação, desumidificação, absorção e outros. Portanto, torna-se necessário distinguir as características de cada operação para limitar o conceito de secagem.

Okada *et al.* (2001) fazem as seguintes considerações:

- Na operação de secagem a água ou qualquer outro líquido é removido de um material sólido.
- Pode-se remover água de um material sólido mecanicamente, através de um gradiente de pressão ou centrifugação, ou termicamente, através de um mecanismo de vaporização. A operação de secagem restringe-se àquelas operações onde o mecanismo é a vaporização térmica,

- Na evaporação, sabe-se o mecanismo de remoção do líquido também é o de vaporização térmica, porém neste caso, concentram-se soluções, trabalhando na temperatura de ebulição do líquido. Na operação de secagem a temperatura de trabalho é normalmente inferior à temperatura de ebulição do líquido,

- Uma última consideração que se deve fazer diz respeito à retirada de água, ou de outro líquido qualquer, do material sólido: normalmente na operação de secagem, a água é retirada do material através de uma fase gasosa insaturada, na forma de vapor. Esta restrição é importante porque na evaporação, a água é retirada na forma gasosa saturada.

A partir de tais considerações, os citados pesquisadores definiram a operação de secagem da seguinte maneira:

“Secagem é a remoção de água, ou de qualquer outro líquido, de um material sólido, na forma de vapor, para uma fase gasosa não saturada, através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição.”

Esta definição é também aceita por outros pesquisadores, entre eles McCormick (1983) e Mujumdar & Menon (1995).

### **2.3.1. Migração da Água**

A transferência de água, do interior do material para a sua superfície, pode ocorrer por diversos mecanismos.

Segundo Bruin & Luyben (1983), a migração da água pode acontecer por meio de:

1. Transporte de vapor de água
  - difusão devido ao gradiente de concentração
  - difusão de Knudsen
  - difusão térmica
  - escoamento viscoso

## 2. Transporte de água líquida

- difusão devido ao gradiente de concentração
- escoamento capilar
- difusão superficial
- movimento por gravidade

A difusão de Knudsen acontece quando o diâmetro dos poros da matéria-prima pode ser comparável ao percurso livre médio das moléculas de vapor. Esta difusão somente é importante em condições de alto vácuo, como no processo de liofilização por exemplo.

A difusão térmica, também chamada de efeito Soret, não é considerada, pois seu efeito é desprezível para pequenos gradientes de temperatura, como acontece durante o período onde a taxa de secagem é decrescente.

O escoamento viscoso ocorre devido aos gradientes de pressão total e deve ser considerado apenas no início da secagem de produtos a vácuo.

A difusão superficial da água líquida não é levada em consideração por quaisquer das teorias de secagem de alimentos pois aparece somente em teores de água muito baixos, o que não ocorre com produtos alimentares, em sua maioria.

O movimento por gravidade também é freqüentemente não considerado por não apresentar influência significativa devido às pequenas dimensões dos poros.

Deste modo, os mecanismos mais importantes de migração de água na secagem de alimentos são a difusão de vapor (devido ao gradiente de concentração), a difusão de água líquida (em termos do gradiente de concentração) e o escoamento capilar ou mecanismo de capilaridade produzido por diferenças hidrostáticas e por efeitos de tensão superficial.

### **2.3.2. Transferência de Calor**

A transferência de calor na operação de secagem varia segundo o tipo de secador utilizado.

Os mecanismos de transferência de calor são:

- Irradiação
- Condução
- Convecção

O calor pode ser fornecido indiretamente pelo contato com uma superfície quente ou diretamente pelo contato com um gás quente.

Em função de sua grande disponibilidade, o ar é o meio mais utilizado na secagem de alimentos e seu controle no aquecimento do alimento não representa dificuldades. Não há necessidade de nenhum sistema de recuperação da umidade como nos outros gases (Gava, 1984; Silva, 2000). O ar conduz o calor ao alimento provocando a evaporação da água, sendo utilizado também como veículo no transporte do vapor úmido liberado no processo.

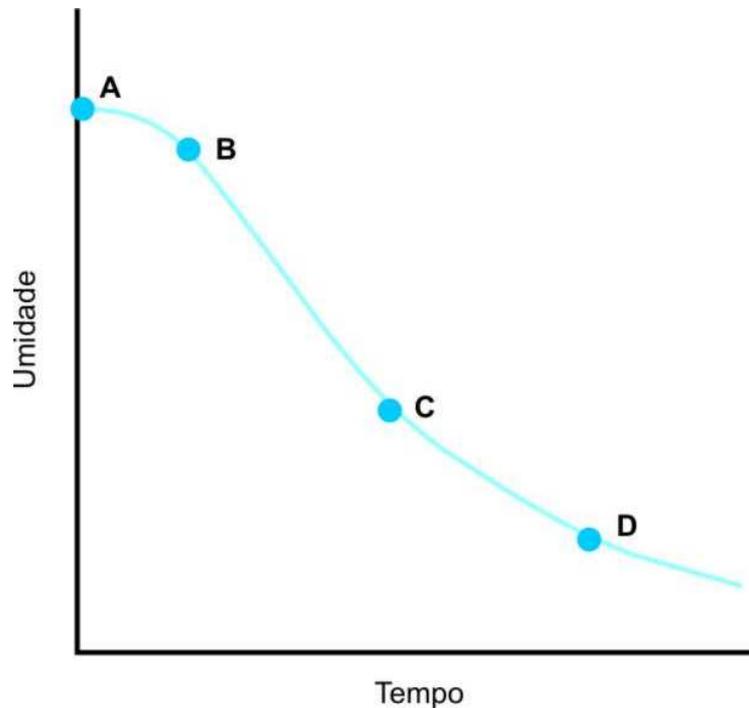
Quando o calor necessário para a vaporização da água é fornecido pelo contato direto com gases quentes, podendo ser desprezado o calor fornecido por condução ou irradiação, o processo de secagem recebe o nome de secagem adiabática. Neste processo o calor latente necessário para a vaporização do líquido é obtido indiretamente através do calor sensível fornecido pelo gás, que ganha umidade por um processo de umidificação adiabática. Assim, a temperatura do material que esta secando, como foram desprezadas as transferências de calor por condução e irradiação, é igual à temperatura de bulbo úmido do gás.

Nas operações de secagem, a temperatura na superfície de evaporação é aquela corresponde à temperatura de equilíbrio entre a água e o ar enquanto houver água não-ligada. Se existe apenas água ligada, como no caso de materiais higroscópicos, a água estará superaquecida, sendo que a temperatura do material irá depender do tipo de transferência de calor. Por outro lado, quando os últimos traços de umidade forem removidos, a sua temperatura poderá estar próxima da do ar (Okada *et al.*, 2001).

### **2.3.3. Cinética da Secagem**

Normalmente o processo de secagem tem um comportamento que pode ser tomado como padrão. Ao se traçar um gráfico da umidade do produto na secagem

em função do tempo, obtém-se, para a maioria dos materiais, uma curva como apresentada na figura 1.



**Figura 1:** Curva genérica de secagem - Variação da umidade do material

Para Okada *et al.* (2001) nesta curva distinguem-se 4 regiões com comportamentos distintos:

1º - Período de Estado Transitório (segmento AB), onde o material se adapta às condições de secagem

2º - Período de Velocidade Constante (segmento BC), caracterizado pelo fato da velocidade de secagem ser independente da umidade total do material. Neste período a superfície exposta do material está saturada, existindo um filme contínuo de água sobre o sólido, que age como se não existisse o sólido; assim sendo, o mecanismo de secagem é semelhante ao mecanismo de evaporação de água num reservatório. Este período pode não existir se o sólido a ser seco contiver um teor de umidade inferior à umidade crítica.

3º - Primeiro Período de Velocidade Decrescente (segmento CD), começa no instante em que o material atinge a umidade crítica ou ponto crítico, onde a migração de líquido para a superfície do material não é suficiente para manter um filme contínuo sobre a superfície. Deste modo a superfície do material

torna-se cada vez mais seca. Durante este período tem-se dois mecanismos: o que existia no período de velocidade constante enquanto houver regiões de líquido saturado na superfície e o vapor proveniente dos níveis mais baixos que se difunde através do sólido para as regiões da superfície que não estivessem saturadas, tendo em seguida que se difundir na corrente gasosa. Este novo mecanismo é muito lento e por isto a velocidade de secagem diminui rapidamente.

4º - Segundo Período de Velocidade Decrescente (do ponto D em diante), onde todo o vapor que é retirado do sólido deve difundir-se através do sólido até chegar na superfície e em seguida difundi-se através da corrente gasosa. Isto faz com que a velocidade de secagem diminua ainda mais. Quando se atinge a umidade de equilíbrio, que é alcançada quando a pressão parcial do vapor na superfície for igual à pressão do vapor na fase gasosa, não se tem mais secagem e a velocidade cai a zero.

#### **2.4. *Uso de coberturas comestíveis em alimentos***

A aplicação de coberturas e filmes comestíveis em alimentos não é uma técnica nova. Segundo Kester & Fennema (1986) a preservação de carnes com o uso de camadas de gelatina foi proposto em 1869 por Harvard & Harmony e em 1895 por Morris & Parker; que Hardenburg (1967) afirma que nos séculos 12 e 13 na China, laranjas e limões eram cobertos com cera para retardar o murchamento.

As coberturas comestíveis usadas como barreiras mecânicas tem recebido bastante atenção de pesquisadores nos últimos anos graças, principalmente, às suas propriedades de barreira e de melhoria de integridade estrutural e das propriedades mecânicas do alimento (Allanson, 1999; Gontard & Guilbert, 1995; Kester & Fennema, 1986).

Em relação à nomenclatura, a maioria dos pesquisadores usam os termos filme e cobertura indiscriminadamente. No entanto, Gontard & Guilbert (1995) ressaltam a diferença de entre ambos: coberturas são aplicadas e formadas diretamente sobre o alimento e os filmes são pré-formados separadamente e aplicados posteriormente sobre o produto.

Um revestimento comestível pode ser usado como coadjuvante às embalagens sintéticas, para melhorar a qualidade do alimento, aumentar sua vida-de-prateleira e até mesmo melhorando a eficiência econômica dos materiais de embalagem (Kester & Fennema, 1986). Um revestimento pode aumentar a estabilidade de alimentos (Krochta & Johnston, 1997; Koelsch, 1994; Kester & Fennema, 1986) por meio dos seguintes mecanismos:

- inibindo a migração de umidade, de oxigênio ou de dióxido de carbono retardando reações indesejáveis de oxidação de lipídeos, vitaminas, pigmentos ou promovendo a criação de um ambiente de atmosfera modificada, com concentrações relativamente altas de CO<sub>2</sub> e baixas de O<sub>2</sub>, o que resulta em redução das taxas de respiração e de produção de etileno (Nisperos & Baldwin, 1996);
- conferindo proteção mecânica e integridade estrutural ao alimento;
- retendo compostos voláteis.

Para ser utilizado como uma cobertura ou filme, o revestimento deve apresentar algumas características:

Sensoriais - Devem ser o mais neutro possível para não serem detectados quando comidos. É requerido que tenham boa aparência e característica tátil não pegajosa. Os hidrocolóides são geralmente mais neutros quando formados a partir de lipídeos ou derivados e ceras que são muitas vezes opacos, escorregadios e com textura indesejável. É possível obter um material com características sensoriais ideais, mas o mesmo precisará ser compatível com o recheio alimentar. As características óticas dependem da formulação e dos processos de fabricação dos revestimentos; opacidade de filmes de glúten é altamente dependente das condições de formação (Gontard *et al.* 1992; *apud*: Gontard & Guilbert, 1996). Segundo Lima *et al.* (1992), *apud* Gontard & Guilbert (1996), a opacidade de filmes de baixa densidade de polietileno/amido diminui quando diminuem a concentração de amido e o diâmetro do grânulo. (Gontard & Guilbert, 1996).

Mecânicas – os revestimentos comestíveis devem ser resistentes a ruptura e a abrasão (para proteger e reforçar o alimento permitindo também um melhor manuseio) e flexíveis (suficiente plasticidade para se adaptar à possíveis

deformações). Estas propriedades dependem do tipo material e especificamente da sua estrutura de coesão. Coesão é o resultado da habilidade do polímero de formar fortes e/ou numerosas ligações moleculares entre as cadeias poliméricas, impedindo assim sua separação. Esta habilidade depende da estrutura do polímero e especialmente de seu tamanho molecular, geometria, distribuição do peso molecular e o tipo e posição dos grupos laterais.

Os polissacarídeos hidrossolúveis apresentam como vantagens uma boa aderência a superfícies de corte de frutas, além de alta permeabilidade a umidade (Kester & Fennema, 1986), permitindo um fluxo relativamente intenso de água da fruta para seu exterior, além disto, tem ainda outra característica favorável: baixa permeabilidade a gases, o que promove a criação de um ambiente de atmosfera modificada, com concentrações relativamente altas de CO<sub>2</sub> e baixas de O<sub>2</sub>, o que resulta em redução nas taxas de respiração e de produção de etileno (Nisperos & Baldwin, 1996).

Segundo Camirand *et al.* (1992) e Wong *et al.* (1994) destacam-se como vantagens no uso de coberturas comestíveis em frutas submetidas ao processo de desidratação osmótica:

- maior perda de água;
- menor difusão de solutos para a fruta;
- possibilidade de uso de agentes osmóticos de menor peso molecular, com maior pressão osmótica;
- menor perda de compostos desejáveis ao produto final como pigmentos, nutrientes e compostos voláteis responsáveis pelo sabor;
- menores níveis de oxigênio difundido para o produto;
- melhor manutenção da integridade física e resistência mecânica do produto;
- melhor aparência de produto final.

Alguns trabalhos relatam a utilização de revestimentos comestíveis no processo de desidratação osmótica, destacam-se aqui:

Lewicki *et al.* (1984) verificaram a influência de revestimentos de pectina de baixa metoxilação e de amido sobre a desidratação osmótica de maçã. As fatias da fruta já cobertas foram submetidas a uma secagem convectiva e após esta etapa procedeu-se a desidratação osmótica sob as seguintes condições: concentração da solução de sacarose a 69°Brix; relação maçã/solução de 1:4; temperatura de 30°C e ausência de agitação. A perda de peso das amostras revestidas foi inferior à das amostras não revestidas (entretanto, os autores não levaram em conta para isto o aumento de massa de 9 – 13% promovido pelos revestimentos). Por outro lado, o aumento no teor de sólidos solúveis foi maior na amostra não revestida e na revestida com amido.

Azeredo & Jardine (2000) com o objetivo de diminuir a incorporação de sólidos e aumentar a perda de água em pedaços de abacaxi, testaram o revestimento dos pedaços com alginato ou pectina de baixa metoxilação, ambos combinados com cloreto de cálcio. Os tratamentos foram comparados com um controle em que os pedaços não foram revestidos. A maior perda de massa foi apresentada pelo tratamento com alginato (aumento de 103%) seguido pela pectina (aumento de 92%). Quanto à perda de umidade, os tratamentos com cobertura não diferiram entre si, mas foram significativamente superiores ao tratamento sem revestimento, o que mostrou que são igualmente efetivas na desidratação tendo promovido um aumento de cerca de 30% de perda de umidade. Ambas as coberturas foram também eficientes em reduzir a incorporação de sólidos, tendo reduzido a resposta em cerca de 50% comparando com o material não revestido. Camirand *et al.* (1992) e Wong *et al.* (1994) já haviam mencionado estes efeitos como uma das vantagens da adição de coberturas previamente ao processo.

#### **2.4.1. Uso de coberturas comestíveis previamente ao processo de fritura**

O processo de fritura é uma operação importante e complexa utilizada largamente nas indústrias alimentícias (Varela, 1988). Neste processo o óleo atua como meio de transferência de calor e acaba sendo incorporado ao produto final.

Os óleos e gorduras são importantes fontes de energia e de certos nutrientes, também provendo propriedades únicas para o sabor e textura dos alimentos fritos. O teor de óleo incorporado pelo produto durante o processo de fritura é afetado por diversos fatores incluindo a qualidade do óleo, a temperatura de fritura, o tempo de duração, a composição do alimento (umidade, proteínas, etc) e a utilização ou não de pré-tratamentos (Pinthus *et al.*, 1995).

Nos últimos 10 anos, a *American Heart Association* e outras organizações de saúde tem encorajado a redução de até 30% no nível de gordura nos alimentos (USDA, 1990; USDA & USDHHS, 1990; *apud*: Khalil, 1999). Para se obter produtos mais aceitáveis do ponto de vista da saúde do consumidor, é preciso que se reduza o teor de gorduras (Khalil, 1999). Várias pesquisas têm sido realizadas nos últimos anos para se reduzir o teor de gordura nos alimentos (Albert & Mittal, 2001). Cada vez mais novos produtos incluem substitutos de gordura em sua formulação (Mallikarjunan *et al.*, 1997).

Desconsiderando os riscos para a saúde, os produtos fritos tornaram-se populares devido a sua textura. Um alimento frito ideal deveria ter a textura e sabor de um alimento frito, sem no entanto conter gorduras (Williams & Mittal, 1999).

Existem alguns trabalhos publicados sobre o uso de revestimentos comestíveis que podem ser utilizados para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura.

Os revestimentos mais utilizados contém hidrocolóides, lipídeos ou ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídeos (Williams & Mittal, 1999). Dentre os hidrocolóides mais utilizados como revestimento estão as proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos. Dois critérios são mais importantes para a escolha de um material que possa ser utilizado como barreira para se reduzir a entrada de óleo no produto: (1) a permeabilidade ao óleo e (2) a resistência a altas temperaturas (Albert & Mittal, 2002).

Mallikarjunan *et al.* (1997) e Fan & Arce (1986) relatam o uso de amilose como cobertura para reduzir a incorporação de óleo durante a fritura. Feeney *et al.*

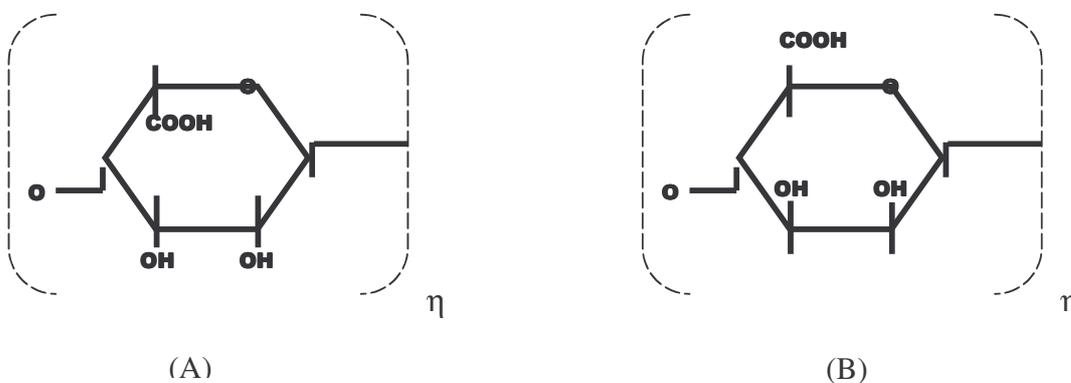
(1993) utilizando zeína de milho em batatas fritas reduziram a incorporação de óleo em 28%. Maliikarjunan *et al.* (1997) trabalhando com esferas de 47mm de diâmetro de batatas maceradas como modelo, estudaram o efeito da zeína de milho, metoxi metil celulose e metil celulose obtivendo uma redução do teor de óleo de 59, 61,4 e 83,6% respectivamente.

Khalil (1999), trabalhando com batatas estudou diversas combinações de soluções de diferentes concentrações de pectina ou alginato de sódio (concentrações de: 1, 2, 3 4, 5 e 6%) com cloreto de sódio (concentrações de: 0; 0,1; 0,3; 0,5 e 0,7%). A combinação que apresentou menor teor de óleo e boas características sensoriais foi a composta por soluções de 5% de pectina e 0,5% de cloreto de cálcio que reduziu em 40% o teor de óleo. O autor verificou ainda o efeito de uma segunda camada de revestimento. A melhor combinação encontrada para esta dupla camada de filmes foi a solução de pectina (5%) e carboxi metil celulose que reduziram em 54% o teor de óleo.

#### 2.4.1.1. Alginato

O alginato é definido como um carboidrato hidrofílico coloidal, e é um termo genérico para os sais e derivados do ácido algínico. São polissacarídeos extraídos por meio alcalino de várias espécies de algas marrons (King, 1983).

Quimicamente são copolímeros lineares dos monômeros: ácido  $\beta$ -D-manurônico (A) e ácido  $\alpha$ -L-gulurônico (B), associados por ligações 1,4-glicosídicas (King, 1983). Os monômeros constituintes dos alginatos estão representados na figura 2.



**Figura 2: Estrutura dos Alginatos**

As moléculas contêm 3 tipos de regiões ou blocos: as regiões ricas em ácido manurônico, chamadas de blocos M, as ricas em ácido gulurônico chamadas de blocos G e aquelas em que a seqüência é alternada ou aleatória (blocos MG) (Morris, 1990). Para caracterizar o polímero é preciso conhecer a relação entre os blocos, a quantidade de blocos M e G e segundo Oakenfull (1987) e Kennedy *et al.* (1984) essas relações dependem do tipo de alga, das condições de crescimentos, idade e tipo de tecido do qual o material foi extraído.

A relação destes ácidos é fundamental na formação do gel, segundo Littlecott (1982), quando o alginato apresenta alta proporção de ácido gulurônico, o gel formado é rígido e firme; o oposto ao alginato, com alta proporção de ácido manurônico é mais usado como espessante.

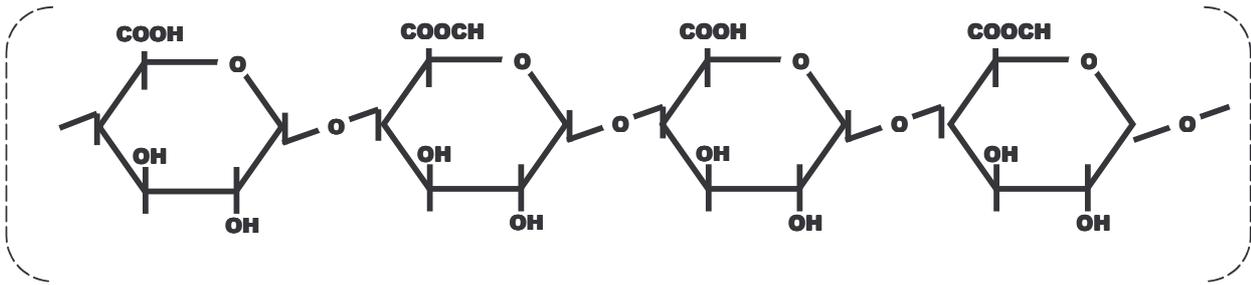
A principal forma comercial do alginato é o sal de sódio. Soluções de alginato de sódio têm alta viscosidade aparente, mesmo em baixas concentrações, devido ao seu alto peso molecular e à sua estrutura rígida.

Uma das propriedades mais importantes dos alginatos, responsável por um grande número de suas aplicações na indústria de alimentos, é sua capacidade de formação de géis termoestáveis na presença de cátions divalentes, especialmente íons  $\text{Ca}^{+2}$  (Imerson, 1990). A formação de géis com cálcio ocorre por meio de ligações iônicas de dois grupos carboxila das cadeias adjacentes com um íon  $\text{Ca}^{+2}$ .

É sugerido por Guilbert (1986), para formulação de coberturas a base de alginato, concentrações na faixa de 2 a 5 % em solução aquosa. Este pesquisador caracteriza as coberturas de alginato como transparentes, flexíveis, sem sabor e odor, além de se contraírem durante a desidratação.

#### **2.4.1.2. Pectina de baixo teor de metoxilação**

A pectina encontra-se entre as substâncias pécticas que constituem um grupo complexo de polissacarídeos estruturais encontradas nas paredes celulares dos vegetais. São uma classe de compostos com estrutura molecular baseada no ácido poli-1,4- $\alpha$ -D-galacturônico (Oakenfull, 1987). A estrutura química da pectina está apresentada na figura 3.



**Figura 3: Estrutura da pectina**

Parte dos monômeros é esterificada com metanol, o grau de esterificação ou metoxilação varia de acordo com a idade e com o tipo de tecido vegetal do qual foi extraída (Oakenfull, 1987). O grau de esterificação de 50% divide as pectinas em dois grupos: alta e baixa metoxilação.

Para a formação de géis, as pectinas de alto teor de metoxilação requerem a presença de um co-soluto, tipicamente a sacarose, em concentrações na faixa de 55 a 80%, e baixo pH (na faixa de 2,8 a 3,7) (Oakenfull, 1987).

Já as pectinas de baixa metoxilação requerem a presença de íons  $\text{Ca}^{+2}$ , não requerendo a presença de co-soluto e nem a redução do pH. A formação de géis de pectinas de baixa metoxilação se dá de forma semelhante à dos alginatos (Oakenfull, 1987).

### **2.5. Atividade de Água (Aa)**

A água pode exercer diversas funções importantes nos sistemas alimentícios, dependendo da sua disponibilidade e dos outros componentes do sistema: i) como um solvente para reagentes e produtos; ii) como produtos de reações; iii) como reagente, por exemplo em reações de hidrólise e iv) como um modificador da atividade catalítica ou inibidora de outras substâncias, por exemplo, na inativação de alguns catalisadores metálicos em oxidação de lipídeos (Karel, 1975; *apud*: Fennema, 1996).

O princípio de muitos métodos de preservação de alimentos, como saturação com açúcares e secagem, consiste na remoção de água e/ou na interação desta com outros compostos de forma que se diminua a sua disponibilidade para deterioração microbiana, química e bioquímica (Labuza, 1980).

A molécula da água é de natureza fortemente polar devido a distribuição assimétrica das cargas positivas e negativas e, por isto, apresenta a marcante tendência de ligar-se de diferentes maneiras, seja por pontes de hidrogênio ou por outras ligações.

A  $A_a$  é definida em termos de equilíbrio termodinâmico de uma solução aquosa; pode ser estabelecido como a relação da pressão de vapor da água do produto e da pressão de vapor da água pura, medidas à mesma temperatura. É medida em uma escala de 0 a 1.

A  $A_a$  indica a quantidade de água disponível para facilitar o movimento molecular para as transformações químicas ou físicas ocorrerem ou para o crescimento microbiológico.

A velocidade das principais reações químicas de transformação dos alimentos é geralmente aumentada pela  $A_a$ , já que a maior mobilidade dos reagentes facilita a ocorrência de interações entre eles. Um dos efeitos da  $A_a$  sobre a taxa de reações químicas se explica pelo fato de que mudanças na  $A_a$  promovem maior concentração ou diluição dos reagentes envolvidos nestas reações (Labuza, 1980), entre as quais estão as de escurecimento não enzimático, as reações enzimáticas e a oxidação de lipídeos.

Além das transformações químicas, podem ocorrer também transformações físicas como a cristalização, a recristalização, a aglomeração e empedramento de pós, a adesão à embalagem e a redução do escoamento livre de pós secos.

O conceito de  $A_a$ , por estar estabelecido nas leis de equilíbrio termodinâmico, deveria somente ser usado para descrever sistemas em equilíbrio. Entretanto, o equilíbrio é difícil de ser estabelecido em sistemas alimentícios. Os casos onde o valor de  $A_a$  pode desviar-se do valor real de equilíbrio são aqueles em que pode ocorrer o fenômeno de cristalização. Como uma boa parte dos produtos não se encontram no estado amorfo e devido às taxas de difusão, os efeitos do não equilíbrio podem ser em muitas situações pequenos dentro do tempo dos experimentos ou da vida de prateleira e/ou tão pequenos que não afetam significativamente a aplicação do conceito de  $A_a$ , por exemplo na predição do crescimento microbiano (Chirife & Buera, 1995).

A Aa é um dos fatores intrínsecos que afetam o desenvolvimento microbiano nos alimentos juntamente com o pH, o potencial redox e a própria composição do alimento (Banwart, 1979).

De um modo geral, quando os fatores intrínsecos afastam-se das condições ótimas para o crescimento de uma determinada espécie microbiana, sua resistência a ambientes com baixa Aa decresce, ou seja, a Aa mínima que permite o crescimento sofre um sensível aumento (Leitão, 1997).

No entanto, pode-se afirmar com relativa segurança que as bactérias são usualmente mais exigentes quanto à Aa, seguida das leveduras e dos bolores (com uma velocidade de crescimento e desenvolvimento mais lento que as bactérias), sendo que, entre estes últimos, algumas espécies se destacam devido a elevada tolerância à baixa Aa (Leitão, 1997).

Em função da Aa podemos classificar os alimentos em alguns grupos:

- Alimentos de Aa baixa: são alimentos que apresentam  $Aa \leq 0,60$ , sendo por isto microbiologicamente estáveis e sem evidenciar quaisquer processos de deterioração microbiológica;
- Alimentos de Aa intermediária: os alimentos com teor intermediário representam uma classe muito variada que não se definem nem por sua composição química, ou por sua origem e nem pelo tipo de fatores nutricionais que apresentam. Apresentam níveis de umidade entre 20 e 50 % e de Aa entre 0,60 e 0,85, por isto são sujeitos a processos de deterioração provocados principalmente por bolores e leveduras;
- Alimentos de Aa alta: são alimentos considerados altamente perecíveis por permitirem o crescimento de uma ampla variedade de microorganismos: apresentam  $Aa \geq 0,85$  (Uboldi Eiroa, 1981).

A preservação de alimentos pela desidratação baseia-se na inibição do crescimento microbiano pela remoção de água livre; no entanto é importante destacar que em função da composição e capacidade de ligação com a água de seus componentes, alimentos apresentando idênticos valores de Aa poderão evidenciar teores de umidade muito diversos.

## **2.6. A Maçã**

A nomenclatura científica cita vários nomes para a macieira: *Pyrus malus* L, *Malus pumila* Mitler e *Malus domestica* Borkhausen. No entanto de acordo com o Código Internacional de Nomenclatura Botânica, *Malus domestica* que consiste de uma descrição feita por Borkhausen e proposta em 1803 (Korban & Skirvin, 1983; *apud* Manual da Cultura da Macieira, 1984) veio a ser a primeira denominação oficial e publicada para a macieira cultivada.

A maçã pertence a família *Rosaceae* e a subfamília *Pomoideae* (Fortes & Petri, 1982; Bleicher, 1982). Outra fruta bastante conhecida no Brasil pertencente a esta mesma família é a pêra.

O fator determinante no plantio de macieiras numa região depende do período de baixa temperatura, necessário para o repouso vegetativo e conseqüente quebra de dormência dos brotos (Fundação Cargill, 1983). Deste modo, as áreas no Brasil recomendadas para o plantio da fruta situam-se na região Sul, principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com uma produção no ano de 2002 de 374.302Ton e 301.130Ton respectivamente (Associação Brasileira de Produtores de Maçã -ABPM, 2004).

### **2.6.1. Dados de Produção**

O número de produtores de maçã no Brasil é de 2.220 gerando aproximadamente 30.800 empregos diretos e 6800 empregos indiretos. Das 726.083Ton de maçã produzidas no ano de 1999 destinaram-se as exportações 57.438Ton, acrescentando-se ainda uma importação de 67.000Ton, o que resulta um consumo *per capita* anual de 5,59Kg (ABMP, 2004).

Embora o Brasil apresente-se como o 11<sup>o</sup> produtor mundial de maçãs, encontra-se no 5<sup>o</sup> lugar no que diz respeito à eficiência de produção com uma estimativa de produção para os anos de 2003 e 2004 girando em torno de 1.111.221Ton com área cultivada de 31.516 hectares nos anos de 2002 e 2003.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Maçã (ABPM), a produção de maçã e sua área de cultivo em alguns estados do Brasil são apresentadas nas tabelas 5 e 6 respectivamente:

**Tabela 5:** Produção de maçãs nos estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e São Paulo (SP) (em toneladas).

Ano	SC	RS	PR	SP	Brasil
1990/91	217.218	85.276	23.257	5.000	<b>330.751</b>
1991/92	240.000	130.000	23.000	10.000	<b>403.000</b>
1992/93	300.000	177.087	26.300	10.000	<b>513.387</b>
1993/94	240.000	188.891	22.909	5.000	<b>456.800</b>
1994/95	267.000	198.400	30.000	-	<b>495.400</b>
1995/96	277.000	235.000	20.000	12.000	<b>544.000</b>
1996/97	358.598	270.954	27.550	12.000	<b>669.102</b>
1997/98	359.972	317.069	22.581	9.280	<b>708.902</b>
1998/99	384.758	304.545	26.780	9.000	<b>726.083</b>
1999/2000	500.142	427.036	35.000	4.885	<b>967.063</b>
2000/01	378.748	304.447	23.800	2.820	<b>709.815</b>
2001/02	474.516	346.314	33.800	2.710	<b>857.340</b>
2002/03	374.302	301.130	25.583	-	<b>701.015</b>
2003/04*	583.623	486.012	41.586	-	<b>1.111.221</b>

Fonte: ABPM, 2004.

\* Estimativa

**Tabela 6:** Área de cultivo de maçãs nos estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e São Paulo (SP) (em hectares).

Ano	SC	RS	PR	SP	Brasil
1990/91	13.483	7.994	2.850	1.000	<b>25.327</b>
1991/92	13.634	8.490	2.500	1.000	<b>25.624</b>
1992/93	14.000	8.800	2.433	1.000	<b>26.233</b>
1993/94	14.000	8.938	2.278	1.000	<b>26.216</b>
1994/95	14.245	9.410	1.961	620	<b>26.236</b>
1995/96	15.176	9.858	1.918	620	<b>27.572</b>
1996/97	14.528	10.772	2.196	620	<b>28.116</b>
1997/98	14.861	10.772	2.196	540	<b>28.369</b>
1998/99	15.034	11.443	2.196	540	<b>29.213</b>
1999/2000	15.814	11.757	2196	540	<b>30.307</b>
2000/01	15.377	13.703	1.383	240	<b>30.703</b>
2001/02	15.907	13.639	1.300	224	<b>31.070</b>
2002/03	16.348	13.352	1.816	-	<b>31.516</b>

Fonte: ABPM, 2004.

### 2.6.2. Composição Química

A composição química da parte comestível da maçã é apresentada na tabela 7.

**Tabela 7:** Composição química da maçã.

Composto	Segundo Franco <sup>1</sup>	Segundo Belitz & Grosh <sup>2</sup>	TACO <sup>3</sup>
Sódio (mg/100g)	4,2	3	< 0,4
Potássio (mg/100g)	63,6	144	206
Cálcio (mg/100g)	8	7	2
Ferro (mg/100g)	0,79	0,48	0,1
Fósforo (mg/100g)	6	12	9
Ácido ascórbico (mg/100g)	8	-	2
Lípidios (%)	0,5	-	Traços
Proteína (%)	0,34	-	Traços
Glicídios (%)	13,69	-	0
Glicose (%)	-	1,8	-
Frutose (%)	-	5	-
Sacarose (%)	-	2,4	-

Fonte: 1 - Franco, 1996; 2- Belitz & Grosh, 1985; 3-TACO: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos.

### 2.6.3. Principais Cultivares no Brasil

No Brasil, as cultivares predominantes de maçã são a Gala e a Fuji representando respectivamente 45 e 46% da produção total (ABPM).

O cultivar Gala é originário da Nova Zelândia, obtido através do cruzamento da “Kidd’s Orange Red” com a “Golden Delicious”. Caracterizada como árvore de porte médio, a época de floração coincide com os cultivares Fuji, Willie Sharp e Blackjon, que também servem de polinizadores (Fontoura, 1986, *apud* Ross, 1995). Os frutos são arredondados e de tamanhos médios e uniformes, sendo que os maiores tendem ao formato cilíndrico-cônico. A epiderme de coloração vermelha e ligeiramente estriada com fundo amarelo confere ótima aparência ao cultivar, que internamente apresenta polpa de coloração amarelada, firme, crocante, suculenta, doce e perfumada.

O cultivar Fuji é de origem japonesa resultante do cruzamento de “Ralls Janet” e “Golden Delicious”. Caracterizada como árvore de grande porte e

vigorosa, a floração ocorre do final de setembro a meados de outubro, dependendo das condições climáticas. O fruto de tamanho médio apresenta formato arredondado ou achatado. A epiderme é de coloração ligeiramente rajada, com fundo amarelado, de aspecto menos atrativo que a variedade gala; porém apresenta a polpa amarelada, suculenta, firme, crocante e doce como este outro cultivar (Ushirozawa, 1978).

#### **2.6.4. Classificação**

O Ministro de Estado da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, no uso de suas atribuições, considerando a necessidade de atualização dos padrões dos produtos hortícolas, visando melhor adequá-los à realidade do mercado, dado o enorme dinamismo que o mesmo apresenta, tanto no que tange ao surgimento de novos cultivares como que diz respeito à comercialização propriamente dita aprovou em 30 de março de 1993 a “Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento, Embalagem e Apresentação da Maçã”. Esta portaria de número 122 entrou em vigor em 19 de abril do citado ano quando foi publicada no Diário Oficial (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA, 1993).

De acordo com a citada portaria, entende-se por maçã o fruto da espécie *Malus domestica* Borkh, cuja classificação é apresentada a seguir:

Grupos - de acordo com a coloração da epiderme (vermelha, parcialmente vermelha ou mista, rajada ou parcialmente colorida, verde e amarela);

Classes - de acordo com o número de frutos por caixa e o maior diâmetro equatorial do fruto;

Categorias e/ou Tipos -qualquer que seja o grupo e a classe a que pertença, a maçã será classificada em 5 categorias e/ou tipos: Categoria extra, Categoria 1, Categoria 2, Tipo 3 e Tipo 4 de acordo com os percentuais de defeitos estabelecidos pela portaria.

Os tipos 3 e 4 destinam-se exclusivamente ao mercado interno e poderão ser acondicionadas soltas ao passo que as categorias Extra, 1 e 2 devem ser embaladas em camadas ou em bandejas.

Não será permitida a comercialização das maçãs que apresentarem resíduos de substâncias nocivas à saúde acima dos limites de tolerância admitida pela legislação vigente.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Procedimentos em Pressão Ambiente

##### 3.1.1. Matéria-prima

Maçã gala: categoria 2 (de acordo com a portaria 122 do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária), provenientes da Agrícola Fraiburgo – SC ou do CEASA – Campinas, SP.

Óleo: Nos testes preliminares para a determinação dos perfis de temperatura, da razão óleo:produto e das condições de operação da fritadeira foi utilizada a gordura especial para fritura *cukin fry* da Bunge Alimentos S/A em razão da dificuldade de obtenção do óleo de palma. Nos estudos de viabilidade de reaproveitamento do óleo baseado nas características do produto frito foi utilizado o óleo de palma fornecido pela planta piloto do Grupo Agropalma - Unidade Campinas. Nos demais ensaios utilizou-se o óleo de palma fornecido pelo Grupo Agropalma - Unidade Norte.

##### 3.1.2. Equipamentos

- Balança eletrônica, Gehaka, modelo BG 4000.
- Refratômetro, Carl Zeiss Jena, com correção de temperatura;
- Estufa à vácuo, VWR Scientific, modelo 1400 E;
- Mesa agitadora orbital, Tecnal, modelo TE 241,
- Estufa com circulação e renovação de ar, Tecnal, modelo TE 394/2 com medidor de umidade relativa microprocessado NOVUS, modelo N480D;
- Dessecador com material adsorvente de umidade;
- pHmetro, Micronal, modelos: B 374 ou B 474;
- Incubadora refrigerada orbital com agitação, Marconi, modelo MA 830, com termoregulador microprocessado BTC 9090;
- Espectrofotômetro para cor, Hunter Lab, modelo Color Quest II;

- Medidor de atividade de água, Aqualab, modelo CX-2 Decagon;
- Transformador Variac Varikeld, Keldian
- Estufa com circulação de ar, Fanem LTDA, modelo 320 ou 330;
- Fritadeira, Croydon, modelo F 25, com controlador de temperatura Omron, Tipo E5GN-Q1TC;
- Centrífuga de cesto para roupas, Arno;
- Analisador de umidade por infra vermelho, Gehaka, modelo IV 2002;
- Medidor de espessura de embalagem, Mitutoyo Absolute ;
- Seladora para embalagens plásticas;
- Outros aparelhos comuns de laboratório e planta piloto.

### **3.1.3. Análises Físicas, Químicas e Físico-químicas**

#### ***3.1.3.1. Dimensões (Comprimento, Diâmetros Menor e Maior) e Peso***

Para a caracterização física da maçã tipo 2 foram selecionadas aleatoriamente 5 frutas de cada uma das três bandejas, de duas caixas de 18Kg de maçãs, totalizando 30 frutas.

As dimensões foram determinadas com o uso de paquímetro e o peso em balança semi-analítica.

#### ***3.1.3.2. pH***

Medido direto nas amostras trituradas utilizando pHmetro.

#### ***3.1.3.3. Sólidos Totais e Umidade***

Determinado por secagem em estufa a vácuo, a 70°C (método 920.151 - AOAC, 1997).

Medido diretamente nas amostras trituradas em analisador de umidade por infravermelho, uma vez que a correlação entre este método e o método oficial

apresentou-se da ordem de 98,62%. As condições de trabalho foram: Temperatura, 105°C; Sistema auto dry; Desvio, 0,5%.

Os valores obtidos para umidade foram utilizados no cálculo para determinação da perda de umidade e incorporação de sólidos:

- Perda de Umidade

$$PU(\%) = 100 \times \frac{(U_i m_i - U_f m_f)}{U_i m_i} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde : PU(%)  $\Rightarrow$  perda de umidade, com base na massa inicial do material;

$U_i$   $\Rightarrow$  teor inicial de umidade do material (%);

$U_f$   $\Rightarrow$  teor final de umidade do material (%).

- Incorporação de Sólidos:

$$IS(\%) = 100 \times \frac{(ST_f m_f - ST_i m_i)}{ST_i m_i} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde: IS(%)  $\Rightarrow$  incorporação de sólidos, com base na massa inicial do material;

$ST_f$   $\Rightarrow$  teor final de sólidos totais do material (%);

$ST_i$   $\Rightarrow$  teor inicial de sólidos totais do material (%).

#### **3.1.3.4. °Brix**

Obtido mediante leitura em refratômetro de amostra triturada, fazendo-se a correção de temperatura quando necessária.

#### **3.1.3.5. Atividade de Água (Aa)**

Medida direto de amostras trituradas em instrumento Aqualab.

#### **3.1.3.6. Acidez Titulável Total**

Determinada segundo método 942.15 da AOAC (1997) e expressa em % de ácido málico.

### ***3.1.3.7. Açúcares Redutores, Não Redutores e Totais***

Determinados segundo métodos 925.35 e 925.36 descritos pela AOAC (1997).

### ***3.1.3.8. Ácido Ascórbico***

Determinado segundo método descrito pela AOAC (1994) modificado por BENASSI (1990), onde substitui-se o solvente extrator ácido metafosfórico por ácido oxálico.

As diluições foram feitas diretamente em ácido oxálico 1% e permaneceram sob agitação de 40rpm por 15 minutos na temperatura de 4°C antes de se retirar as alíquotas para as determinações.

### ***3.1.3.9. Atividade da Peroxidase***

A atividade de peroxidase foi determinada segundo Aguirre (2001) misturando-se partes iguais de solução de 1% de guaiacol e de solução de 1,5% de peróxido de hidrogênio.

A seguir colocou-se duas vezes a quantidade do produto nesta solução e agitou-se.

Ao se observar o desenvolvimento de coloração vermelho-castanho no prazo de 1 minuto o teste é considerado negativo, indicando a atuação da peroxidase (não foi inativada); se não for observado o desenvolvimento de tal coloração o teste é considerado positivo (a peroxidase foi inativada)

### ***3.1.3.10. Ácidos Graxos Livres***

Determinados segundo o método AOCS Ca 5a-40, expressando-se o valor de ácidos graxos livres em % do ácido palmítico.

### ***3.1.3.11. Avaliação de Cor***

Determinações da cor após o processamento otimizado foram realizadas para se determinar as alterações na cor original e entre os processamentos.

A cor foi determinada em espectrofotômetro Hunter Lab, no sistema de leitura CIELAB, utilizando: calibração RSIN, iluminante D<sub>65</sub> e um ângulo de detecção de 10°.

Para se compor cada amostra foram agrupadas 5 fatias da matéria-prima *in natura* ou advindas dos processos de desidratação ou ainda trituradas quando advindas dos processos de fritura; as leituras foram realizadas em cada uma das faces do conjunto, em duplicatas, ou no material triturado colocados em pequenas placas de petri de vidro recobertas com filme de PVC, obtendo-se valores médios de L\*, a\* e b\* para as medidas. O equipamento foi calibrado com o filme de PVC quando as amostras eram recobertas com este material para desconsiderar sua influência.

A partir dos parâmetros L\*, a\* e b\* calculou-se a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) e a diferença de croma ( $\Delta C^*$ ) dadas pelas equações 3.3 e 3.4 respectivamente:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{(Equação 3.3)}$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{(Equação 3.4)}$$

Onde:  $\Delta L^* = L^* - L_o^*$ ;

$\Delta a^* = a^* - a_o^*$ ;

$\Delta b^* = b^* - b_o^*$ , sendo o subíndice **o** o valor na amostra *in natura*.

O sólido de cor CIELAB (L\*, a\*, b\*) foi definido pelo CIE em 1976 para proporcionar mais uniformidade nas diferenças de cores visuais e reduzir o maior problema do espaço de cor original Yxy: iguais distâncias no diagrama de cromaticidade não correspondem a iguais diferenças de cor percebidas. Neste espaço de cor, L\* indica luminosidade (variando de 0 a 100) e a\* e b\* são as coordenadas de cromaticidade (+ a\* = vermelho; - a\* = verde; + b\* = amarelo; - b\* = azul) (MINOLTA CAMERA Co, 1993).

### 3.1.3.12. Lipídeos Totais

Determinado segundo método descrito por Bligh & Dyer (1959).

### 3.1.3.13. Espessura da Embalagem

Na determinação da espessura do filme metalizado utilizado para embalagem dos chips de maçã, utilizou-se o medidor de espessura para embalagem Mitutoyo Absolute.

A espessura média foi calculada a partir de 10 medidas em posições diferentes de uma amostra da embalagem pois, a espessura não é homogênea, uma vez que a camada metalizada é formada por deposição de alumínio.

### 3.1.4. Microscopia

As microscopias eletrônica de varredura e ótica são técnicas bem desenvolvidas e largamente utilizadas para se estudar microestrutura e composição de sistemas alimentares em relação a suas propriedades físicas e procedimentos de processo (Vaughan, 1989).

#### 3.1.4.1. Microscopia Eletrônica de Varredura

O preparo das amostras de maçã *in natura* para observação ao microscópio eletrônico de varredura deu-se através das seguintes etapas:

- Recorte das amostras com lâminas de aço inox novas, em tamanhos de aproximadamente 2,5 X 2,5X 5mm;
- Etiquetagem das amostras recortadas;
- Fixação das amostras com glutaraldeído 2% em tampão de fosfato de sódio 0,1M pH 7,2 com tempo de fixação *overnight*;
- Lavagem em tampão fosfato 0,1M por 15 minutos;
- Início da desidratação em série alcoólica: Etanol 50%: 2 x 15min.  
Etanol 70%: 2 x 15min.  
Etanol 90%: 2 x 15min.  
Etanol 95%: 2 x 15min.  
Etanol 100%: 3 x 10min.;

- As amostras em etanol são o meio de transição para o procedimento de desidratação no *Critical Point Dryer, Balzers CPD030*: tentou-se fraturar as amostras com auxílio de pinças e com o uso de nitrogênio líquido, mas não foi possível. Deste modo as amostras não foram fraturadas, foram colocadas inteiras com fita metálica sobre o *stub* de alumínio;
- A metalização com ouro das amostras já fixadas nos *stubs* foi feita com o uso do Sputte Coater, Balzers SC050 por 180s/40mA.

As amostras de *chips* de maçã, com e sem revestimentos comestíveis, por apresentarem-se com baixos teores de umidade, não foram submetidas às etapas anteriormente descritas, com exceção da fixação nos *stubs* e da metalização com ouro.

Assim preparadas, segundo Flint (1994), as amostras foram observadas ao microscópio eletrônico de varredura, JEOL JSM-5800LV com voltagem de 10kv. As imagens foram registradas em computador ou fotografadas com uso de filme de 120mm preto e branco.

#### 3.1.4.2. Microscopia Óptica

Para observação no microscópio ótico, Jenaval - Zeiss 30G0020c, no Laboratório de Microscopia de Alimentos do Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, as amostras foram recortadas em fatias finas com auxílio de lâminas de aço inox novas e colocadas sobre lâminas de vidro. Estas lâminas de vidro foram levadas ao microscópio ótico e a observação deu-se com o uso de óleo de silicone sobre as amostras. As imagens foram registradas em computador com o uso do programa *Global Lab Image* ou fotografadas com uso de filme colorido.

Para a observação no estereomicroscópio Carl Zeiss - Citoval 2, as fatias de maçã foram recortadas em pedaços de aproximadamente 1,5 X 2cm e fixadas perpendicularmente com cola branca ao suporte de papel cartão preto.

As estimativas da espessura dos revestimentos de pectina e alginato de sódio foram feitas a partir das imagens geradas ao microscópio ótico e ao estereomicroscópio. As imagens capturadas ao microscópio ótico foram

analisadas utilizando o programa de domínio público *Scion Image*, disponível no site: [www.scioncorp.com](http://www.scioncorp.com); e as imagens capturadas ao estereomicroscópio foram analisadas utilizando as escalas fotografadas no próprio equipamento.

### **3.1.5. Estudos Preliminares**

#### ***3.1.5.1. Influência do Descascamento no Processo de Desidratação Osmótica de Maçã***

As frutas foram previamente selecionadas, higienizadas e separada em dois grupos dos quais um deles foi descascado manualmente. Os dois grupos foram cortados em fatias de 3 mm de espessura.

As frutas cortadas foram imersas em solução de sacarose a 65°Brix por 2 horas na proporção de fruta:agente osmótico de 1:4. O sistema encontrava-se em pressão ambiente e temperatura de 33°C na incubadora refrigerada orbital com agitação, como descrito no item 3.1.8.1 PROCESSAMENTO.

O desidratado osmótico obtido de cada um dos processamentos foi submetido a determinação de umidade para a quantificação da perda de umidade e incorporação de sólidos, além da quantificação da perda de peso do material.

#### ***3.1.5.2. Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Desidratação Osmótica***

A princípio não se observou escurecimento enzimático da maçã durante o processamento, confirmando que os açúcares são eficientes na inibição deste escurecimento, inibindo a ação da polifenoloxidase por criar um obstáculo ao oxigênio (Ponting *et al.*, 1966; Videv *et al.*, 1990). No entanto, nas etapas posteriores a este processo, o material sofreu um notável e indesejável escurecimento, sendo assim, tornou-se necessário o uso de antioxidantes na desidratação osmótica.

As frutas previamente higienizadas e cortadas em fatias de 3 mm de espessura foram imersas em solução de sacarose a 65°Brix, por 40 minutos, contendo os antioxidantes selecionados (tempo mínimo de processamento

definido no planejamento experimental), na proporção de fruta: agente osmótico de 1:4.

Decorrido o tempo dos ensaios, as fatias de maçã foram retiradas do agente osmótico, lavadas em água corrente e enxugadas em papel absorvente.

Os antioxidantes utilizados e suas respectivas concentrações foram:

- 0,25% de Ácido ascórbico;
- 0,02% de Metabissulfito;
- 0,15% de Ácido ascórbico + 0,01% de Metabissulfito;
- 0,15% de Ácido ascórbico + 0,15% de Ácido cítrico.

### *3.1.5.3.Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Secagem de Maçã*

Para se evitar o escurecimento enzimático após o corte das fatias de maçã no processo de secagem em estufa determinou-se o uso de antioxidantes.

As frutas previamente lavadas e cortadas em fatias de 3 mm de espessura foram imersas em água contendo os antioxidantes selecionados por 10 minutos. A proporção de solução e fruta foi de 2:1.

Decorrido os 10 minutos, parte das fatias de maçã foi retirada das soluções e submetidas ao teste de peroxidase.

As maçãs imersas nos antioxidantes que foram capazes de inativar as enzimas foram levadas à estufa de secagem onde permaneceram por 6 horas na temperatura de 50°C.

Os antioxidantes utilizados e suas respectivas concentrações foram:

- 0,01% de Metabissulfito de sódio;
- 0,02% de Metabissulfito de sódio;
- 0,03% de Metabissulfito de sódio;
- 0,15% de Ácido ascórbico + 0,01% de Metabissulfito de sódio;
- 1% de Ácido cítrico.

#### *3.1.5.4. Secagem da Maçã*

O objetivo ao se construir a curva de secagem da maçã foi determinar o tempo de secagem necessário para a obtenção da maçã com o teor de umidade conhecido, primeiramente semelhante ao da maçã osmoticamente desidratada (aproximadamente 60%)

Para se determinar a curva de secagem das maçãs fatiadas em 3 mm de espessura utilizou-se a estufa com circulação de ar Fanen, modelo 34 e posteriormente a estufa com circulação e renovação de ar Tecnal, modelo 394/2 com medidor de umidade relativa microprocessado NOVUS, modelo N480D.

Foram construídas as curvas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70, 100 e 120°C e monitorado o valor de umidade relativa do ar nas temperaturas de 40, 50, 60°C.

As maçãs previamente lavadas e cortadas na espessura de 3mm foram imersas em solução de 0,02% de metabissulfito de sódio na proporção de 1:2 (maçã:solução) por 10 minutos. Decorrido este tempo as fatias foram retiradas da solução e colocadas sobre uma bandeja perfurada por mais 10 minutos para que se removesse o excesso de água.

As fatias de maçã foram dispostas sobre as bandejas de secagem previamente taradas e numeradas, uma ao lado da outra e o peso do conjunto (bandeja e fatias de maçãs) devidamente anotado.

As bandejas foram levadas à estufa de secagem na temperatura de realização do ensaio. A ordem de colocação das bandejas dentro da estufa foi mantida a mesma em cada ensaio uma vez que a perda de água em cada posição dentro da estufa não é a mesma.

Durante os 150 minutos iniciais as bandejas foram pesadas a cada 30 minutos. Após este tempo, foram pesadas a cada 60 minutos até 330, 240 e 270 minutos para as temperaturas de 40°, 50° e 60°C respectivamente. Anotou-se o valor da umidade relativa a cada 30 minutos.

A partir dos sólidos totais na maçã *in natura*, da massa de maçã inicial em cada bandeja e da massa de maçã em cada bandeja no tempo  $t$ , calculou-se a umidade da maçã em cada bandeja para cada tempo  $t$  pelas equações 3.4 e 3.5:

$$ST_i M_i = \left( \frac{ST_i * M_i}{100} \right) \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:  $ST_i M_i \Rightarrow$  sólidos totais na massa inicial de maçã em cada bandeja,

$ST_i \Rightarrow$  porcentagem de sólidos totais na maçã *in natura*,

$M_i \Rightarrow$  massa inicial de maçã em cada bandeja.

$$U_t = 100 - \left( \frac{100 * ST_i M_i}{M_t} \right) \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:  $U_t \Rightarrow$  umidade da maçã no tempo  $t$ ,

$ST_i M_i$  descrito acima,

$M_t \Rightarrow$  maçã em cada bandeja no tempo  $t$ .

Conhecendo-se a umidade da maçã em cada tempo construiu-se a curva de secagem para cada uma das bandejas em cada uma das temperaturas de trabalho. A partir do gráfico, através de regressão polinomial, definiu-se a equação correspondente à curva e a partir desta equação calculou-se o tempo de secagem necessário para a obtenção das maçãs com umidade desejada.

Determinado, através da regressão polinomial, o tempo de secagem para obtenção da umidade desejada, verificou-se através de pesagem se a massa contida em cada bandeja correspondia à massa necessária. Esta verificação deu-se através do balanço de massa abaixo:

$$\left[ \begin{array}{l} M_i * U_i = M_f * U_f + M_{H_2O} * 100 \quad (\text{Equação 3.6}) \\ M_f + M_{H_2O} = M_i \quad (\text{Equação 3.7}) \end{array} \right.$$

Onde:  $M_i \Rightarrow$  Massa inicial de maçã;

$U_i \Rightarrow$  Umidade inicial da maçã;

$M_f \Rightarrow$  Massa final de maçã;

$U_f \Rightarrow$  Umidade final desejada;

$M_{H_2O} \Rightarrow$  Massa de água

### 3.1.6. Avaliações com a Fritadeira Croydon F-25

#### 3.1.6.1. Caracterização do Tipo de Fritura

O processo de fritura pode ser classificado em função das dimensões do equipamento usado e de acordo com Guillaumin (1973, *apud* Graille, 1997) que propõe o cálculo do fator R:  $R = S / V$  (definido como a relação da superfície - S - do banho medida em  $\text{dm}^2$  e o volume - V - de óleo expresso em  $\text{dm}^3$ ). Se este fator estiver expresso em até 1,5 a fritura é considerada profunda, caso o contrário é considerada superficial.

#### 3.1.6.2. Perfil de Temperatura do Óleo e Determinação da Razão Óleo:Produto

A determinação do volume e/ou peso do óleo a ser utilizado na fritura é importante para: (1) saber se o processo de fritura será superficial ou profundo (Guillaumin, 1973, *apud* Graille, 1997) e (2) conhecer o perfil de temperatura do equipamento.

Este perfil de temperatura depende das características do equipamento e da razão produto:óleo utilizada. Quanto maior o volume de óleo, menor será a queda da temperatura inicial.

A capacidade da fritadeira é de 12L, o que corresponde a 10Kg de óleo. Mantendo-se este volume de óleo foram realizadas frituras por 4 minutos de 250g, 335g e 500g de maçã *in natura* (80% de umidade), correspondendo às razões de 1/40, 1/30 e 1/20 respectivamente para cada uma das temperaturas de 125, 158 e 185°C.

Para se determinar o perfil de temperatura da fritadeira para uma fruta parcialmente desidratada seriam realizados os mesmos ensaios, no entanto o produto advindo da temperatura de 120°C nos ensaios anteriores apresentou-se com um aspecto cozido e não frito e o produto advindo da temperatura de 185°C apresentou-se queimado. Assim optou-se por alterar a temperatura inicial de fritura para 140°C e diminuir o tempo para 3,5 minutos. Verificou-se também que a razão de 1:20 acarretava uma queda muito grande da temperatura inicial, de modo que se optou por eliminar esta razão do estudo.

Para o perfil de temperatura da fruta parcialmente desidratada foi utilizada maçã osmoticamente desidratada.

O material a ser frito, devidamente preparado (a maçã *in natura* lavada e fatiada na espessura de 3 mm e a maçã osmoticamente desidratada na temperatura de 48°C por 40 minutos em xarope de sacarose de 65°Brix) correspondente à razão determinada foi dividida em dois cestos da fritadeira e sobre cada um deles colocado uma tela perfurada para garantir que o material estivesse completamente imerso no óleo durante o processamento. Foi feita a fritura do material necessário para se obter de cada razão de produto:óleo, da menor para a maior (sendo a maior razão correspondente a menor massa) na temperatura mais baixa (125°C para o material *in natura* e 140°C para o material parcialmente desidratado), anotando-se a temperatura do óleo a cada 5 segundos até completar o tempo determinado. O mesmo foi realizado para as demais temperaturas, da menor para a maior.

O material proveniente de cada fritura foi colocado sobre papel absorvente para a retirada do excesso de óleo e posteriormente pesado.

Foram retiradas alíquotas do óleo para análise de ácidos graxos livres após cada bloco de fritura de mesma temperatura.

A reposição de óleo na fritadeira deu-se através de uma marca nas paredes da mesma, na altura inicial do óleo. Esta marcação do volume de óleo inicial nas paredes da fritadeira foi feita para que o óleo pudesse ser repostado após cada fritura.

Foi determinado a perda de peso e o teor de açúcares totais no material frito advindo da fritura do produto *in natura* para verificar a perda de água e de açúcares totais, e no material frito advindo da fritura do produto osmoticamente desidratado foi determinada a perda de peso.

### ***3.1.6.3. Estudo da Viabilidade de Reutilização do Óleo***

Quando um óleo ou gordura é submetido ao aquecimento e a fritura por imersão, sofre inúmeras alterações que incluem reações hidrolíticas, oxidativas e térmicas.

Na tentativa de se verificar a possibilidade de reutilização do óleo baseado nas características dos *chips* de frutas, foram realizadas análises de sólidos totais, umidade, lipídeos totais e análises instrumentais de cor no material advindo de sucessivas frituras em um mesmo óleo nas mesmas condições de processo. Foram realizadas 15 frituras de 250g de material (proporção de material e óleo de 1:40) na temperatura de 160°C por 3,5 minutos. O material advindo das 1<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup> e 15<sup>a</sup> frituras foi submetido às análises acima mencionadas para se verificar a influência do óleo reutilizado nestas características do produto final.

Esta proporção de produto:óleo e a temperatura utilizada foram escolhidas em função de testes realizados para a determinação dos perfis de temperatura da fritadeira Croydon- F25.

Na avaliação do óleo, foram realizadas análises de ácidos graxos livres e acidez para amostras do óleo sem uso e recolhidas após as 5<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup> e 15<sup>a</sup> frituras.

### 3.1.7. Delineamento Experimental

Na modelagem dos processos foi usado um delineamento baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (ou RSM, Response Surface Methodology).

A RSM é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos fatoriais, utilizada na análise de processos onde certos fatores (variáveis independentes) influenciam o resultado final (resposta- variável dependente). São todos estes parâmetros (fatores e respostas) que determinam e/ou refletem o comportamento do processo.

Box *et al.* (1978) e Barros Neto *et al.* (1996), sugerem que sejam feitas análises estatísticas utilizando como parâmetros o coeficiente de correlação da regressão e o valor estimado para o teste F para avaliar se os modelos empíricos obtidos através da regressão multilinear ou não linear apresentam grau de ajuste adequado aos dados experimentais. O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) indica o ajuste do modelo; quanto maior seu valor (mais próximo de 1, ou 100%), melhor terá sido o ajuste do mesmo.

Foi utilizado o programa STATISTICA, versão 5.0 para elaboração dos modelos experimentais.

O modelo proposto foi ajustado verificando a significância estatística a  $p \leq 0,05$  para cada um dos parâmetros (lineares, quadráticos e a interação). Posteriormente, na análise de variância (ANOVA), observou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F, e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Para ser considerado preditivo o modelo deve apresentar regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e alto valor de  $R^2$  (superior a 0,85). Pode ocorrer porém do modelo apresentar alto valor de  $R^2$  e falta de ajuste significativa.

Quando o número de fatores de influência no processo apresenta-se elevado, pode-se empregar um delineamento fracionário, onde se determinam quais são as variáveis que realmente influem no processo, e posteriormente eliminando-se algumas variáveis de pouca interferência realiza-se os ensaios vindos de um planejamento fatorial completo.

#### **3.1.7.1. Desidratação osmótica**

Primeiramente utilizou-se na modelagem e otimização do processo de desidratação osmótica a RSM, mas como no processo de fritura subsequente não foi possível a obtenção de um produto com umidade de até 6% com coloração aceitável, realizaram-se novos ensaios a 35 e 45°C por 1, 2 e 3 horas com o objetivo de se obter maçã osmoticamente desidratada com valores menores de umidade.

Para elaborar o planejamento experimental é preciso se estabelecer quais fatores são de maior influência e a faixa de interesse experimental de cada um deles. Buscando-se dados em literatura definiu-se:

Temperatura: 30 a 50°C;

Tempo de processo: 40 a 200 minutos

Os resultados finais a serem otimizados foram: maximização das perdas de peso e umidade e minimização da incorporação de sólidos.

A tabela 8 apresenta os níveis codificados e decodificados de cada um dos fatores em cada ensaio da desidratação osmótica.

**Tabela 8:** Níveis codificados e decodificados das variáveis em cada ensaio

Ensaio	Codificados		Decodificados	
	Tempo	Temperatura	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	- 1	- 1	63,25	33
2	- 1	+1	63,25	47
3	+1	- 1	176,35	33
4	+1	+1	176,35	47
5	- 1,414	0	40	40
6	+1,414	0	200	40
7	0	- 1,414	40	30
8	0	+1,414	120	50
9	0	0	120	40
10	0	0	120	40
11	0	0	120	40
12	0	0	120	40

### 3.1.7.2.Fritura

Na modelagem e otimização do processo fritura utilizou-se também a RSM.

Os parâmetros de fritura a serem otimizadas foram o tempo e temperatura de processo, visando minimizar a incorporação de óleo na obtenção de um produto com teor residual de aproximadamente 6% de água. A faixa de interesse experimental de cada um dos parâmetros foi definida através de dados em literatura:

- Temperatura: 140 a 180° C;
- Tempo de processo: 60 a 300 segundos para a maçã *in natura* e 60 a 240 segundos para maçã parcialmente desidratada (secagem convencional ou desidratação osmótica) .

A tabela 9 apresenta os níveis codificados e decodificados para cada um dos fatores em cada ensaio da fritura.

**Tabela 9:** Níveis codificados e decodificados para cada ensaio de fritura

Ensaio	Codificados		Decodificados		
	Temperatura	Tempo	Temperatura (°C)	Tempo*(seg)	Tempo**(seg)
1	- 1	- 1	145,9	85	86
2	+1	- 1	174,1	85	86
3	- 1	+1	145,9	275	214
4	+1	+1	174,1	275	214
5	0	- 1,414	160	60	60
6	0	+1,414	160	300	240
7	- 1,414	0	140	180	150
8	+1,414	0	180	180	150
9	0	0	160	180	150
10	0	0	160	180	150
11	0	0	160	180	150
12	0	0	160	180	150

Obs: \* Tempo de fritura para a maçã *in natura*.

\*\* Tempo de fritura para a maçã parcialmente desidratada.

### 3.1.8. Processamento

#### 3.1.8.1. Desidratação Osmótica

Para a realização dos ensaios de desidratação osmótica, foi utilizada uma incubadora refrigerada orbital com agitação. Os ensaios foram realizados em béqueres de 2L com aproximadamente 400g de maçãs cortadas em fatias de 3 mm de espessura, mantendo-se a proporção de 1:4 de fruta: xarope.

A concentração do xarope de sacarose escolhida foi 65°Brix, uma vez que Videv *et al.* (1990), estudando o efeito da concentração do agente osmótico na desidratação de maçãs, sugeriram uma concentração do agente osmótico de 65°Brix a 75°Brix. Utilizou-se a menor concentração sugerida devido à pequena espessura (3mm) de corte da fruta.

O xarope foi aquecido até a temperatura de realização do ensaio e vertido sobre a fruta já fatiada. O conjunto béquer + fruta + xarope foi levado à incubadora orbital refrigerada com agitação, previamente estabilizada na temperatura de realização do ensaio.

O processamento foi realizado como mostra a figura 4.

3.1.8.1.1.Fluxograma

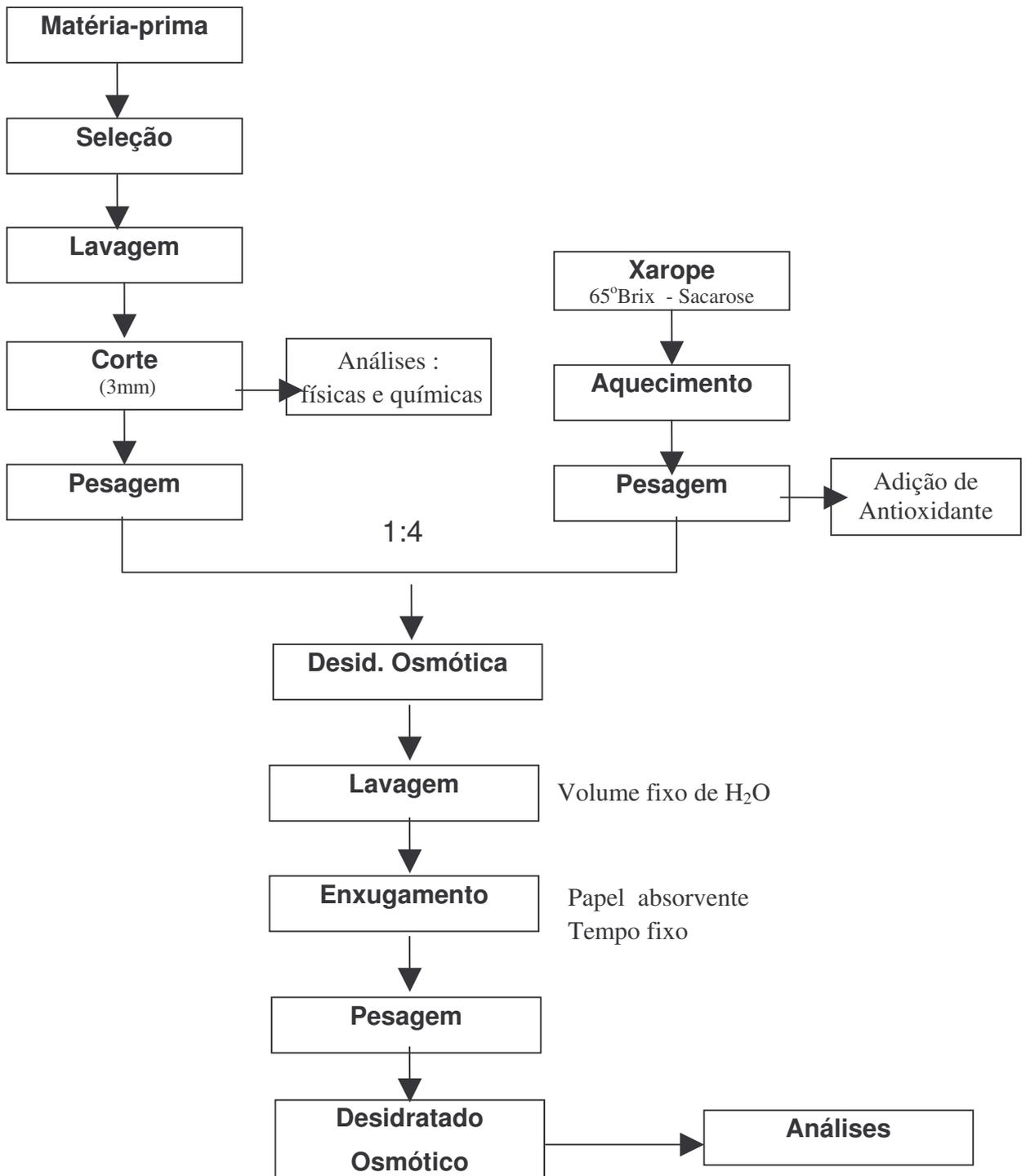


Figura 4: Fluxograma do Processo de Desidratação Osmótica.

### 3.1.8.2.Fritura

Para a realização dos ensaios de fritura foi utilizada a fritadeira Croydon F-25 com capacidade para 10kg de óleo .

A cuba de fritura da fritadeira é removível, de modo que o óleo pode ser pesado nesta cuba e em seguida colocada sobre a fritadeira.

O material a ser frito, devidamente preparado, foi dividido nos dois cestos da fritadeira e sobre cada um deles colocada uma tela perfurada para garantir que o material se mantivesse completamente imerso no óleo durante todo o processamento. O conjunto cesto + material + tela perfurada foi imerso no óleo já aquecido na temperatura do ensaio. Anotou-se a temperatura do óleo a cada 5 segundos até completar o tempo determinado do processamento

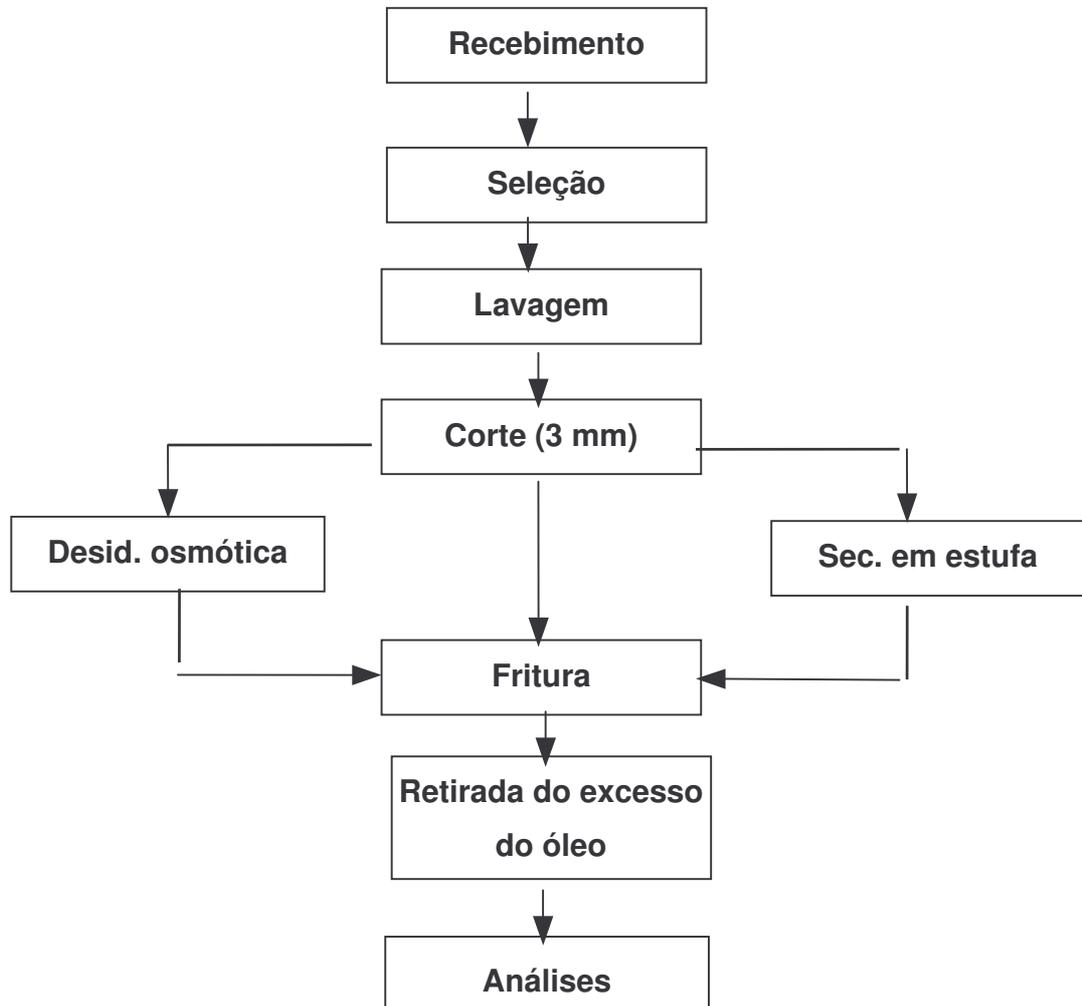
O processamento foi realizado conforme mostra a figura 5.

Nos ensaios de fritura partiu-se de três materiais diferentes: maçã *in natura*, maçã osmoticamente desidratada e maçã parcialmente desidratada em estufa. A fritura de cada um destes materiais constituiu um bloco contendo 11 ensaios do planejamento experimental.

O mesmo óleo foi utilizado para cada bloco (constituído da mesma matéria-prima) de 11 ensaios uma vez que se concluiu que o óleo manteve-se adequado para o uso até a 15<sup>o</sup> fritura (Estudo da Viabilidade de Reutilização do Óleo). Os ensaios foram realizados sucessivamente da menor (140°C) para a maior temperatura (180°C).

Para a fritura de cada novo bloco o óleo foi trocado para evitar que compostos contidos no material influenciassem o outro processo de fritura.

## 3.1.8.2.1. Fluxograma



**Figura 5:** Fluxograma do Processo de Fritura a Pressão Ambiente

### 3.1.8.3. Centrifugação

Para o estudo da centrifugação foram processados *chips* pré-desidratados osmoticamente (condições de processos: DO, 35°C / 180 minutos; fritura, 155°C / 180 segundos). Após a fritura estes *chips* foram centrifugados em centrífuga de cesto Arno onde os tempos de centrifugação utilizados foram de 4, 8, 12, 16 e 20 minutos.

Analizou-se o teor de lipídeos para verificar o melhor tempo de centrifugação.

#### 3.1.8.4. Aplicação das Coberturas Comestíveis

As coberturas comestíveis utilizadas foram formadas a partir de soluções de alginato de sódio ou pectina de baixo grau de metoxilação, associados a íons cálcio. Foram obtidas com a imersão das fatias de maçã na solução do polissacarídeo, seguida por imersão em solução de cloreto de cálcio.

Foram utilizadas soluções de concentrações de 1, 2 e 4% de pectina, 1 e 2% de alginato de sódio e 1,5% de cloreto de cálcio

##### 3.1.8.4.1. Secagem das Coberturas

Após as imersões das fatias de maçã nas soluções de polissacarídeo e de cloreto de cálcio foi necessária a secagem para a formação da cobertura.

Nos testes iniciais as fatias de maçã foram deixadas sobre a bancada do laboratório de um dia para o outro (aproximadamente por 14 horas) para que o material secasse naturalmente. Mas para um melhor controle das condições de secagem, optou-se por fazê-la em estufa com circulação de ar. A temperatura escolhida foi a mesma utilizada no processo de desidratação osmótica: 35°C.

As fatias de maçãs já recobertas foram penduradas uma a uma em bandeja perfurada com espaçamento de aproximadamente 1,5cm entre cada fatia. As bandejas contendo diversas porções de 10 fatias de maçãs foram colocadas em estufa com circulação de ar e a cada 15 minutos foi retirada uma porção e avaliada se a cobertura estava integralmente formada.

##### 3.1.8.4.2. Uso De Coberturas de Pectina ou Alginato de Sódio Aplicadas Posteriormente ao Processo de Desidratação Osmótica

Utilizou-se para este estudo maçãs osmoticamente desidratadas nas condições anteriormente determinadas de 35° C por 3 horas em xarope de sacarose a 65°Brix. A maçã previamente desidratada por osmose foi escolhida, uma vez que não se conseguiu obter *chips* com teor de umidade e coloração desejadas a partir da fruta *in natura* ou desidratada em estufa. Mesmo utilizando-se as coberturas de pectina e alginato de sódio quando se utilizou a fruta *in natura* previamente ao processo de fritura, não foi possível obter *chips* aceitável pois se apresentavam extremamente escuros e queimados. As fatias de maçã

osmoticamente desidratadas foram imersas uma a uma em solução de alginato de sódio ou de pectina seguida de uma imersão em solução de cloreto de cálcio a 1,5% para completar a formação íntegra da cobertura. Após estas imersões as fatias de maçã foram penduradas uma a uma em bandeja perfurada e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar por um tempo mínimo (120 minutos) para a formação do filme a 35<sup>o</sup>C (mesma temperatura da desidratação osmótica).

Foram utilizadas concentrações de 1, 2 e 4% de pectina, 1 e 2% de alginato de sódio e cloreto de cálcio a 1,5%

A determinação da razão de óleo : produto (40:1) utilizada no processo de fritura foi determinada levando-se em consideração um material com teor de umidade em torno de 60% (maçãs osmoticamente desidratadas).

Com a utilização das coberturas de pectina e alginato de sódio no recobrimento das fatias de maçã foi necessária uma secagem para a formação íntegra dos filmes e com isto, estas mesmas fatias perderam um pouco mais de umidade ficando com 55% ao final da secagem dos filmes.

Deste modo a razão de óleo : produto (10kg : 250g) anteriormente determinada, levando-se em consideração um material com aproximadamente 60% de umidade, foi recalculada para um produto com 55% de umidade. Determinada a quantidade de água presente nas 250g do produto inicial com 60% de umidade (150g), calculou-se a quantidade do novo material, com menor teor de umidade (55%), necessário para conter o mesmo teor de água: 273g. Exemplo do cálculo:

$$250\text{g de maçã osmoticamente desidratada} \Rightarrow 60\% \text{ umidade} \Leftrightarrow 150\text{g de água}$$

$$X \text{ g de maçã osmoticamente desidratada com cobertura} \Rightarrow 55\% \text{ umidade} \Leftrightarrow 150\text{g de água}$$

---

$$X = 172,72 \text{ g de maçã osmoticamente desidratada com cobertura}$$

#### 3.1.8.4.3. Uso de Coberturas de Pectina ou Alginato de Sódio Previamente Ao Processo de Desidratação Osmótica

Decidiu-se verificar se coberturas adicionadas previamente à desidratação osmótica serviriam de barreira para a entrada de óleo no processo de fritura.

As coberturas de 2 ou 4% de pectina ou 2% de alginato (seguidas de imersão em solução de cloreto de cálcio a 1,5%) foram aplicadas previamente ao processo de desidratação osmótica.

As fatias de maçãs recobertas foram penduradas uma a uma, com espaçamento de aproximadamente 1,5cm entre elas, em bandejas perfuradas que foram colocadas em estufa com circulação de ar na temperatura de 35°C por 120 minutos para secagem da cobertura.

Inicialmente as maçãs recobertas foram submetidas a desidratação osmótica nas mesmas condições anteriormente descritas (35°C/180min./agitação de 150rpm). No entanto, constatou-se que o atrito entre as fatias de maçã devido à agitação danificava e chegava mesmo a remover as coberturas, desta forma foi necessário encontrar uma agitação máxima que não danificasse as coberturas. Foram testadas agitações de 50, 70 e 100rpm constatando-se que a agitação máxima que não danificava as coberturas era a de 50rpm. No entanto, a diminuição da agitação levou à obtenção de um produto com menor taxa de remoção de água, então aumentou-se o tempo de processamento para 6 horas com a agitação reduzida (50rpm) para se obter a mesma taxa de umidade (aproximadamente 60%) nas fatias de maçã.

#### 3.1.8.4.4. Uso de Pectina ou Alginato de Sódio no Agente Osmótico Durante o Processo de Desidratação Osmótica

Embora apresentem inúmeras outras vantagens, já discutidas na revisão bibliográfica, o principal objetivo do uso de coberturas comestíveis neste trabalho foi a diminuição da incorporação de óleo durante o processo de fritura.

Nos itens apresentados anteriormente, as coberturas foram integralmente formadas nas fatias de maçã fora do agente osmótico, ou seja, ou antes ou depois da desidratação osmótica. Como durante o processo de desidratação osmótica ocorre uma incorporação de sólidos provenientes do agente osmótico

decidiu-se por verificar a influência da pectina adicionada ao xarope de desidratação, pois a própria pectina poderia ser incorporada a fruta e assim atuar como barreira à entrada de óleo no processo de fritura. Desta forma, o xarope para a desidratação osmótica foi preparado com 0,1% de pectina de alto grau de metoxilação (testou-se também 0,2 e 0,3%, mas devido à alta viscosidade trabalhou-se com 0,1%), mantendo-se inalterados os demais parâmetros do processo (35°C/3horas)

### 3.1.9. Análise Sensorial

Entre os métodos sensoriais disponíveis para se determinar a aceitação dos consumidores com relação a um produto, a escala hedônica de nove pontos é provavelmente o método afetivo mais utilizado devido à viabilidade e validade de seus resultados, bem como a sua simplicidade em ser utilizado pelos provadores (Stone & Sidel, 1993).

Os atributos avaliados nos *chips* de maçã foram: aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global.

As amostras foram servidas em bandejas de fundo branco sob iluminação ambiente e codificadas com 3 algarismos. A ordem de apresentação das mesmas foi balanceada e isolada.

A análise sensorial realizada a cada mês foi utilizada para determinação da vida de prateleira dos *chips* de maçã (até que a aceitação do produto atingisse a metade da aceitação inicial).

O material foi processado, acondicionado em sacos (com medida de 30 X 20cm) de embalagem flexível metalizada de espessura média de 0,058 mm. Os sacos contendo aproximadamente 60g de *chips* de maçã foram colocados em caixas de papelão e armazenados em temperatura ambiente.

Os dados obtidos nos testes sensoriais foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) seguida de outros procedimentos estatísticos, entre os quais o teste de Tukey, para verificação de diferenças significativas entre as médias, dado o nível de confiança de 5% com auxílio do pacote estatístico do programa SAS.

### 3.1.9.1. Modelo de Ficha para Análise Sensorial

Os *chips* de maçã obtidos pelos processos combinados de desidratação osmótica, fritura e revestimentos comestíveis foram submetidos a teste sensorial de aceitação utilizando-se escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente; 1= desgostei extremamente) e teste de intenção de compra com escala de cinco pontos (extremos correspondentes a “certamente compraria” e “certamente não compraria”). O modelo da ficha utilizada para a análise sensorial encontra-se abaixo:

Nome: \_\_\_\_\_  
 E- mail: \_\_\_\_\_ Fone: \_\_\_\_\_

**1-**Você está recebendo uma amostra de “*Chips* de maçã”. Por favor indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação a:

9- Gostei extremamente	Aparência: _____
8- Gostei muito	Cor: _____
7- Gostei moderadamente	Aroma: _____
6- Gostei ligeiramente	Sabor: _____
5- nem gostei / nem desgostei	Textura: _____
4- Desgostei ligeiramente	Impressão global: _____
3- Desgostei moderadamente	
2- Desgostei muito	
1- Desgostei extremamente	
Comentários: _____	

**2-**Indique na escala abaixo sua atitude se encontrasse este produto a venda. **Se eu encontrasse este “*Chips* de maçã” a venda eu:**

- ( ) Certamente compraria
- ( ) Provavelmente compraria
- ( ) Tenho duvidas se compraria
- ( ) Provavelmente não compraria
- ( ) Certamente não compraria

## **3.2. Procedimentos em Pressão Reduzida: Vácuo**

### **3.2.1. Matéria-prima**

Maçã: Granny Smith adquirida diretamente em supermercados das redes Carrefour ou Inno na cidade de Montpellier- França.

Óleo de palma refinado.

### **3.2.2. Equipamentos**

- Balança Metler Toledo, KA32S;
- Extrator acelerado de solvente (Accelerated solvent extractor), modelo L' Ase 2000, Dionex;
- Estufa a vácuo, VWR Scientific;
- Fritadeira elétrica Kenwood, modelo KPB 50, capacidade para 5 litros, com resistência de 2,0 kW;
- Computador pentium com programa Lab View de National Instrument, versão 5.1, para aquisição dos dados da balança e monitoração e controle da temperatura da fritadeira;
- Agitador Talboy Engineering, IKA, USA munido de duas hastes móveis tipo Rushton (6 pales) de diâmetro de 3cm com superfície de 1,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>, com regulagem de velocidade (utilizou-se 16,75 rad.s<sup>-1</sup>) utilizado para homogeneizar a temperatura do óleo na fritadeira;
- termopares tipo K, com diâmetro de 1,5mm, com sonda de platina Pt100;
- Outros aparelhos comuns de laboratório e planta piloto.

### **3.2.3. Métodos**

#### ***3.2.3.1. Sólidos Totais***

Determinado com o uso de estufa a vácuo. As amostras trituradas foram mantidas em estufa a vácuo na temperatura de 70° C por 25 horas.

### ***3.2.3.2.Lipídeos Totais***

Determinado no accelerated solvent extractor, modelo L'Ase 2000, que é um equipamento automático utilizado para extração acelerada de compostos orgânicos de materiais sólidos ou semi-sólidos que utiliza solvente a temperaturas elevadas e alta pressão. A pressão é aplicada na célula de extração para manter o solvente aquecido no estado líquido durante a extração. Após o aquecimento, a célula é enxaguada e o solvente, com os compostos extraídos, é recolhido nos tubos previamente tarados. Após as etapas descritas realizadas no equipamento, o solvente é evaporado dos tubos e com o peso final é feito o cálculo do composto extraído, no presente caso lipídeos. As condições de trabalho para extração de lipídeos foram: Solvente: éter de petróleo

Temperatura: 135° C

Tempo estático; 3 minutos

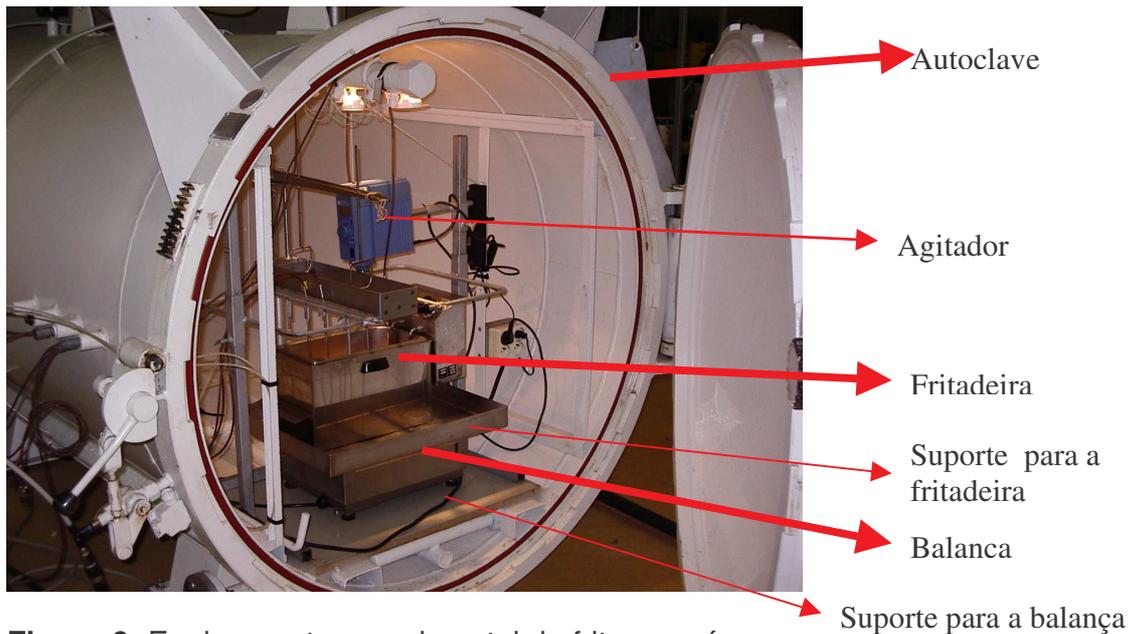
Flush: 100%

Purga: 60 segundos

### **3.2.4. Processamento: Processo de Fritura**

#### ***3.2.4.1.Equipamento Experimental***

O equipamento experimental utilizado para a realização dos ensaios de fritura foi composto por uma fritadeira com capacidade para 5L aquecida por uma resistência elétrica de 2kW. A fritadeira repousa sobre uma prancha metálica disposta sobre uma balança. Entre a prancha metálica e a balança foi colocada uma prancha de madeira de 7cm de espessura como isolante. A balança foi ligada a um computador e um programa de aquisição de dados (Lab View de National Instrument, versão 5.1) permitiu registrar a massa de óleo e fruta durante o processo de fritura, com uma frequência de 6,3Hz. Cinco termopares registravam continuamente a temperatura do óleo, permitindo ainda controlar e obter a temperatura desejada em cada ensaio. Utilizou-se um agitador no banho de óleo para assegurar a homogeneidade da temperatura desejada. A figura 6 mostra o equipamento experimental.



**Figura 6:** Equipamento experimental de fritura a vácuo.

A imersão das fatias de maçã no óleo se deu através de um dispositivo pneumático que possibilitou a descida e subida de um suporte de alumínio com duas grelhas onde eram acondicionadas 8 fatias de maçã para a imersão no óleo já aquecido (Figura 7):



**Figura 7:** Suporte metálico para imersão em óleo das fatias de maçã.

Todos estes componentes do equipamento de fritura estavam instalados dentro de uma autoclave horizontalmente fixada ao chão, acoplada a uma bomba de vácuo e a um manômetro.

### ***3.2.4.2. Protocolo Experimental***

As maçãs foram fatiadas em 2mm de espessura e estas fatias foram cortadas em retângulos de aproximadamente 38 X 42mm, pesadas e acondicionadas na grelha metálica (Figura 8) para posteriormente serem imersas verticalmente no óleo, previamente aquecido, na temperatura de realização do ensaio.

Previamente à realização de cada ensaio, a balança era tarada a fim de se conhecer o peso inicial da fritadeira com o óleo para o acompanhamento da variação de massa durante o processo de fritura.

Após a colocação da grelha com as amostras sobre a fritadeira, a autoclave era fechada, a bomba de vácuo era ligada e a pressão desejada obtida pela regulagem manual de duas válvulas situadas na outra extremidade da autoclave. Uma vez atingida a pressão desejada, esperava-se 9 minutos para a estabilização da balança na nova pressão e após este período a amostra era imersa no banho de óleo quente e a variação de massa registrada no computador pelo programa Lab View de National Instruments.

Decorrido o tempo de fritura a amostra foi suspensa do óleo, a bomba de vácuo desligada e as fatias de maçãs retiradas da grelha, secas em papel absorvente e acondicionadas para análise de sólidos totais e lipídeos.

A partir do peso inicial do material imerso no óleo (grelha metálica + fatias de maçã), mais propriamente falando do peso inicial das amostras de maçã, foi possível acompanhar a variação de massa durante a fritura. Esta variação de massa corresponde à água evaporada durante o processo e conhecendo-se também o teor de sólidos totais é possível se calcular o teor de água na maçã durante cada instante do processo.

### ***3.2.4.3. Expressão dos Resultados***

Conhecendo-se a massa inicial da amostra  $M$ , o teor de água inicial  $W$  (kg / 100kg de produto) e o teor de sólidos totais iniciais sem óleo  $S$  (kg / 100 kg de produto) é possível obter o teor de água durante a fritura que será reportado como

teor de matéria seca inicial e é expresso por  $W_s$  (kg de água / kg de matéria seca inicial) segundo a fórmula:

$$W_s = W_t / S_o$$

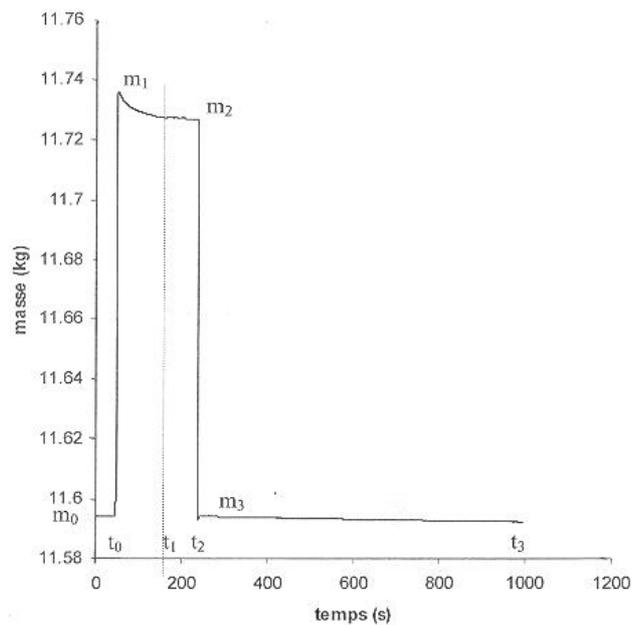
Onde: “t” é o índice relativo ao instante t de fritura;

“o” é o índice relativo ao instante inicial.

O teor de água durante a fritura é expresso em função do teor de matéria seca inicial ( $W_s$ ) que pode ser expresso também, utilizando os valores de massa registrados pela balança durante a fritura, pela fórmula:  $W_s = (W_o / (1 - W_o)) - ((M_{fo} - M_{ft}) / (1 * W_o) * M_o)$

Onde:  $M_{fo}$  é a massa da fritadeira com o suporte e a amostra no instante inicial;  $M_{ft}$  é a massa da fritadeira com o suporte e a amostra em cada instante “t”.

Para melhor visualização do que é exposto acima, apresenta-se a figura 8:



**Figura 8:** Evolução da massa do sistema durante a fritura.

$T_0$  = imersão do suporte com maçã no banho de óleo da fritadeira;  $t_1$  = retirada do suporte com o *chips* de maçã;  $M_0$  = massa da fritadeira com óleo;  $M_1$  = massa do sistema: fritadeira + óleo + suporte + amostra no instante inicial;  $M_2$  = massa do sistema: fritadeira + óleo + suporte + amostra no instante final;  $M_3$  = massa da fritadeira com o óleo após a retirada do suporte com a amostra. Adaptado de: Nohad (2000).

O processo apresentado na figura 8 pode ser dividido em 3 etapas para ser compreendido melhor:

1<sup>a</sup>) É onde o óleo é colocado na fritadeira. Esta medida corresponde à massa inicial do sistema (suporte da fritadeira + fritadeira + óleo + agitador). Observam-se variações da ordem de 0,1 g decorrentes de perturbações devido ao funcionamento do agitador no centro do banho de óleo para homogeneizar a temperatura.

2<sup>a</sup>) No instante  $t_0$ , o suporte com as fatias de maçã é imerso no óleo e a massa do sistema aumenta bruscamente. Durante a imersão (entre os instantes  $t_0$  e  $t_1$ ), a fritura acontece e constata-se uma diminuição da massa que representa a quantidade de água evaporada saindo do sistema. Ao fim do processo, quando praticamente toda a água existente já foi evaporada, a massa do sistema se estabiliza.

3<sup>a</sup>) No instante  $t_1$ , o suporte contendo as fatias de maçã é retirado do óleo. A massa do sistema diminui bruscamente. Constata-se que a massa  $M_3$  é ligeiramente inferior a massa  $M_0$  devido ao óleo que é removido pelas amostras e pelo suporte que estavam imersos.

#### ***3.2.4.4.Plano de Trabalho***

##### **3.2.4.4.1. Estudo da Vaporização da Água em Diferentes Condições de Temperatura e Pressão:**

O plano de trabalho traçado para o estudo das cinéticas de vaporização da água durante o processo de fritura, em diferentes condições de temperatura e pressão, levou em consideração a menor pressão (30kPa) capaz de ser obtida no equipamento utilizado sem explosão (devido ao volume ocupado por 1g de água evaporada em pressões reduzidas que provocavam pequenas explosões dentro da fritadeira e com isto jogavam o óleo para fora da mesma, alterando assim o valor inicial da massa de óleo) .

O estudo foi dividido em dois blocos, cada um com quatro ensaios. Os ensaios em cada bloco apresentaram uma diferença entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo no ensaio igual (58 ou 29°C).

Tentou-se manter os mesmos valores de pressão. Considerando-se a diferença de 58 ou 29°C e as pressões, foram determinadas os valores da temperatura do óleo em cada ensaio (com a ajuda de um diagrama de fase, que indica a temperatura de ebulição da água em função da pressão).

O plano de trabalho utilizado no estudo das cinéticas de evaporação em diferentes condições de temperatura e pressão é apresentado na tabela 10:

**Tabela 10:** Condições de temperatura e pressão dos ensaios para o estudo das cinéticas de vaporização.

Ensaio	$\Delta T$ (°C)	T óleo (°C)	T sat (°C)	D. ebul. (°C)	T ebul (°C)	P (kPa)	P rel. (bar)
1	58	160	102	2	100	101	0,00
2	58	140	82	2	80	47	- 0,53
3	58	128	71	2	70	30	- 0,70
4	58	120	62	2	60	20	- 0,80
5	29	131	102	2	100	101	0,00
6	29	112	83	2	81	50	- 0,50
7	29	100	71	2	70	30	- 0,70
8	29	91	62	2	60	20	- 0,80

$\Delta T$  = diferença entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo;

T = temperatura;

T. sat. = temperatura de saturação da água na maçã;

D. ebul. = diferença ebuliométrica (entre as temperaturas de saturação e de ebulição da água em frutas);

T. ebul. = temperatura de ebulição da água na maçã;

P = pressão absoluta;

P rel. = pressão relativa.

O mesmo planejamento foi utilizado para os ensaios com a maçã *in natura* e osmoticamente impregnada para avaliar a influência do teor de sólidos incorporados pela fruta durante o processo de impregnação.

#### 3.2.4.4.2. Estudo do Efeito de Pressão Reduzida na Incorporação de Óleo:

O plano de trabalho utilizado para estudar o efeito da redução da pressão sobre a incorporação de óleo foi elaborado de modo que a temperatura dos ensaios fosse a mesma para que as diferenças entre as pressões fossem a única variável do planejamento. No entanto, como a temperatura de ebulição da água varia com a variação da pressão, a diferença entre a temperatura de saturação e a

temperatura do óleo também se apresentou como uma variável. Mas esta variação pode ser desprezada segundo Vitrac *et al.* (2000), uma vez que constatou-se que a temperatura não influi de maneira significativa na incorporação de óleo durante o processo de fritura e conseqüentemente a diferença entre a temperatura de saturação e a temperatura do óleo também não influi.

O plano de trabalho utilizado para o estudo do efeito da pressão reduzida na incorporação de óleo no processo de fritura é apresentado na tabela 11:

**Tabela 11:** Condições de temperatura e pressão nos ensaios para o estudo do efeito da pressão reduzida na incorporação de óleo no processo de fritura.

$\Delta T$ (°C)	T óleo (°C)	T sat (°C)	D. ebul. (°C)	T ebul (°C)	P (kPa)	P rel. (bar)
58	160	102	2	100	101	0
78	160	82	2	69	30	- 0,7

$\Delta T$  = diferença entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo;

T = temperatura;

T. sat. = temperatura de saturação da água na maçã;

D. ebul. = diferença ebulliométrica (entre as temperaturas de saturação e de ebulição da água em frutas);

T. ebul. = temperatura de ebulição da água na maçã;

P = pressão absoluta;

P rel. = pressão relativa.

Em cada ensaio foram analisados os teores de óleo e umidade nos tempos 30, 50, 90 e 180 segundos. Para cada tempo foram realizados ensaios em duplicata e as análises de umidade e lipídeos foram feitas em triplicata.

O mesmo planejamento foi utilizado para os ensaios com a maçã *in natura* e osmoticamente impregnada para avaliar a influência do teor de sólidos incorporados pela fruta durante o processo de impregnação.

### 3.2.5. Processamento: Impregnação Osmótica para o Processo de Fritura

A impregnação osmótica das maçãs foi conduzida em temperatura de 40°C por 25 horas em xarope de sacarose a 65°Brix na proporção de 4:1 (xarope : fruta), para que as fatias de maçã entrassem em equilíbrio com o xarope e ficassem saturadas.

Com a impregnação as fatias de maçã apresentaram um encolhimento e para serem colocadas no suporte de fritura era preciso que apresentassem o

mesmo tamanho que a maçã não impregnada. Por isto testou-se varias dimensões para o corte antes da impregnação, optando-se por corta-la nas dimensões de: 3 X 42 X 48mm.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. AVALIAÇÕES COM A FRITADEIRA CROYDON F-25

#### 4.1.1. Caracterização do Tipo de Fritura

O processo de fritura pode ser classificado em função das dimensões do equipamento usado. Conhecendo-se o tipo de fritura sabe-se quais serão as principais reações que predominam no óleo durante o processo. Na fritura superficial predominam as reações oxidativas e termoxidativas, uma vez que as reações oxidativas se dão essencialmente na interface óleo/ar, enquanto que as reações térmicas predominam na fritura profunda. Além disto, os dois tipos de fritura também se diferenciam quanto ao aproveitamento do óleo empregado, já que na fritura profunda o óleo pode ser reutilizado uma dezena de vezes sem provocar qualquer alteração prejudicial ao produto, o que não ocorre na fritura superficial (Graille, 1997).

De acordo com Guillaumin (1973, *apud* Graille, 1997) que propõe o cálculo do fator R (definido como a relação da superfície - S- do banho medida em  $\text{dm}^2$  e o volume de óleo expresso em  $\text{dm}^3$ ), se este fator estiver expresso em até 1,5 a fritura é considerada profunda, caso o contrário é considerada superficial.

Cálculo do fator R proposto por Guillaumin (1973):

$$R = \frac{\text{Superfície da fritadeira}}{\text{Volume de óleo}} \quad (\text{dm}^2)$$

$$\text{Volume de óleo} \quad (\text{dm}^3)$$

$$\text{Superfície da fritadeira Croydon - F25} = 10,2 \text{ dm}^2$$

$$\text{Volume de óleo} = 12 \text{ dm}^3$$

$$R = 0,85$$

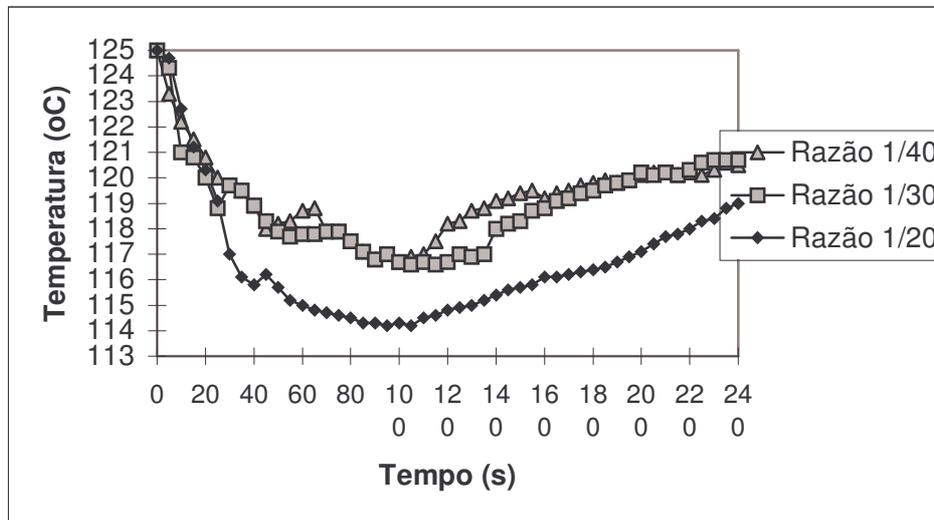
Sendo o valor de R inferior a 1,5, conclui-se que a fritadeira Croydon F-25 é um equipamento de fritura profunda e apresenta esta característica quando utilizada com um volume de até  $7 \text{ dm}^3$  de óleo ( $R=1,46$ ).

#### 4.1.2. Perfil de Temperatura do Óleo e Determinação da Razão Óleo: Produto

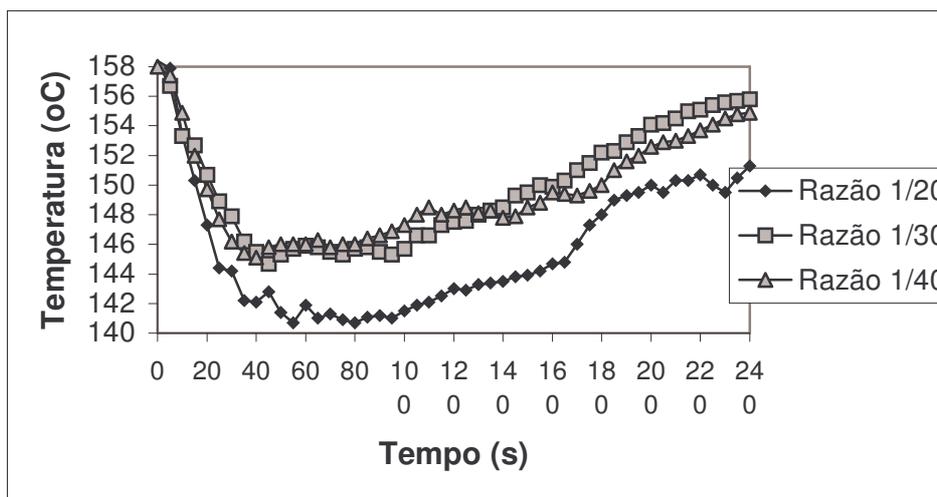
##### 4.1.2.1. Produto *in natura*

A partir dos valores da temperatura do óleo na fritadeira, no decorrer de 4 minutos de fritura da maçã *in natura*, foi construído o perfil de temperatura da gordura especial para fritura *cukin fry* na fritadeira nas temperaturas iniciais da gordura de 125, 158 e 185°C, utilizando-se as razões de produto / óleo de 1/20, 1/30 e 1/40.

Estes perfis são apresentados nas figuras 9, 10 e 11 respectivamente:



**Figura 9:** Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã *in natura* ( inicial 125°C)



**Figura 10:** Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã *in natura* (temperatura inicial 158°C)

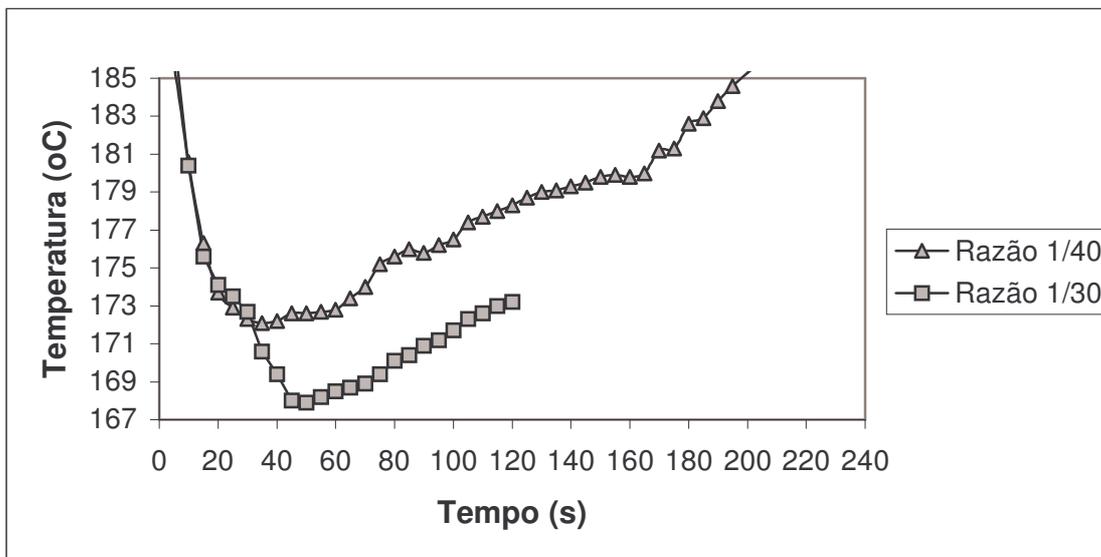


Figura 11 : Perfil de temperatura do óleo na fritura de maçã *in natura* (temperatura inicial 185°C)

Nas figuras 9, 10 e 11 observa-se que após a colocação do material na fritadeira há uma queda de temperatura até aproximadamente 40 segundos de processamento a partir da qual se inicia a recuperação da mesma. Basicamente, quando maior a massa colocada na fritadeira (menor razão de produto:óleo; lembrando que as razões de 1/20, 1/30 e 1/40 representam respectivamente massas de 500, 335 e 250g) maior é a queda de temperatura e conseqüentemente mais lenta é a recuperação da mesma.

Nas temperaturas de 125 e 158°C nota-se que decorridos aproximadamente 1/3 do tempo de processo a temperatura para as razões de 1/30 e 1/40 já não se apresentam tão diferentes e a razão de 1/30 na temperatura de 150°C ultrapassa a temperatura da razão de 1/40. Este efeito provavelmente se deve à inércia do processo na recuperação da temperatura.

O material frito na temperatura inicial de 125°C apresentou-se com um aspecto de “cozido” e com uma umidade muito alta, portanto decidiu-se usar como a menor temperatura no delineamento experimental e na determinação do perfil de temperatura do óleo para um material parcialmente desidratado à temperatura de 140°C. Já o material frito na temperatura de 185°C apresentou-se queimado, deste

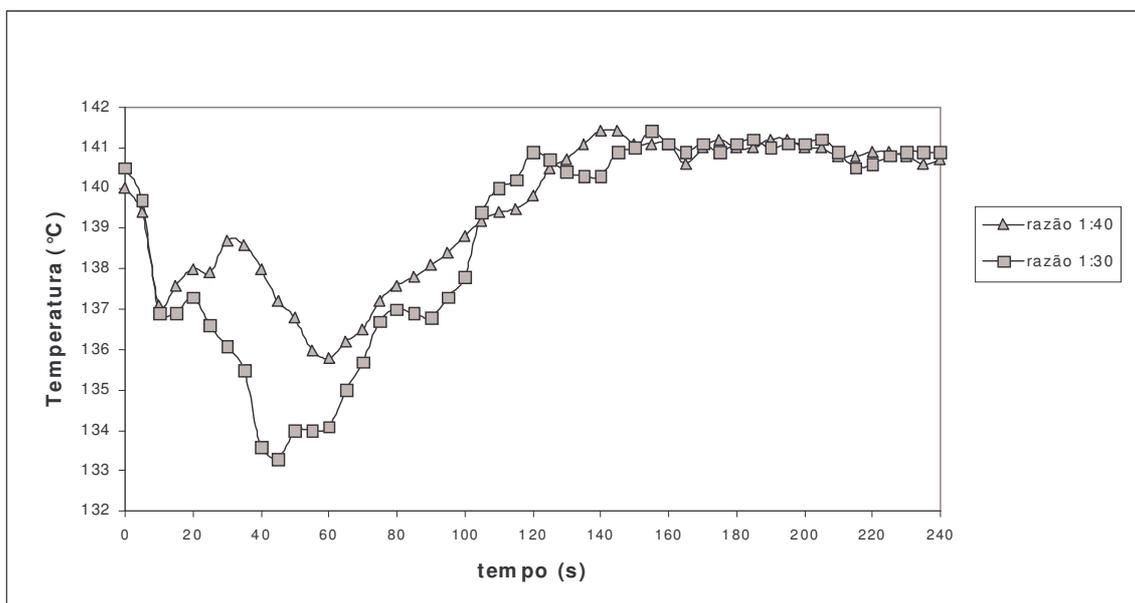
modo não se determinou o teor de açúcares totais na razão de 1/20 e decidiu-se diminuir o tempo de fritura para 3,5 minutos.

#### 4.1.2.2. Produto Desidratado Osmoticamente

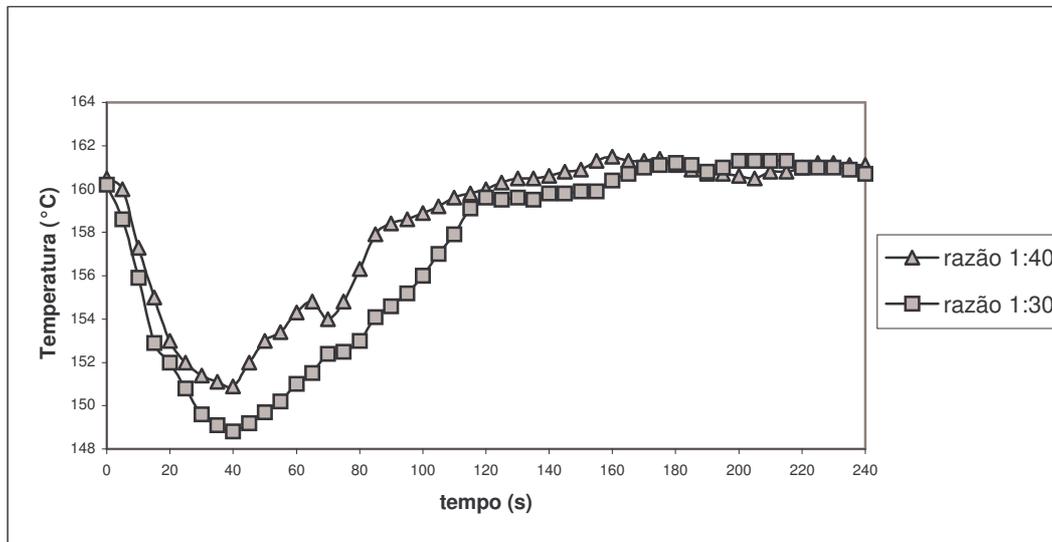
O perfil de temperatura depende da umidade inicial do produto. Como a manga e a maçã osmoticamente desidratadas apresentam valores similares de umidade, utilizou-se nestes testes preliminares a manga como matéria-prima uma vez que se desenvolveu este estudo juntamente com outra tese de doutorado cuja matéria-prima é a manga. Utilizou-se para o perfil de fruta *in natura* a maçã e para o perfil de fruta osmoticamente desidratada a manga.

A partir dos valores da temperatura do óleo de fritura, no decorrer de 3,5 minutos de fritura de manga osmoticamente desidratada, foi construído o perfil de temperatura do óleo nas temperaturas de 140, 160 e 180°C, utilizando-se as razões de produto/óleo de 1/30 e 1/40.

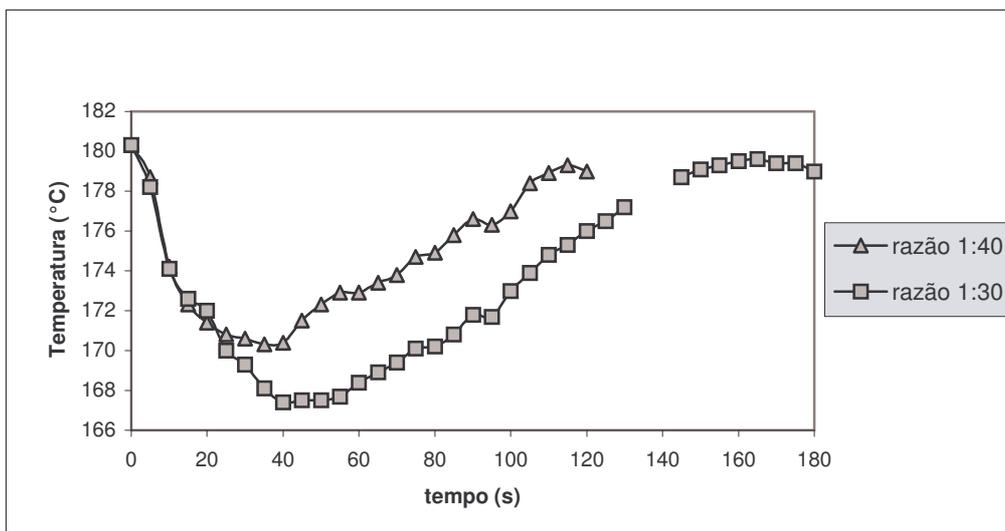
Estes perfis são apresentados nas figuras 12, 13 e 14 respectivamente:



**Figura 12:** Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada (temperatura inicial 140°C)



**Figura 13 :** Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada. (temperatura inicial 160°C)



**Figura 14:** Perfil de temperatura do óleo na fritura de manga osmoticamente desidratada (temperatura inicial 180°C)

Nas figuras 12, 13 e 14 observa-se que após a colocação do material na fritadeira há uma queda de temperatura até aproximadamente 40 segundos de processamento a partir de então começa uma recuperação da mesma. Esta queda de temperatura no entanto é menor para o produto pré-desidratado osmoticamente do que para o produto *in natura* (maior umidade) uma vez que a energia requerida para o aquecimento e evaporação da água é menor. Basicamente, quanto maior a massa colocada na fritadeira (razão de produto:óleo;

lembrando que as razões de 1/30 e 1/40 representam respectivamente massas de 335 e 250g) maior, é a queda de temperatura.

Nas temperaturas de 125 e 158°C nota-se que decorridos aproximadamente 1/3 do tempo de processo a temperatura para as razões de 1/30 e 1/40 já não se apresentam tão diferentes e a razão de 1/30 na temperatura de 150°C ultrapassa a temperatura da razão de 1/40. Este efeito provavelmente se deve à inércia do processo na recuperação da temperatura.

#### ***4.1.2.3. Determinações de Ácidos Graxos Livres no Óleo***

Para verificar a influência das frituras na qualidade do óleo foi feita análise de ácidos graxos livres na gordura para fritura *cukin fry* sem uso e na gordura submetida às frituras dos materiais com e sem pré-secagem osmótica utilizadas na determinação do perfil de temperatura da fritadeira (3 frituras a 125°C + 3 frituras a 158°C + 2 frituras a 185°C para o material sem pré-secagem osmótica e 2 frituras a 140°C + 2 frituras a 160°C + 2 frituras a 180°C para o material com pré-secagem osmótica).

O método utilizado não detectou aumento de ácidos graxos livres, mostrando que a gordura não apresentou variações em sua composição suficientes para alterá-la num nível perceptível pelo método (0,01).

Conclui-se então que os compostos transferidos à gordura pelo material nela frito não alteraram sua qualidade no que diz respeito aos ácidos graxos livres, parâmetro essencial a ser analisado quando trata-se de fritura por imersão de um material com alto teor de umidade (Pérez-Camino *et al.*, 1987).

## ***4.2. Estudo da Viabilidade de Reutilização do Óleo Baseado nas Características do Produto Frito***

### ***4.2.1. Determinações no Produto***

Na tentativa de se verificar a possibilidade de reutilização do óleo baseado nas características dos *chips* de frutas foram realizadas diversas análises no material advindo de sucessivas frituras em um mesmo óleo nas mesmas condições de processo. Foram realizadas 15 frituras de 250g de material

(proporção de material e óleo de 1:40) na temperatura de 160°C por 3,5 minutos e o material advindo das 1<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup> e 15<sup>a</sup> frituras foi analisado para se verificar a influência do óleo reutilizado nas características do produto final.

#### 4.2.1.1. Sólidos Totais e Lipídeos

Os valores das determinações de sólidos totais e lipídeos no material frito são apresentados na tabela 12:

Tabela 12: **Sólidos totais e lipídeos no material submetido à pré-secagem osmótica e frito.**

Produto	Sólidos Totais (%)	Lipídios (%)
Desidratado	31,88 ± 0,11	0,29 ± 0,03
Fritura 1	80,25 ± 0,30	22,25 ± 0,08
Fritura 5	79,92 ± 0,28	26,29 ± 0,39
Fritura 10	79,47 ± 0,29	22,70 ± 0,13
Fritura 15	78,26 ± 0,16	24,17 ± 0,03

Observa-se que a variação nos teores de sólidos totais (Tabela 12) no material frito não tem relação com o número de frituras sucessivas no mesmo óleo, ou seja não há crescimento ou decréscimo proporcional ao aumento do número de frituras, a variação destes valores é aleatória.

Os valores de lipídios no material frito variaram de 22,70 a 26,29% e não tem relação com o aumento do número de frituras no mesmo óleo, a variação destes valores é aleatória.

#### 4.2.1.2. Análises Instrumentais de Cor

Os valores médios das determinações de cor no material frito são apresentados na tabela 13:

Tabela 13: **Valores médios de L\* , a\* , b\* , ΔE\* e ΔC\* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) para o material desidratado e frito.**

Produto	L*	a*	b*	ΔC*	ΔE*
Desidratado	53,62 <sup>a</sup>	12,03 <sup>a</sup>	45,40 <sup>a</sup>		
Fritura 1	37,50 <sup>b</sup>	9,49 <sup>b</sup>	18,35 <sup>b</sup>	-26,31 <sup>a</sup>	31,59 <sup>a</sup>
Fritura 5	38,80 <sup>b</sup>	10,97 <sup>b</sup>	20,73 <sup>b</sup>	-23,51 <sup>a</sup>	28,79 <sup>a</sup>
Fritura 10	39,07 <sup>b</sup>	10,70 <sup>b</sup>	20,34 <sup>b</sup>	-23,98 <sup>a</sup>	29,00 <sup>a</sup>
Fritura 15	38,14 <sup>b</sup>	10,32 <sup>b</sup>	18,76 <sup>b</sup>	-25,55 <sup>a</sup>	30,85 <sup>a</sup>

Obs: Valores em uma mesma coluna com letras sobrescritas iguais não apresentam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O valor do parâmetro  $L^*$  (luminosidade) no material desidratado é de 53,62 e no material frito variaram de 37,5 a 39,07, esta variação indica uma menor luminosidade após o processo de fritura; observa-se ainda que a variação entre os produtos advindos de frituras diferentes não se apresentam significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância estatística.

O mesmo acontece para os parâmetros de cromaticidade ( $a^*$  e  $b^*$ ), observando-se a variação destes quando se compara o material desidratado com o material frito, porém entre as frituras a diferença não é significativa.

Conseqüentemente, as variações da parte cromática da cor ( $\Delta C^*$  intensidade da diferença da parte cromática da cor entre dois objetos, onde não há participação da luminosidade –  $L^*$ ) e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) entre as amostras fritas e o material desidratado apresentaram-se próximas e não significativas ( $\Delta C^*$  variando de 23,51 à 26,31 e  $\Delta E^*$  variando de 28,78 à 31,59).

Tanto para a luminosidade ( $L^*$ ) quanto para os parâmetros de cromaticidade, não houve relação de suas variações com o número de frituras sucessivas no mesmo óleo.

Mais uma vez observa-se que a variação dos parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) não tem relação com aumento do número de frituras no mesmo óleo (limite de 15 frituras no mesmo óleo), a variação destes valores é aleatória e não significativa.

#### **4.2.2. Determinações no Óleo**

Os efeitos do aquecimento do óleo e dos materiais que lhe são transferidos pelo produto durante a fritura por imersão são de grande interesse para os consumidores.

##### ***4.2.2.1. Ácidos Graxos Livres***

A acidez é uma medida da extensão da hidrólise que libera ácidos graxos livres das ligações ésteres. Deve-se observar que a acidez encontrada no óleo não se refere apenas aos ácidos graxos formados durante o processo de fritura como também aqueles inicialmente presentes no óleo antes do aquecimento e os extraídos dos materiais que estão sendo fritos.

Na tabela 14 são apresentados os valores de ácidos graxos livres no óleo sem uso e no mesmo óleo submetido a fritura sucessivas:

**Tabela 14: Valores de ácidos graxos livres (AGL) no óleo sem uso e após algumas frituras.**

	Óleo sem uso	5 <sup>a</sup> Fritura	10 <sup>a</sup> Fritura	15 <sup>a</sup> Fritura
AGL (% palmítico)	0,05	0,06	0,07	0,07

A variação de AGL no óleo apresentou-se relacionada ao aumento do número de frituras, uma vez que com o seu aumento estes valores de AGL também aumentaram, mostrando o efeito do aquecimento do óleo e dos materiais que lhe foram transferidos durante a fritura. No entanto esta variação mostrou-se pequena, em 15 frituras sucessivas na temperatura de 160°C os valores de AGL variaram de 0,05 a 0,07.

Pérez-Camino *et al.* (1987) observaram que em frituras cujo produto frito apresenta elevado teor de umidade a correlação entre valores de ácidos graxos livres e tempo de fritura é superior a 0,9, devido ao desenvolvimento prioritário das reações hidrolíticas confirmando a validade desta determinação como método de controle da qualidade do óleo.

Não existe no Brasil legislação específica para AGL em óleo. Na Alemanha e na Áustria os limites aceitáveis são de 2,5% e na Bélgica de 5% (Athanas, 1998).

Baseando-se nas legislações destes países, o valor encontrado para AGL após 15 frituras sucessivas em óleo de palma (0,07%) está dentro e bem abaixo dos limites aceitáveis (2,5 e 5%) e apresenta-se próprio para o consumo.

### **4.3. Testes Preliminares**

#### **4.3.1. Influência do Descascamento no Processo de Desidratação Osmótica**

Os resultados obtidos na desidratação osmótica de fatias de maçã de 3 mm de espessura, encontram-se na tabela 15.

Tabela 15: Valores de perda de peso (PP), perda de umidade (PU), incorporação de sólidos (IS) e sólidos totais (ST) em maçãs osmoticamente desidratadas com casca e sem casca.

(%)	Com casca	Sem casca
PP	34,38 <sup>a</sup>	34,92 <sup>a</sup>
PU	43,62 <sup>a</sup>	44,22 <sup>a</sup>
IS	14,11 <sup>a</sup>	13,90 <sup>a</sup>
ST	27,81 <sup>a</sup> ± 0,04	27,99 <sup>a</sup> ± 0,01

Obs: Médias em uma mesma linha que possuam letras sobrescritas iguais não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Não foram observadas diferenças significativas ao nível de 5% entre as amostras de maçã desidratadas em xarope de sacarose a 65°Brix por 2 horas com e sem casca.

Destes resultados conclui-se que a etapa de descascamento da maçã não apresenta influência significativa na eficiência da desidratação osmótica, provavelmente devido à grande superfície de troca das fatias mesmo com a presença da casca.

Assim sendo, a etapa de descascamento e remoção da parte central não se fazem necessárias.

#### 4.3.2. Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Desidratação Osmótica

Os produtos obtidos a partir de cada um dos processos de desidratação osmótica utilizando diferentes antioxidantes foram submetidos à análise instrumental de cor após uma hora e 24 horas do término do processo. Os resultados destas determinações são apresentados na tabela 16:

Tabela 16: Valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$  (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) para maçã *in natura* e osmoticamente desidratada com diferentes combinações de antioxidantes após 1 e 24 h do término do processo.

Amostras	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta E^*$
<i>In natura</i>	83,80 <sup>e</sup>	0,02 <sup>e</sup>	26,79 <sup>e</sup>	-	-
1 - 1 hora	75,85 <sup>c,d</sup>	4,97 <sup>c,d</sup>	30,44 <sup>c,d</sup>	3,90 <sup>b</sup>	9,97 <sup>b</sup>
1 - 24 horas	66,60 <sup>a</sup>	9,92 <sup>a</sup>	36,18 <sup>a</sup>	10,76 <sup>a</sup>	21,99 <sup>a</sup>
2 - 1 hora	84,68 <sup>b,c,d</sup>	0,26 <sup>b,c,d</sup>	30,80 <sup>b,c,d</sup>	3,92 <sup>c</sup>	4,03 <sup>c</sup>
2 - 24 horas	82,53 <sup>b,c</sup>	1,41 <sup>b,c</sup>	31,28 <sup>b,c</sup>	4,56 <sup>b,c</sup>	4,91 <sup>c,b</sup>
3 - 1 hora	84,66 <sup>e</sup>	0,64 <sup>e</sup>	26,04 <sup>e</sup>	-0,71 <sup>c</sup>	1,29 <sup>c</sup>
3 - 24 horas	80,10 <sup>d,e</sup>	3,06 <sup>d,e</sup>	27,87 <sup>d,e</sup>	1,28 <sup>c</sup>	4,94 <sup>c</sup>
4 - 1 hora	78,70 <sup>c,d,e</sup>	4,33 <sup>c,d,e</sup>	28,82 <sup>c,d,e</sup>	2,39 <sup>c,b</sup>	7,01 <sup>b,c</sup>
4 - 24 horas	68,51 <sup>a,b</sup>	9,34 <sup>a,b</sup>	33,70 <sup>a,b</sup>	8,21 <sup>a</sup>	19,22 <sup>a</sup>

Obs <sup>1</sup>: Condições de processamento:

1  $\Rightarrow$  0,25 % de ácido ascórbico;

2  $\Rightarrow$  0,02% de metabissulfito;

3  $\Rightarrow$  0,15% de ácido ascórbico + 0,01 % de metabissulfito;

4  $\Rightarrow$  0,15% de ácido ascórbico + 0,15 % de ácido cítrico.

Obs <sup>2</sup>: Médias em uma mesma coluna que possuam letras sobrescritas iguais, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Obs <sup>3</sup>:  $\Delta C^*$   $\Rightarrow$  diferença de croma;  $\Delta E^*$   $\Rightarrow$  diferença total de cor.

As maiores variações após 24 horas de processamento implicaram em uma diferença de croma ( $\Delta C^*$ - intensidade da diferença da parte cromática da cor onde não há a participação da luminisidade -  $L^*$ ) dos produtos desidratados com o produto *in natura* sempre maior após 24 horas do término do processo que após uma hora. O mesmo se deu com a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) que é sempre maior após 24 horas do processamento; isto indica que o escurecimento enzimático não foi totalmente inativado como uso dos antioxidantes.

Os tratamentos 1 e 4 apresentaram variações em todos os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) após 24 horas de processo quando comparados com 1 hora após o processo (letras diferentes na mesma coluna para 1-1hora e 1-24horas; 4-1hora e 4-24horas). Os tratamentos 2 e 3 não apresentaram variação entre os citados tempos de 1 e 24 horas após o processamento, porém o único tratamento que não se apresentou diferente do material *in natura* foi o 3 (0,15% de ácido ascórbico + 0,01 % de metabissulfito).

Embora apenas o tratamento 3 não tenha se apresentado diferente do material *in natura* após 24 horas do término do processamento, as diferenças de cor e total de cor para os tratamentos dois e três não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O uso da combinação de 0,15% de ácido ascórbico e 0,01% de metabissulfito foi então escolhida para ser usada no processo de desidratação osmótica de maçã pois se apresentou como única combinação capaz de manter-se significativamente não diferente da matéria-prima após 24 horas de processamento e apresentar as menores diferenças de cor e total de cor.

#### 4.3.3. Determinação do Antioxidante a ser Utilizado no Processo de Secagem de Maçã

As maçãs fatiadas na espessura de 3mm foram imersas durante 15 minutos em diversas soluções de antioxidantes.

Retiradas das soluções foi realizado o teste de atividade de peroxidase e as maçãs foram levadas para secagem em estufa por 6 horas na temperatura de 60°C.

Os resultados do uso dos antioxidantes são apresentados na tabela 17:

Tabela 17: **Atividade enzimática em maçãs após a imersão em diferentes antioxidantes.**

Antioxidante	Teste Peroxidase	Estufa
0,01% de Metabissulfito de sódio	-	-
0,02% de Metabissulfito de sódio	+	+
0,03% de Metabissulfito de sódio	+	+
0,15% de Ácido ascórbico + 0,01% de Metabissulfito de sódio	+	-
1% de Ácido cítrico	+	-

OBS: - indica que houve escurecimento enzimático

+ indica que não houve escurecimento enzimático

Embora a combinação de ácido ascórbico com metabissulfito e o ácido cítrico puro tenham sido efetivos no teste de peroxidase, após a secagem houve escurecimento dos produtos, provavelmente pela oxidação do ácido ascórbico e não inativação enzimática completa pelo ácido cítrico.

A concentração de metabissulfito de 0,01% não foi eficiente para prevenir o escurecimento, portanto este antioxidante foi escolhido para ser utilizado na secagem de maçã na concentração de 0,02% (menor concentração que mostrou-se eficiente na prevenção do escurecimento).

#### 4.3.4. Secagem da Maçã

Tendo sido proposto estudar a fritura da maçã após a pré-secagem convencional e por desidratação osmótica, foram construídas as curvas da secagem convencional em estufa, com o objetivo de determinar o tempo de secagem necessário para conseguir um teor de umidade semelhante ao obtido na maçã osmoticamente desidratada (76,5%) e também, posteriormente, para a obtenção de maçãs com 50% de umidade.

##### 4.3.4.1. Curva de secagem da maçã

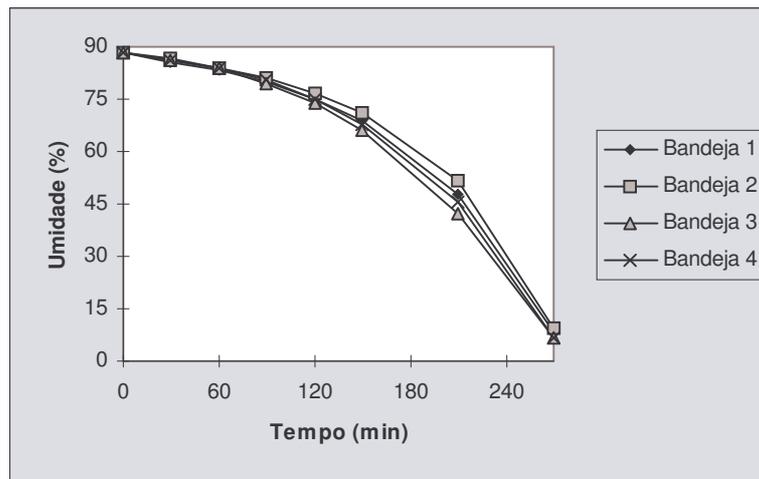
Os resultados obtidos para a construção das curvas de secagem de maçã na temperatura de 50°C (os dados referentes à definição da temperatura encontram-se no Anexo I) na estufa Tecnal, modelo TE 394/2 são apresentados na tabela 18 e a curva de secagem na figura 15:

**Tabela 18: Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem (estufa com circulação de ar) em função do tempo. Temperatura de secagem: 50°C**

Tempo*	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		Bandeja 4	
	M (g)	U (%)						
30	432,77	85,7	436,16	86,42	433,56	86,25	434,16	86,29
60	361,1	83,54	372,98	84,11	364,11	83,62	367,49	83,8
90	295,63	79,89	309,69	80,87	293,53	79,69	302,03	80,29
120	238,43	75,07	252,88	76,57	229,11	73,97	237,47	74,93
150	189,87	68,89	203,47	70,88	176,85	66,28	183,94	67,64
210	104,43	43,07	123,11	51,87	102,78	41,98	109,18	45,48
270	59,86	8,57	65,29	9,25	63,86	6,62	63,78	6,66

\* tempo em minutos

M = massa; U= umidade



**Figura 15:** Curva de secagem de maçã a 50°C

#### 4.3.4.1.1. Obtenção de maçãs com 76,5 % de umidade

As equações construídas a partir dos pontos mais próximos ao valor de umidade desejada apresentam valores de  $R^2$  maiores do que as equações construídas utilizando-se todos os pontos da curva, sendo portanto mais ajustadas.

Assim sendo, tomando-se os valores mais próximos da umidade de 76,5% na tabela 18 e fazendo-se a regressão linear para estes pontos encontra-se as equações apresentadas na tabela 19. Os tempos de secagem necessários para a obtenção de maçã com 76,5% de umidade foram então determinados a partir das equações e são também apresentados na tabela 19.

**Tabela 19: Equações para os 3 pontos mais próximos de umidade de 76,5% nas curvas de secagem de maçã a 50°C e tempo estimado para obtenção desta umidade.**

Bandeja	Equação	Tempo estimado (min.)
1	$U(\%) = -0,0007 * t^2 - 0,0242t + 87,33$	109
2	$U(\%) = -0,0006 * t^2 - 0,0197t + 87,41$	119
3	$U(\%) = -0,001 * t^2 + 0,0182t + 86,11$	108
4	$U(\%) = -0,001 * t^2 - 0,0372t + 85,27$	114

## 4.3.4.1.2. Obtenção de maçãs com 50 % de umidade

Como será discutido posteriormente, não foi possível obter *chips* de maçã com valores de umidade de até 7%, com coloração aceitável a partir da maçã com 76,5% de umidade.

Segundo Vitrac *et al* (1997) os tratamentos de pré-secagem reduzem sensivelmente o teor de óleo e umidade final do produto.

Foi preciso diminuir ainda mais a umidade das maçãs antes de submetê-las ao processo de fritura.

Tomando-se os valores mais próximos da umidade desejada (50%) para cada bandeja (Tabela 18) na temperatura de 50°C e fazendo-se nova regressão linear para estes pontos encontram-se as equações e os tempos apresentados na tabela 20.

**Tabela 20: Equações para os 3 pontos mais próximos da umidade de 50% nas curvas de secagem de maçã a 50°C e tempo estimado para obtenção desta umidade.**

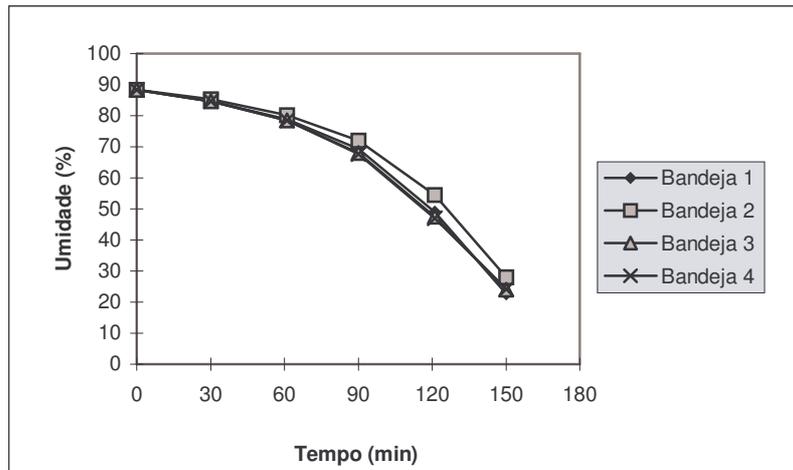
Bandeja	Equação	Tempo estimado (min.)
1	$U(\%) = -0,0015 * t^2 + 0,2043 * t + 72,79$	209
2	$U(\%) = -0,0014 * t^2 + 0,1918 * t + 73,90$	216
3	$U(\%) = -0,0017 * t^2 + 0,1897 * t + 75,00$	189
4	$U(\%) = -0,0014 * t^2 + 0,136 * t + 78,82$	200

No entanto utilizando-se as temperaturas até então testadas, o tempo de secagem seria muito grande (observando-se a tabela acima, o tempo requerido seria de mais de 180 minutos - três horas), comparado ao tempo necessário no processo de desidratação osmótica e maior ainda comparando-se ao processo de fritura subsequente.

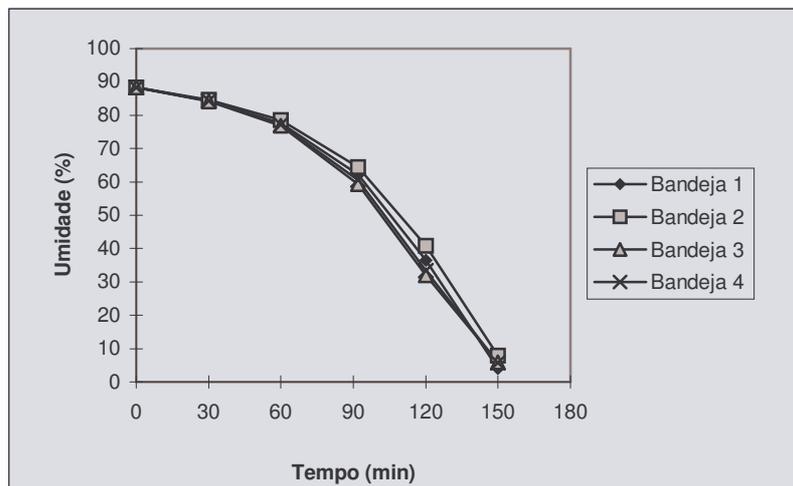
Decidiu-se testar outras temperaturas, que mesmo superiores, não ultrapassem a menor temperatura do processo de fritura.

Foram utilizadas as temperaturas de 70, 100 e 120°C. As tabelas com os valores de massa e umidade da maçã em função do tempo de secagem para cada temperatura encontram-se no anexo II.

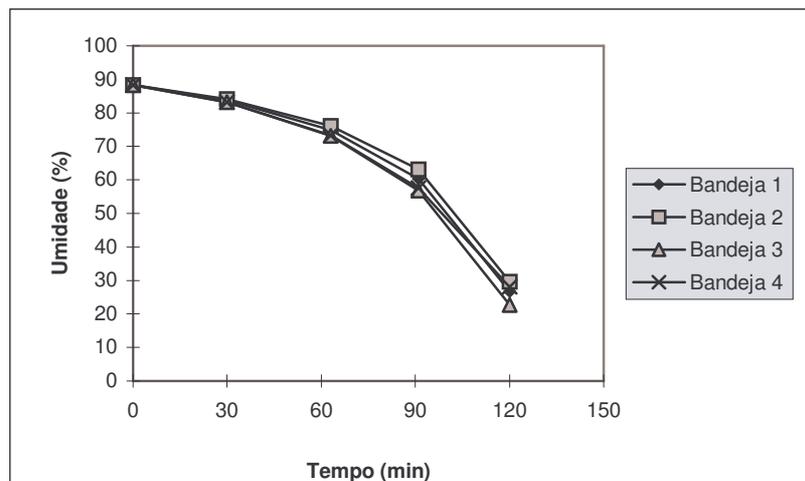
As curvas de secagem para cada temperatura são apresentadas nas figuras 16 a 18.



**Figura 16:** Curva de secagem de maçã a 70°C



**Figura 17:** Curva de secagem de maçã a 100°C



**Figura 18:** Curva de secagem de maçã a 120°C

Tomando-se os valores mais próximos a umidade desejada (50%) para cada bandeja nas temperaturas dos ensaios e fazendo-se a regressão linear para estes pontos encontram-se as equações apresentadas na tabela 21:

**Tabela 21: Equações para os 3 pontos mais próximos da umidade de 50% nas curvas de secagem de maçã nas temperaturas de 70, 100 e 120°C e tempo estimado para obtenção desta umidade.**

Temperatura (°C)	Bandeja	Equação	Tempo estimado (min.)
70	1	$U(\%) = -0,0043 * t^2 + 0,2495 * t + 81,66$	113
	2	$U(\%) = -0,0058 * t^2 + 0,6689 * t + 59,08$	121
	3	$U(\%) = -0,0023 * t^2 - 0,1723 * t + 102,53$	109
	4	$U(\%) = -0,0021 * t^2 - 0,2305 * t + 105,14$	111
100	1	$U(\%) = -0,0074 * t^2 + 0,6436 * t + 65,60$	101
	2	$U(\%) = -0,0068 * t^2 + 0,5932 * t + 67,31$	105
	3	$U(\%) = -0,0071 * t^2 + 0,5331 * t + 70,43$	97
	4	$U(\%) = -0,0075 * t^2 + 0,6134 * t + 67,12$	98
120	1	$U(\%) = -0,0114 * t^2 + 1,2392 * t + 41,92$	97
	2	$U(\%) = -0,012 * t^2 + 1,3813 * t + 36,72$	100
	3	$U(\%) = -0,0105 * t^2 + 1,0365 * t + 49,46$	93
	4	$U(\%) = -0,008 * t^2 + 0,6681 * t + 63,01$	94

Observa-se que não houve muita diferença no tempo estimado de secagem entre as temperaturas de 100 e 120°C; os maiores tempos são de 100 e 105 minutos respectivamente. A diferença aumenta um pouco se comparando à secagem a 70°C: o maior tempo requerido foi de 121 minutos. Esta diferença no entanto não se apresenta muito vantajosa quando se verifica que nas temperaturas de 100 e 120°C houve uma aderência do material à bandeja muito maior do que a observada na temperatura de 70°C.

Desta forma optou-se por utilizar a temperatura de 70°C na obtenção de maçãs com umidade de 50%.

#### 4.3.4.2. Caracterização do produto

A maçã desidrata na temperatura de 70°C, pelo tempo necessário para obtenção de umidade de 50%, foi caracterizada antes de ser submetida ao processo de fritura. Os resultados são apresentados na tabela 22.

Tabela 22: **Determinações na maçã *in natura* e desidratada em estufa (70°C).**

Determinações	Desidratada	<i>in natura</i>
Sólidos Totais (%)	52,00 ± 0,29	15,8 ± 0,07
Umidade (%)	48,00 ± 0,29	84,2 ± 0,07
Teor de óleo (%)	0,07 ± 0,03	0,04 ± 0,02
Ácido ascórbico (mg/100g)	-	0,63 ± 0,14
Acidez total (expresso em % de ácido málico)	0,55 ± 0,02	0,28 ± 0,00
Aa	0,909 ± 0,003	0,987 ± 0,001
°Brix	45,8	13,5
pH	3,96 ± 0,03	3,88
Açúcar não redutor (%)	2,82 ± 2,37	2,32 ± 0,27
Açúcar redutor (%)	14,08 ± 0,73	6,24 ± 0,12
Açúcar total (%)	16,90 ± 3,1	8,67 ± 0,15

#### 4.4. Caracterização da maçã *in natura*

##### 4.4.1. Peso e Dimensões

As determinações de peso, densidade real, comprimento, diâmetros maior e menor e suas respectivas médias e desvios padrões das maçãs tipo 2 utilizadas neste estudo, são apresentadas na tabela 23.

Tabela 23: **Peso e dimensões médias das maçãs tipo 2.**

Determinação	Valor
Peso (g)	183,93 ± 9,59
Diâmetro maior (mm)	75,23 ± 1,6
Diâmetro menor (mm)	42,09 ± 3,2
Comprimento (mm)	71,02 ± 2,9

A legislação vigente para maçãs não estabelece medidas para o comprimento e densidade das frutas, definindo somente faixas para diâmetro e peso para caixas de 18 e 20Kg de maçãs acondicionadas em bandejas e a granel.

As medidas encontrados para diâmetro e peso das frutas analisadas estão de acordo com os valores estabelecidos pela portaria 122 de 30 de março de 1993

do Ministério da Agricultura, Abastecimento e da Reforma Agrária que determina para caixas de 18Kg, com 100 maçãs acondicionadas em bandejas, o diâmetro de 71 à 81mm e peso unitário de 167 à 187g.

#### 4.4.2. Determinações Físicas e Químicas

Com o objetivo de caracterizar a matéria-prima foram realizadas as análises de acidez (expresso em ácido málico), Aa, pH e açúcares não redutores, redutores e totais. A tabela 24 apresenta os valores destas determinações:

Tabela 24: **Valores de acidez, Aa, pH, °Brix e açúcares (não redutores, redutores e totais) na maçã *in natura*.**

Determinação	Maçã <i>in natura</i>
Acidez (expresso em % de ácido málico)	0,161 ± 0,009
Sólidos Totais (%)	15,99 ± 0,92
Umidade (%)	84,01 ± 0,92
Aa	0,983 ± 0,001
°Brix	14,5
pH	4,06 ± 0,01
Açúcares não redutores (%)	4,58 ± 0,65
Açúcares redutores (%)	7,77 ± 1,56
Açúcares totais (%)	12,35 ± 2,21

Aa ⇒ atividade de água.

#### 4.5. Desidratação osmótica

##### 4.5.1. Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos Experimentais

Os resultados das determinações feitas nos produtos advindos dos ensaios do planejamento experimental de desidratação osmótica a pressão ambiente de maçã encontram-se na tabela 25.

Tabela 25: Valores de perda de peso (PP), sólidos totais (ST), incorporação de sólidos (IS), umidade (U) e perda de umidade (PU) em cada ensaio do planejamento experimental.

Ensaio	PP (%)	ST (%)	IS (%)	U (%)	PU (%)
1	31,10	24,75±0,12	6,64	75,25	38,26
2	29,61	23,23±0,05	2,24	76,77	38,69
3	32,92	28,46±0,16	19,37	71,54	39,09
4	28,47	28,61±0,03	27,96	71,39	39,22
5	31,85	23,490±0,15	8,35	76,51	37,93
6	33,18	31,85±0,05	33,08	68,15	45,79
7	34,38	27,81±0,04	14,11	72,19	43,62
8	32,47	27,59±0,09	16,49	72,41	41,79
9 (C)	35,10	27,86±0,06	13,07	72,14	44,27
10 (C)	33,62	28,69±0,06	19,11	71,31	43,65
11 (C)	32,27	28,08± 0,14	18,92	71,92	42,01

(c) Ponto central do planejamento experimental

Os perfis de temperatura do óleo de palma na fritadeira nos ensaios de fritura encontram-se no anexo III

#### 4.5.1.1. Perda de Peso

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na perda de peso podem ser observados na tabela 26.

Tabela 26: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficiente de regressão para cada fator no modelo codificado para perda de peso.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de Regressão
Média	33,6633*	0,8172*	0,0006*	33,6633*
tempo (L)	0,6402	0,5005	0,5879	0,3201
tempo (Q)	-2,3708	0,5957	0,1849	-1,1854
Temperatura (L)	-2,1603	0,5005	0,1636	-1,0801
Temperatura (Q)	-1,4608	0,5957	0,3449	-0,7304
tempo * temp.(L)	-1,4800	0,7077	0,4055	-0,7400

Obs.\* Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear;(Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Nenhum dos fatores apresentou significância estatística ao nível de 95% de confiança, de modo que não existem fatores significativos para a construção do modelo matemático. Assim sendo, não foi possível desenvolver um modelo matemático preditivo para a perda de peso.

#### 4.5.1.2. Incorporação de Sólidos

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na incorporação de sólidos podem ser observados na tabela 27.

**Tabela 27: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficientes de regressão de cada fator no modelo codificado para incorporação de sólidos.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coefficiente de Regressão
Média	17,0064*	1,9809*	0,0133*	17,0064*
tempo (L)	21,2967*	2,4282*	0,0128*	10,6484*
tempo (Q)	-1,3985	2,8993	0,6772	-0,6992
Temperatura (L)	1,8722	2,4138	0,5191	0,9361
Temperatura (Q)	-2,6059	2,8432	0,4561	-1,3029
tempo * Temp. (L)	6,4979	3,4310	0,1987	3,2490

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que apenas o parâmetro tempo linear apresentou efeito significativo e positivo na incorporação de sólidos.

Eliminadas as interações não significativas verificou-se na análise de variância a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 28 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 28: Análise de variância do modelo ajustado para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica.**

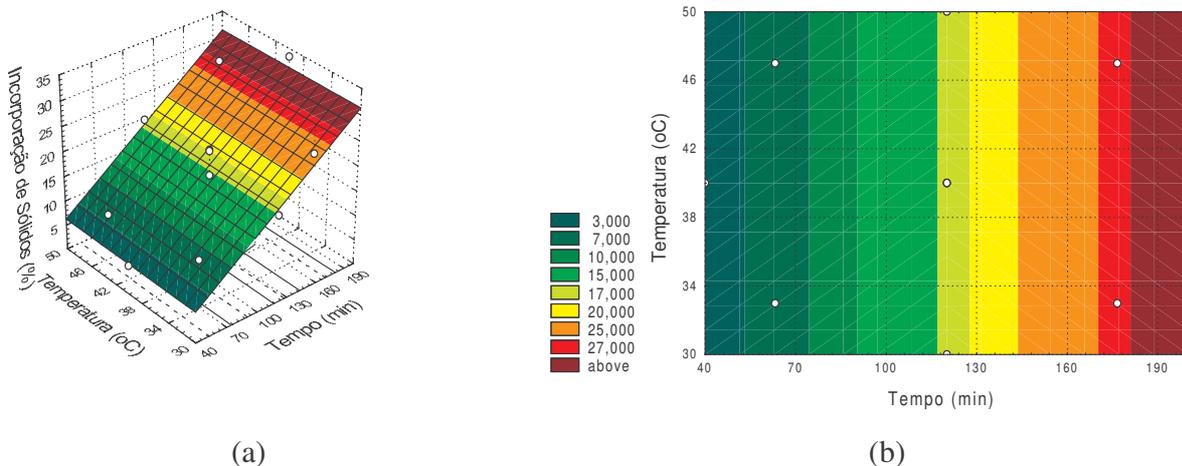
Fatores	SQ	GL	MQ	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tabel.</sub> **
Regressão	905,4065	1	905,4065	82,10*	5,12
Resíduo	99,2478	9	11,0275		
Falta de Ajuste	75,7037	7	10,8148	0,92	19,35
Erro Puro	23,5442	2	11,7721		
Total	1004,6543	10			

Obs: \* \*\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .  
\*Valores que se apresentam significativos ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

SQ  $\Rightarrow$  Soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  Grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  Média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 90,12%, sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.



**Figura 19:** (a) Superfície de resposta para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica de maçã.

(b) Superfície de contorno para incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica de maçã.

No que diz respeito a incorporação de sólidos esta é dependente principalmente das características da microestrutura biológica inicial da matéria-prima (Islam & Flink, 1982; Lenart & Flink, 1984) e das modificações que esta estrutura pode sofrer devido a pré-tratamentos, manuseio e ao próprio processamento (temperatura, agitação, tempo) o que pode acarretar na alteração da permeabilidade e seletividade nas estruturas dos tecidos.

Reynes *et al.* (1997) observaram em trabalhos com abacaxi na temperatura de 40°C e agente osmótico a 50°Brix, um aumento na taxa de incorporação de sólidos ao longo do tempo variando de 2 a 7 horas.

A tabela 27 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo é feito abaixo sua apresentação decodificada:

$$IS (\%) = -6,991 + 18,79 \cdot 10^{-2} t$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (min).

#### 4.5.1.3. Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação para umidade podem ser observados na tabela 29.

**Tabela 29: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística (p) e coeficientes de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coefficiente de Regressão
Média	71,8017*	0,2492*	0,0000*	71,8017*
tempo (L)	-5,2359*	0,3055*	0,0034*	-2,6179*
tempo (Q)	1,2587	0,3648	0,0747	0,6293
Temperatura (L)	0,4169	0,3037	0,3035	0,2084
Temperatura (Q)	1,1832	0,3577	0,0805	0,5916
tempo * Temp. (L)	-0,8360	0,4317	0,1924	-0,4180

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que apenas o parâmetro tempo linear apresentou-se efeito significativo e negativo na umidade (ou seja, um aumento deste fator acarreta uma diminuição na umidade). Desta forma o fator utilizado no modelo ajustado influencia negativamente a umidade de uma maneira linear.

Eliminadas as interações não significativas, verificou-se na análise de variância a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 30 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 30: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de desidratação osmótica.**

Fatores	SQ	GL	MQ	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tabel.**</sub>
Regressão	23,6860	1	23,6860	4,75	5,12
Resíduo	44,8988	9	4,9888		
Falta de Ajuste	29,5261	7	4,2180	0,55	19,35
Erro Puro	15,3727	2	7,6863		
Total	68,5848	10			

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

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

SQ  $\Rightarrow$  Soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  Grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  Média quadrática.

Observa-se que o modelo não apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança embora a falta de ajuste também tenha sido não significativa no mesmo nível de confiança.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 84,07%, sendo considerado preditivo pois não apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

#### 4.5.1.4. Perda de Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação para perda de umidade podem ser observados na tabela 31.

Tabela 31: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para perda de umidade no processo de desidratação osmótica.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de Regressão
Média	43,3116*	0,6756*	0,0002*	43,3116*
tempo (L)	3,1151	0,8275	0,0639	1,5576
tempo (Q)	-3,1841	0,9849	0,0838	-1,5921
Temperatura (L)	-0,5035	0,8275	0,6048	-0,2517
Temperatura (Q)	-2,3407	0,9849	0,1406	-1,1704
tempo * Temp. (L)	-0,1497	1,1702	0,9099	-0,0749

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Nenhum dos fatores apresentou significância estatística ao nível de 95% de confiança, de modo que não existem fatores significativos para a construção do modelo matemático, assim sendo, não foi possível desenvolver um modelo matemático preditivo para a perda de umidade.

#### 4.5.2. Otimização dos Processos de Desidratação Osmótica

Na otimização do processo de desidratação osmótica deseja-se maximizar a perda de umidade e minimizar a incorporação de sólidos. Mas a maximização da perda de umidade conduz a um aumento na incorporação de sólidos, por outro lado, a minimização da incorporação de sólidos conduz a uma pequena perda de peso.

No entanto quando analisados os resultados dos ensaios do delineamento experimental da desidratação osmótica através do programa STATISTICA para perda de peso e perda de umidade, nenhum dos fatores apresentou significância estatística ao nível de 95% de confiança, de modo que não existiram fatores significativos para a construção dos modelos matemáticos. Este dado pode ser confirmado na análise de variância ao mesmo nível de significância onde através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) não apresentou regressão significativa embora um modelo tenha apresentado uma falta de ajuste também não significativa no mesmo nível de confiança.

Assim, não foi possível a modelagem e otimização do processo de desidratação osmótica de maçã nas condições estudadas provavelmente devido a grande superfície de transferência de massa das fatias em função da pequena espessura das mesmas. Islam & Flink (1982), Lenart & Flink (1984) e Lerici *et al.* (1985) observaram que a transferência de massa pode ser aumentado até certo nível pela redução do tamanho do material, acima do qual os sólidos incorporados aumentam. Entretanto para Giangiacomo *et al.* (1987) a influência das dimensões dos pedaços deve-se basicamente à relação entre o volume e a área de superfície; quanto maior for a área do material, maior será a taxa de desidratação, porém o ganho de sólidos seria menos influenciado por este fator.

No que diz respeito à incorporação de sólidos no processo aqui estudado, à medida em que se aumenta o tempo de processamento, aumenta-se também esta incorporação uma vez que o tempo exerce uma influência positiva (Tabela 28). Este aumento na incorporação de sólidos ao longo do tempo de processamento foitambémobservado por Islam & Flink (1982), Raoult-Wack (1994) e Reynes *et al.* (1997).

Mesmo não sendo possível a otimização, o ensaio 5 do planejamento experimental realizado na temperatura de 40°C por 40 minutos proporcionou as condições desejadas para um processo de desidratação osmótica (redução de 30 a 40% de peso do material segundo Ponting *et al.*, 1969; Lerici, 1977; Videv *et al.*, 1990; Raoult-Wack, 1994 em condições de temperatura amenas devido a alterações no tecido e perdas de vitaminas segundo Heng *et al.*, 1990 e baixa

incorporação de sólidos) com 31,85% de perda de peso, 37,93% de perda de umidade e 8,35% de incorporação de sólidos.

Estas condições de tempo e temperatura foram então definidas para o processo da desidratação osmótica da maçã.

#### 4.5.3. Caracterização do Produto

Com o objetivo de caracterizar a matéria-prima e o produto advindo do processo de desidratação osmótica a pressão ambiente e verificar a variação deste produto em relação a matéria - prima foram realizadas as análises de acidez (variou de 0,16 para 0,28 %, expresso em ácido málico, para a fruta *in natura* e no material processado respectivamente), Aa (variando de 0,983 para 0,977), pH (variando de 3,84 para 4,06) e açúcares não redutores, redutores e totais. A tabela 32 apresenta os valores destas determinações:

Tabela 32: Valores de acidez, Aa, pH, °Brix e açúcares (não redutores, redutores e totais) na maçã *in natura* e osmoticamente desidratada a 40°C por 40 minutos.

Determinação	<i>in natura</i>	Desid. 40°C /40min.
Acidez (expresso em % de ácido málico)	0,161 ± 0,009	0,283 ± 0,005
Sólidos Totais (%)	15,99 ± 0,92	23,49 ± 0,15
Umidade (%)	84,01 ± 0,92	76,51 ± 0,15
Aa	0,983 ± 0,001	0,977 ± 0,001
°Brix	14,5	21,75
pH	4,06 ± 0,01	3,84 ± 0,08
Açúc.não redutor (%)	4,58 ± 0,65	10,88 ± 0,23
Açúc.redutor(%)	7,77 ± 1,56	7,95 ± ?
Açúc. total (%)	12,35 ± 2,21	18,83 ± 0,16

Aa⇒ atividade de água.

Nota-se, como era de se esperar num processo de desidratação osmótica, um efeito de concentração dos compostos presentes nos produtos desidratados (valores de acidez, sólidos totais, °Brix e açúcares aumentando e pH diminuindo) e uma diminuição da Aa e umidade quando se compara com a matéria - prima.

#### 4.5.4. Reconsiderações

Como não foi possível a obtenção de *chips* de maçã a partir de maçãs com umidade de 76,5% obtidas por secagem convencional em estufa, considerou-se que não seria também possível a obtenção de *chips* a partir de maçãs osmoticamente desidratada com o mesmo teor de umidade. Portanto, decidiu-se diminuir o teor de umidade das maçãs osmoticamente desidratadas.

Para isto realizaram-se novos ensaios nas temperaturas de 35 e 45°C por 1, 2 e 3 horas. Os resultados destes ensaios encontram-se na tabela 33.

Tabela 33: Valores de sólidos totais, umidade e incorporação de sólidos em maçãs osmoticamente desidratadas em diferentes condições de temperatura e tempo.

Condição	Sólidos Totais (%)	Umidade (%)	Incorporação sólidos (%)
<i>in natura</i>	14,70	85,30 ± 0,07	-
35°C/1h	29,14	70,86 ± 0,17	26,22 ± 0,56
35°C/2h	33,36	66,64 ± 0,20	30,75 ± 0,25
35°C/3h	40,16	59,84 ± 0,16	34,28 ± 0,49
45°C/1h	27,24	72,76 ± 0,14	30,65 ± 0,87
45°C/2h	30,40	69,60 ± 0,16	33,67 ± 0,58
45°C/3h	36,26	63,74 ± 0,18	38,84 ± 0,44

A menor umidade conseguida para as maçãs, de aproximadamente 60%, foi utilizando-se a temperatura de 35°C por 3 horas, obtendo-se ainda um valor de incorporação de sólidos inferior ao mesmo tempo com temperatura de 45°C.

Fixaram-se então estas novas condições (35°C / 3 horas) para o processo de desidratação osmótica da maçã como pré-tratamento ao processo de fritura.

##### 4.5.4.1. Caracterização do desidratado osmótico

A maçã osmoticamente desidratada na temperatura de 35°C por 3 horas foi caracterizada antes de ser submetida ao processo de fritura, o resultado destas determinações encontram-se na tabela 34.

Tabela 34: **Determinações na maçã *in natura* e osmoticamente desidratada na temperatura de 35°C por 3 horas.**

Determinações	Desidratada	<i>in natura</i>
Sólidos Totais (%)	38,38 ± 0,13	15,8 ± 0,07
Umidade (%)	61,62 ± 0,13	84,2 ± 0,07
Incorporação de sólidos (%)	26,68 ± 0,54	-
Teor de óleo (%)	0,09 ± 0,03	0,04 ± 0,02
Acidez total (expresso em % de ácido málico)	0,29 ± 0,01	0,28
Ácido ascórbico (mg/100g)	0,63 ± 0,24	0,63 ± 0,14
Aa	0,969 ± 0,001	0,987 ± 0,001
°Brix	34	13,5
pH	4,22	3,88
Açúcar não redutor (%)	14,96 ± 1,06	2,32 ± 0,27
Açúcar redutor(%)	4,27 ± 0,30	6,24 ± 0,12
Açúcar total (%)	19,23 ± 0,76	8,67 ± 0,15

#### 4.6. Processo de fritura

##### 4.6.1. Ensaio de fritura para maçã *in natura*

De acordo com o planejamento fatorial 2<sup>3</sup> inicialmente determinado para a fritura de maçã *in natura*, tendo por base os parâmetros tempo e temperatura variando respectivamente de 60 a 240 segundos e de 140 a 180°C, os produtos apresentaram-se com teor de umidade elevado, fato este observado pelo comportamento do óleo durante a fritura (muitas bolhas ainda mesmo ao fim do processo). Para se obter uma faixa de estudo onde a água do produto fosse mais removida alterou-se o tempo do planejamento: 60 a 300 segundos.

Os resultados das análises de umidade e teor de óleo, bem como os valores de tempo e temperatura utilizados em cada ensaio para a maçã frita *in natura* encontram-se na tabela 35.

**Tabela 35: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã *in natura*.**

Ensaio	Tempo (seg)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Teor de Óleo(%)
1	85	145,9	68,77 ± 0,17	7,59 ± 0,52
2	85	174,1	57 ± 0,13	12,65 ± 0,25
3	275	145,9	21,01 ± 0,74	35,60 ± 0,98
4	275	174	3,42 ± 0,12	54,78 ± 0,40
5	60	160	73,95 ± 0,35	7,19 ± 0,18
6	300	160	7,66 ± 0,17	50,20 ± 0,21
7	180	140	50,70 ± 0,58	16,80 ± 0,34
8	180	180	18,14 ± 0,40	41,07 ± 0,90
9 (C)	180	160	33,14 ± 0,66	30,11 ± 0,90
10 (C)	180	160	31,55 ± 0,10	29,08 ± 0,10
11 (C)	180	160	35,39 ± 0,59	29,11 ± 0,30
12 (C)	180	160	33,32 ± 0,35	29,40 ± 1,12

Os perfis de temperatura da fritadeira encontram-se no anexo III.

A cor do material frito apresentou uma grande e visível variação dando a impressão de que quando mais escuro, menor o teor de umidade.

Procedeu-se a análise instrumental de cor dos materiais vindos de cada ensaio e constatou-se que realmente quando maior a variação de croma (com relação ao padrão), menor o teor de umidade.

Os resultados das análises instrumentais de cor (parâmetros L\*, a\* e b\*) nos ensaios do planejamento experimental de fritura para maçã *in natura* e os valores de diferença total de cor e diferença de croma ( $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$ ) encontram-se na tabela 36.

Tabela 36: Valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$  (Calibração RSIN, D65/10°, sist CIELAB) nos ensaios do planejamento experimental de fritura de maçã *in natura*.

Ensaio	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
P.	83,81	0,00	26,76	-	-
1	59,21	6,80	24,80	25,60	-3,85
2	49,84	7,86	21,52	35,26	-1,05
3	37,38	8,26	16,43	48,28	-8,37
4	33,19	4,43	4,13	55,63	-20,70
5	60,52	5,86	25,13	24,07	-0,97
6	35,04	6,23	7,45	52,82	-17,05
7	53,72	7,00	21,90	31,27	-3,77
8	28,50	5,10	6,07	59,27	-18,83
9 (C)	39,62	7,60	15,76	46,17	-9,84
10 (C)	36,31	8,67	15,51	49,58	-8,99
11 (C)	41,02	7,90	17,85	46,42	-8,24
12 (C)	38,18	7,66	15,09	47,72	-9,84

Obs:  $L^*$  = luminosidade

$\Delta E^*$  = diferença total de cor em relação ao padrão

$\Delta C^*$  = diferença de croma em relação ao padrão (considera os valores de  $a^*$  e  $b^*$ )

P. = padrão (maçã *in natura*)

(C) = ponto central do planejamento experimental

Observa-se na tabela 36 que os valores de  $L^*$  para as amostras variam de 28,50 a 60,52, tendo o padrão valor de 83,81. Quando menor o valor de  $L^*$  menos luminosidade apresenta amostra sendo portanto mais escura. As amostras mais escuras apresentam valores de  $L^*$  menores (ensaios 4, 6 e 8) e estavam queimadas.

No que diz respeito a cromaticidade, a cor dominante tende ao amarelo amarronzado já que todas as amostras apresentaram valores positivos de  $b^*$  e valores positivos e inferiores de  $a^*$ , com exceção dos ensaios 4, 6 e 8 que por estarem queimados (marrons) apresentam valores pequenos de  $b^*$ . Os valores de  $a^*$  variaram de 4,43 à 8,67 tendo o padrão o valor de 0,00. Os valores de  $b^*$  variaram de 4,13 à 25,13 tendo o padrão o valor de 26,76.

As amostras com diferença de cor total maiores, com valores superiores a 52, são as dos ensaios 4, 6 e 8.

#### 4.6.1.1.Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos

A partir dos resultados das análises dos materiais processados em cada ensaio partiu-se para a construção dos modelos matemáticos e a sua análise estatística.

Verificando a significância estatística dos fatores a  $p \leq 0,05$ , montando-se a tabela de anova e avaliando o valor de  $R^2$ , é possível verificar se os modelos matemáticos desenvolvidos podem ser considerados preditivos.

##### 4.6.1.1.1.Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã *in natura* a pressão ambiente podem ser observados na tabela 37.

**Tabela 37: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã *in natura* a pressão ambiente.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	33,8234*	0,7760*	$2,6586 \cdot 10^{-5}$ *	33,8234*
Tempo (L)	-47,3459*	1,2584*	$4,1299 \cdot 10^{-5}$ *	-23,6730*
Tempo (Q)	11,1064*	1,5033*	0,0051*	5,5532*
Temperatura(L)	-21,2335*	1,2836*	0,0005*	-10,6167*
Temperatura (Q)	0,7687	1,2678	0,5871	0,3843
Tempo * Temp.	-7,6764*	2,0273*	0,0323*	-3,8382*

Obs: \* Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Os valores na coluna dos efeitos na tabela 37 indicam quanto cada fator influi no parâmetro estudado, neste caso na umidade.

Observa-se que os fatores lineares e a interação têm efeito negativo na umidade, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta uma diminuição da umidade. Observa-se que o fator temperatura (Q) não é significativo a  $p \leq 0,05$ .

Eliminado o fator não significativo verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a

95% de confiança. Na tabela 38 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 38: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura de maçã *in natura*.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	5540,50	4	1385,13	130,77*	4,12
Resíduo	74,14	7	10,59		
Falta de ajuste	66,70	4	16,67	6,72	9,12
Erro Puro	7,45	3	2,48		
Total	5614,64	11			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 38).

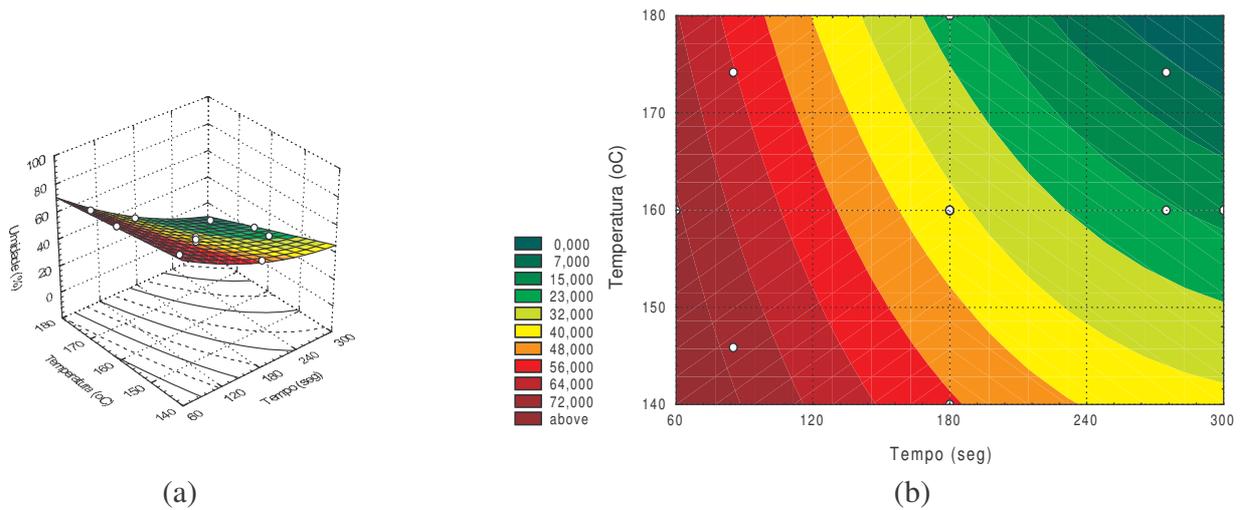
O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 98,68% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

A tabela 37 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$U(\%) = 138,36 - 2411,38 * 10^{-5} t + 6030,07 * 10^{-7} t^2 - 2482,63 * 10^{-4} T - 2768,63 * 10^{-6} t T$$

Onde: t  $\Rightarrow$  tempo (seg); T  $\Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A figura 20 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para umidade desenvolvidas a partir do modelo matemático.



**Figura 20: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.  
(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.**

4.6.1.1.2. Teor de Óleo

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã *in natura* a pressão ambiente podem ser observados na tabela 39.

**Tabela 39: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã *in natura*.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	28,8923*	0,2359*	$1,2001 * 10^{-6*}$	28,8923*
Tempo (L)	30,7542*	0,3825*	$4,2411 * 10^{-6*}$	15,3771*
Tempo (Q)	-3,9883*	0,4570*	$31,6658 * 10^{-4*}$	-1,9941*
Temperatura(L)	16,4432*	0,3902*	$2,9409 * 10^{-5*}$	8,2216*
Temperatura (Q)	-0,6691	0,3854	$180,9496 * 10^{-3}$	-0,3345
Tempo * Temp.	10,6673*	0,6163*	$4,201 * 10^{-4*}$	5,3337*

Obs: \* Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que o fator temperatura (Q) não é significativo a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores, exceção do tempo (Q), tem efeito positivo sobre o teor de óleo, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento no teor de óleo.

Eliminado o fator não significativo verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 40 encontram-se os valores de F.

Tabela 40: **Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de maçã *in natura*.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	2575,18	4	643,79	57,69*	4,12
Resíduo	78,12	7	11,16		
Falta de ajuste	77,43	4	19,36	0,75	9,12
Erro Puro	0,69	3	25,81		
Total	2653,30	11			

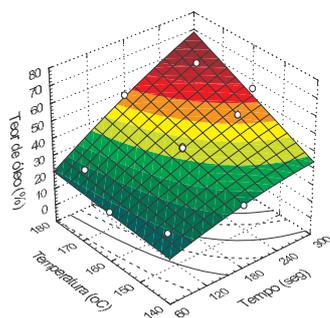
Obs: \*\* Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

\* Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

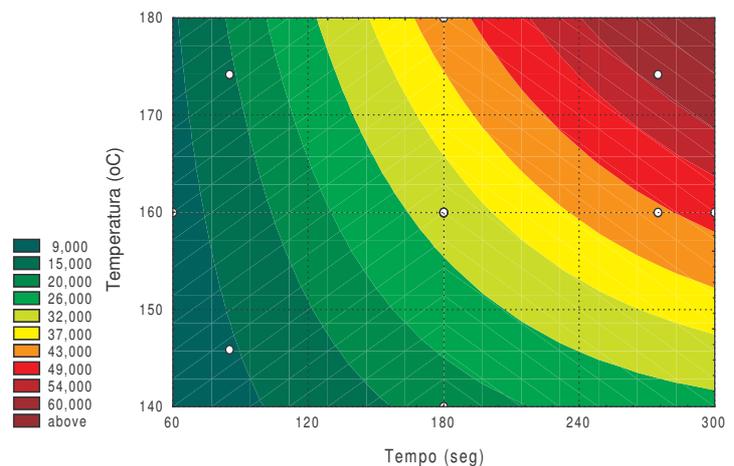
SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 40).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 97,06% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.



(a)



(b)

Figura 21: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.

(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.

A tabela 39 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\text{T.O.(\%)} = 12,26 - 3846,70 * 10^{-4} t - 2102,48 * 10^{-7} t^2 - 1230,30 * 10^{-4} T + 3893,38 * 10^{-6} t * T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Na figura 21 apresentam-se as superfícies de resposta e de contorno para teor de óleo desenvolvidas a partir do modelo matemático.

#### 4.6.1.1.3. Diferença Total de Cor (Delta E)

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na diferença total de cor no processo de fritura de maçã *in natura* a pressão ambiente podem ser observados na tabela 41.

**Tabela 13: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã *in natura*.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coefficiente de regressão
Média	46,8770*	1,0835*	$2,7183 * 10^{-5*}$	46,877*
Tempo (L)	18,9977*	1,7570*	$16,9222 * 10^{-4*}$	9,4988*
Tempo (Q)	-12,3573*	2,0989*	$97,7947 * 10^{-4*}$	-6,1786*
Temperatura(L)	16,4363*	1,7923*	$27,4139 * 10^{-4*}$	8,2182*
Temperatura (Q)	-2,2648	1,7701	$29,0719 * 10^{-2}$	-1,1324
Tempo * Temp.	3,4156	2,8301	$31,4026 * 10^{-2}$	1,7078

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que o fator temperatura (Q) e a interação não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores, exceção da média e do tempo (Q), tem efeito positivo sobre a diferença total de cor, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento na diferença total de cor.

Eliminado-se os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em

relação a 95% de confiança. Na tabela 42 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

Tabela 42: **Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã *in natura*.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	1407,89	3	469,30	49,73*	4,07
Resíduo	75,50	8	9,44		
Falta de ajuste	60,98	5	12,20	0,60	9,01
Erro Puro	14,52	3	20,33		
Total	1483,39	11			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 42).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 94,91% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

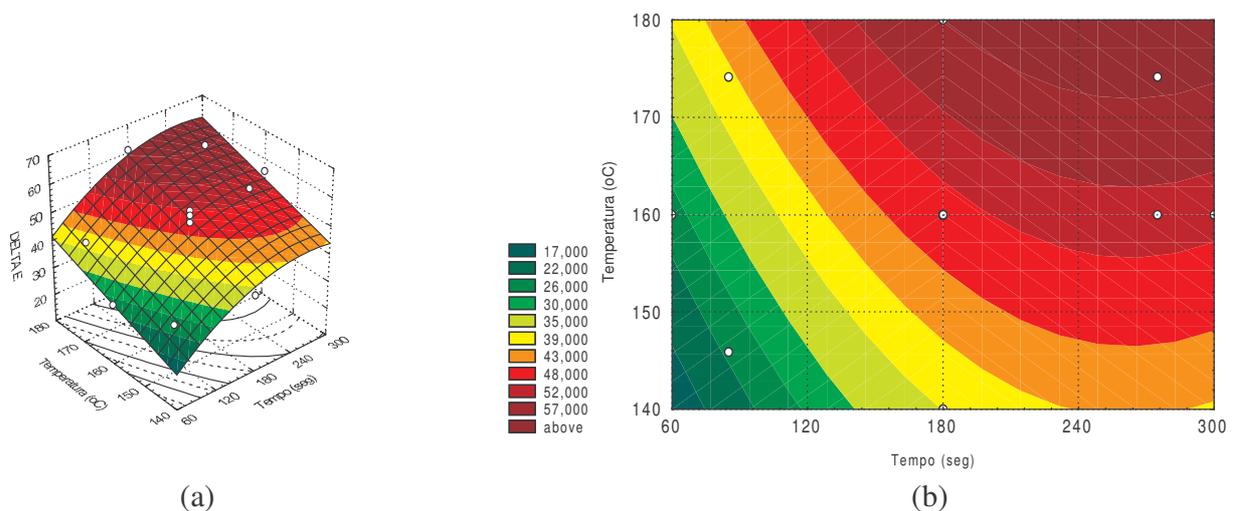


Figura 22: (a) Superfície de resposta para Delta E no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.

(b) Superfície de contorno para Delta E no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã *in natura*.

A tabela 41 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\Delta E = -81,41 + 332,80 * 10^{-3} t - 633,41 * 10^{-6} t^2 + 550,92 * 10^{-3} T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para diferença total de cor no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de 13,41 (mínimos de tempo e temperatura) a 60,59 (máximos de tempo e temperatura).

A figura 22 apresenta a superfície de resposta e de contorno para diferença total de cor desenvolvidas a partir do modelo matemático.

#### 4.6.1.2. Otimização do processo

Na otimização do processo de fritura de maçã *in natura* foram analisadas as superfícies de respostas geradas a partir dos modelos matemáticos experimentais construídos através dos resultados para umidade, diferença total de cor (Delta E\*) e teor de óleo. Consideraram-se somente os fatores significativos a 95%.

Procurou-se obter valores de umidade inferiores a 7% (limite máximo para obtenção de crocância) e minimizar a diferença total de cor e o teor de óleo.

Identificando na superfície de contorno para umidade as áreas com valores de umidade inferiores a 7% e sobrepondo esta área à superfície de contorno para delta E, obtém-se um valor de delta E mínimo de 50 que corresponde a um produto com uma variação de cor muito grande, estando até mesmo queimado.

Os demais ensaios com valores de umidade superiores a 7% não apresentaram-se crocantes e tinham um aspecto de cozido.

Observa-se uma relação inversamente proporcional de umidade e teor de óleo, ou seja, em valores de umidade maiores encontra-se valores menores de óleo e com valores de umidade menores encontra-se elevados valores de óleo; o que leva a acreditar que o óleo ocupa de certo modo o lugar anteriormente ocupado pela água.

Assim sendo não foi possível desenvolver *chips* de maçã com as características desejadas a partir da matéria-prima *in natura* embora tenha sido possível desenvolver modelos matemáticos preditivos para todos os parâmetros analisados.

#### **4.6.2. Ensaio de fritura para maçã desidratada em estufa**

##### ***4.6.2.1. Ensaio de fritura com maçã desidratada em estufa: umidade de 76,5%***

De acordo com o planejamento fatorial  $2^3$  inicialmente determinado para a fritura de maçã tendo por base os parâmetros tempo e temperatura variando respectivamente de 60 a 240 segundos e de 140 a 180°C.

As maçãs foram previamente desidratadas nas condições e devidamente armazenadas por aproximadamente 12 horas. No armazenamento as maçãs foram separadas em porções de 250g (quantidade colocada nos cestos de fritura em cada ensaio) e colocadas em dois sacos de plástico e seladas; cada seis porções de 250g foram acondicionadas em bandejas plásticas e esta foi novamente colocada dentro de dois sacos de plástico e seladas. O conjunto foi então armazenado sob temperatura de refrigeração até duas horas antes de serem submetidas ao processo de fritura.

Os resultados das análises de umidade e teor de óleo, bem como os valores de tempo e temperatura utilizados em cada ensaio de fritura para a maçã desidratada em estufa a 50°C (umidade de 76,5%) encontram-se na tabela 45.

**Tabela 45: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã parcialmente desidrata em estufa.**

Ensaio	Tempo (seg)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Teor de Óleo(%)
1	86	145,9	48,85 ± 0,23	12,84 ± 0,56
2	86	174,1	34,38 ± 0,09	19,75 ± 0,4
3	214	145,9	20,21 ± 0,04	26,23 ± 0,18
4	214	174,1	12,05 ± 0,14	38,11 ± 0,58
5	60	160	53,4 ± 0,07	10,46 ± 0,29
6	240	160	15,14 ± 0,24	38,34 ± 0,73
7	150	140	40,38 ± 0,6	16,64 ± 0,26
8	150	180	3,86 ± 0,05	41,43 ± 0,37
9 (C)	150	160	27,13 ± 0,15	29,5 ± 0,47
10 (C)	150	160	28,63 ± 0,47	31,44 ± 0,54
11 (C)	150	160	26,67 ± 0,52	30,96 ± 0,76

Os perfis de temperatura do óleo nos ensaios do planejamento experimental encontram-se no anexo III.

A cor do material frito apresentou grande variação visual e dava a impressão de que quando mais escuro, menor o teor de umidade.

Procedeu-se então a análise instrumental de cor dos materiais vindos de cada ensaio e constatou-se que realmente quando maior a variação de croma (com relação ao padrão), menor o teor de umidade.

Os resultados das análises instrumentais de cor (parâmetros L\*, a\* e b\*) nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa a 50°C e os valores de diferença total de cor e diferença de croma ( $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$ ) encontram-se na tabela 46.

Tabela 46: Resultados das análises instrumentais de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$ ,  $\Delta C^*$ .

Ensaio	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
P.	83,81	0,00	26,76		
1	44,99	8,72	46,64	44,48	20,69
2	22,94	21,90	39,21	65,88	18,15
3	22,59	22,25	38,68	66,22	17,86
4	0,16	1,14	0,27	87,76	-25,59
5	43,57	9,83	48,18	46,64	22,41
6	16,24	26,63	27,96	72,65	11,85
7	37,04	12,76	56,56	56,91	31,23
8	12,90	24,10	22,21	75,04	6,01
9 (C)	8,58	23,8	13,90	84,85	4,68
10 (C)	8,63	27,97	14,88	81,10	4,92
11 (C)	8,28	27,79	14,28	81,45	4,49

Obs:  $\Delta E^*$  = diferença total de cor em relação ao padrão

$\Delta C^*$  = diferença de croma em relação ao padrão (considera os valores de  $a^*$  e  $b^*$ )

P. = padrão

(C) = ponto central do planejamento experimental

Observa-se na tabela 46 que os valores de  $L^*$  para as amostras variam de 0,16 a 43,57, tendo o padrão valor de 83,81. Quando menor o valor de  $L^*$  menos luminosidade apresenta amostra sendo portanto mais escura. As amostras mais escuras apresentam valores de  $L^*$  menores.

Os valores de  $a^*$  variaram de 1,14 a 27,97 tendo o padrão o valor de 0,00. Os valores de  $b^*$  variaram de 0,27 a 56,56 sendo o padrão 26,76.

#### 4.6.2.1.1. Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos

A partir dos resultados das análises dos materiais processados nas condições determinadas em cada ensaio partiu-se para a construção dos modelos matemáticos.

Verificando a significância estatística dos fatores a  $p \leq 0,05$ , montando-se a tabela de anova e avaliando o valor de  $R^2$ , é possível verificar se os modelos matemáticos desenvolvidos podem ser considerados preditivos.

## 4.6.2.1.1.1.Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã parcialmente desidratada em estufa podem ser observados na tabela 45.

**Tabela 45: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coefficiente de regressão
Média	27,4767*	0,5918*	0,0005*	27,4767*
Tempo (L)	-26,2695*	0,7248*	0,0008*	-13,1347*
Tempo (Q)	7,1321*	0,8626*	0,0143*	3,5660*
Temperatura(L)	-18,5693*	0,7248*	0,0015*	-9,2846*
Temperatura (Q)	-5,0179*	0,8626*	0,0283*	-2,5090*
Tempo * Temp.	3,1550	1,0250	0,0913	1,5775

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores lineares e quadrático tem efeito negativo na umidade, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta uma diminuição da umidade. Observa-se que o fator interação não é significativo a  $p \leq 0,05$ .

Eliminado o fator não significativo verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 45 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 46: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	2220,57	4	555,14	28,05*	4,53
Resíduo	118,75	6	19,79		
Falta de ajuste	116,65	4	29,16	27,76	19,25
Erro Puro	2,10	2	1,05		
Total	2339,32	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 46).

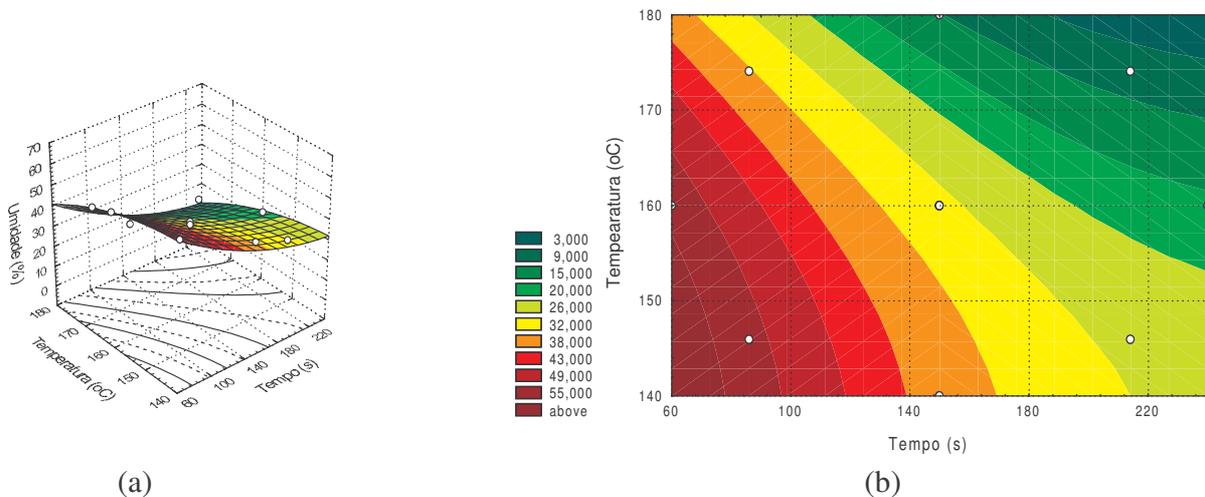
O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 94,92% considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

A tabela 45 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$U(\%) = - 139,64 - 46,91 * 10^{-2} * t + 87,76 * 10^{-5} * t^2 + 3,38 * T - 126,17 * 10^{-4} * T^2$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A figura 23 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para umidade desenvolvidas a partir do modelo matemático.



**Figura 23: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%)**  
**(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%)**

#### 4.6.2.1.1.2. Teor de Óleo

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã desidratada podem ser observados na tabela 47.

**Tabela 47: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã desidratada.**

.Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	30,6333*	0,5834*	0,0004*	30,6333*
Tempo (L)	17,7946*	0,7145*	0,0016*	8,8973*
Tempo (Q)	-7,4758*	0,8504*	0,0127*	-3,7379*
Temperatura(L)	13,4621*	0,7145*	0,0028*	6,7310*
Temperatura (Q)	-2,8408	0,8504	0,0791	-1,4204
Tempo * Temp.	2,4850	1,0104	0,1331	1,2425

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Os valores na coluna dos efeitos na tabela 47 indicam quanto cada fator influi no parâmetro estudado, neste caso no teor de óleo.

Observa-se que os fatores temperatura (Q) e a interação não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores, com exceção do tempo (Q), tem efeito positivo sobre o teor de óleo, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento no teor de óleo.

Eliminado os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 49 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 49: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	1064,35	3	354,78	34,51*	5,05
Resíduo	71,95	7	10,28		
Falta de ajuste	69,91	5	13,98	0,40	19,16
Erro Puro	2,04	2	34,96		
Total	1136,31	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 48).

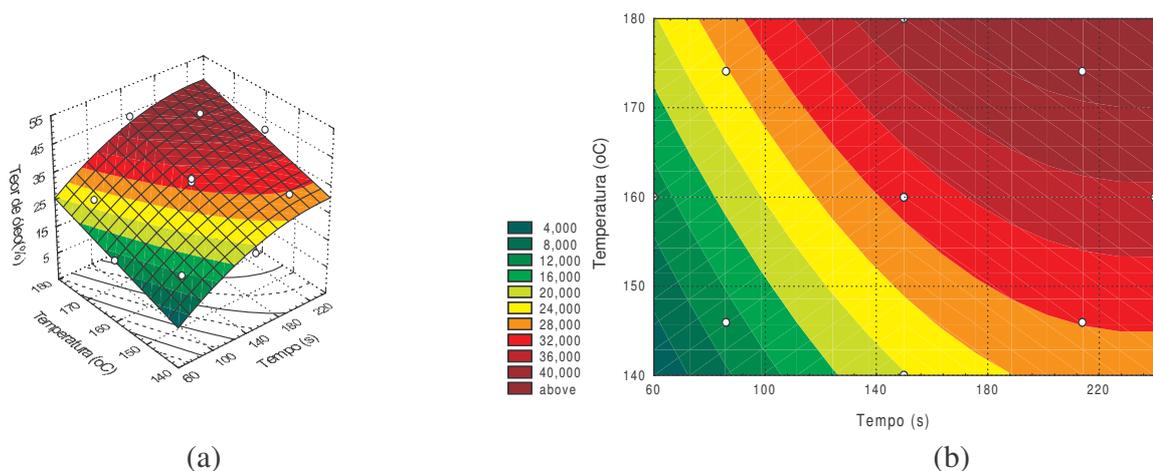
O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 93,67% considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa ao mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

A tabela 47 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\text{T.O.(\%)} = -86,37 + 385,75 * 10^{-3} * t - 821,26 * 10^{-6} * t^2 + 476,88 * 10^{-3} * T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A figura 24 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para teor de óleo desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 24: (a) Superfície de resposta para o teor de óleo na fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).**

**(b) Superfície de contorno para o teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).**

#### 4.6.2.1.1.3. Diferença Total de Cor (Delta E)

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na diferença total de cor na fritura de maçã *in natura* a pressão ambiente podem ser observados na tabela 49.

**Tabela 49: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	46,8770*	1,0835*	$2,7183 * 10^{-5*}$	46,877*
Tempo (L)	18,9977*	1,7570*	$16,9222 * 10^{-4*}$	9,4988*
Tempo (Q)	-12,3573*	2,0989*	$97,7947 * 10^{-4*}$	-6,1786*
Temperatura(L)	16,4363*	1,7923*	$27,4139 * 10^{-4*}$	8,2182*
Temperatura (Q)	-2,2648	1,7701	$29,0719 * 10^{-2}$	-1,1324
Tempo * Temp.	3,4156	2,8301	$31,4026 * 10^{-2}$	1,7078

Obs: \*Valores que apresentam-se significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores temperatura (Q) e a interação não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores, com exceção do tempo (Q), tem efeito positivo sobre a diferença total de cor, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento na diferença total de cor.

Eliminado-se os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 50 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 50: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	1407,89	3	469,30	49,73*	5,05
Resíduo	75,50	8	9,44		
Falta de ajuste	60,98	5	12,20	0,60	19,16
Erro Puro	14,52	3	20,33		
Total	1483,39	11			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 50).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 94,91% considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

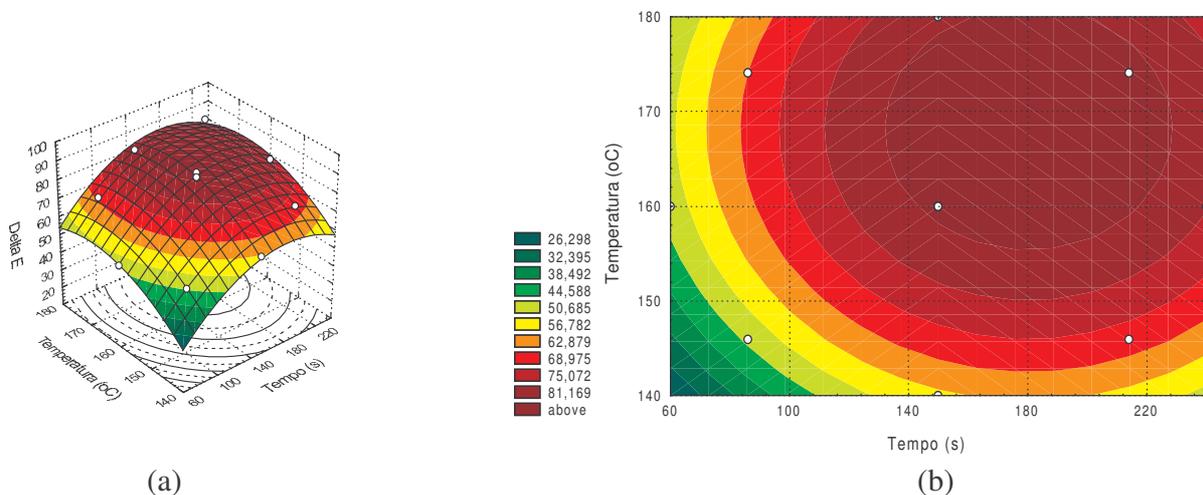
A tabela 49 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\Delta E = -81,41 + 332,80 * 10^{-3} t - 633,42 * 10^{-6} t^2 + 550,92 * 10^{-3} T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para diferença total de cor no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de 20,20 (mínimos de tempo e temperatura) a 72,83 (máximos de tempo e temperatura).

Abaixo se apresentam as superfícies de resposta e de contorno para diferença total de cor desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 25: (a) Superfície de resposta para diferença total de cor na fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade 76,5%).**

**(b) Superfície de contorno para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 76,5%).**

#### 4.6.2.1.2.Otimização do processo

Na otimização do processo de fritura de maçã desidratada em estufa foram analisadas as superfícies de respostas geradas a partir dos modelos matemáticos experimentais construídos através dos resultados para umidade, diferença total de cor (Delta E \*) e teor de óleo. Consideraram-se somente os fatores significativos a 95% ( $p \leq 0,05$ ).

Procurou-se obter valores de umidade inferiores a 7% (limite máximo para obtenção de crocância) e minimizar a diferença total de cor e o teor de óleo.

Identificando na superfície de contorno para umidade as áreas com valores de inferiores a 7% e sobrepondo esta área à superfície de contorno para delta E, obtém-se um valor de delta E mínimo que corresponde a um produto com uma variação de cor muito grande, estando até mesmo queimado.

Os demais ensaios com valores de umidade superiores a 7% tinham um aspecto de cozido além de não se apresentaram crocantes.

O mesmo observado no processo de fritura de maçãs *in natura* foi observado no processo de fritura de maçãs com aproximadamente 76,5% de umidade: em valores de umidade maiores encontram-se valores menores de óleo e com valores de umidade menores encontram-se elevados valores de óleo; levando a acreditar que o óleo ocupa de certo modo o lugar anteriormente ocupado pela água.

Assim sendo, mais uma vez, não se conseguiu desenvolver *chips* de maçã como esperado a partir de maçãs desidratadas em estufa com umidade aproximada de 76,5% embora tenha sido possível desenvolver modelos matemáticos preditivos para todos os parâmetros analisados.

#### ***4.6.2.2.Ensaio de fritura com maçã desidratada em estufa: umidade de 50%***

Como não foi possível obter *chips* de maçã com valores de umidade de até 7% com coloração aceitável a partir da maçã com 76,5% de umidade, diminuiu-se ainda mais a umidade da maçã antes de submetê-la ao processo de fritura na tentativa de melhorar os *chips* de maçã. Segundo Vitrac *et al* (1997), no

processamento de fritura os tratamentos de pré secagem reduzem sensivelmente a incorporação de óleo e o teor de umidade final do produto.

Os ensaios foram realizados de acordo com o planejamento fatorial  $2^3$  inicialmente determinado para a fritura de maçã tendo por base os parâmetros tempo e temperatura variando respectivamente de 60 a 240 segundos e de 140 a 180°C.

As maçãs foram previamente desidratadas nas condições determinadas no item 4.3.4.1.2 e devidamente armazenadas por aproximadamente 12 horas. Para o armazenamento as maçãs foram separadas em porções de 250g (quantidade colocada nos cestos de fritura em cada ensaio) e colocadas em dois sacos de plástico e seladas; cada seis porções de 250g foram acondicionadas em bandejas plásticas e esta foi novamente colocada dentro de dois sacos de plástico e seladas. O conjunto foi armazenado sob temperatura de refrigeração por até duas horas antes de serem submetidas ao processo de fritura

Os resultados das análises de umidade e teor de óleo, bem como os valores de tempo e temperatura utilizados em cada ensaio de fritura de maçã desidratada (umidade de 50%) em estufa a 70°C encontram-se na tabela 51.

**Tabela 51: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã desidrata em estufa.**

Ensaio	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Teor de óleo (%)
1	86	145,9	19,56 ± 0,21	30,61 ± 0,79
2	86	174,1	7,64 ± 0,41	29,93 ± 0,50
3	214	145,9	7,37 ± 0,11	34,01 ± 0,45
4	214	174,1	5,98 ± 0,62	39,14 ± 0,44
5	60	160	19,24 ± 0,31	26,81 ± 0,50
6	240	160	4,26 ± 0,38	34,58 ± 0,72
7	150	140	13,75 ± 0,09	27,54 ± 0,42
8	150	180	3,47 ± 0,24	37,78 ± 0,59
9 (C)	150	160	6,59 ± 0,24	34,81 ± 0,46
10 (C)	150	160	5,37 ± 0,30	35,1 ± 0,25
11 (C)	150	160	7,75 ± 0,34	37,89 ± 0,48

(C) - ponto central do planejamento experimental.

Os perfis de temperatura dos ensaios encontram-se no anexo III.

Os resultados das análises instrumentais de cor (parâmetros L\*, a\* e b\*) nos ensaios do planejamento experimental para maçã desidratada em estufa a 70°C e frita e os valores de diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) e diferença de croma ( $\Delta C^*$ ) encontram-se na tabela 52:

**Tabela 52: Resultados das análises instrumentais de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros L\*, a\*, b\*,  $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$  (calibração RSIN, iluminante D65/10<sup>0</sup>, sistema CIELAB)**

Ensaio	L *	a*	b*	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
P.	55,18 <sup>a</sup>	8,34 <sup>a</sup>	23,41 <sup>b,c</sup>		
1	57,07 <sup>a</sup>	9,36 <sup>a</sup>	27,26 <sup>a,b</sup>	4,41 <sup>c</sup>	3,98 <sup>d</sup>
2	40,71 <sup>d</sup>	14,82 <sup>a</sup>	21,98 <sup>b,c,d</sup>	15,92 <sup>b</sup>	1,66 <sup>e</sup>
3	40,80 <sup>d</sup>	17,14 <sup>a</sup>	24,73 <sup>b,c</sup>	16,91 <sup>b</sup>	5,24 <sup>b,c</sup>
4	24,50 <sup>f</sup>	11,36 <sup>a</sup>	9,79 <sup>e</sup>	33,71 <sup>a</sup>	-9,85 <sup>g</sup>
5	52,93 <sup>b</sup>	10,56 <sup>a</sup>	36,00 <sup>a</sup>	12,98 <sup>b</sup>	12,67 <sup>a</sup>
6	23,58 <sup>f</sup>	14,85 <sup>a</sup>	15,86 <sup>c,d</sup>	33,14 <sup>a</sup>	-3,12 <sup>f</sup>
7	51,18 <sup>c</sup>	11,49 <sup>a</sup>	29,08 <sup>b,c,d</sup>	7,63 <sup>b</sup>	6,42 <sup>b</sup>
8	20,97 <sup>g</sup>	13,33 <sup>a</sup>	13,88 <sup>c,d</sup>	35,87 <sup>a</sup>	-5,61 <sup>f</sup>
9 (C)	35,30 <sup>e</sup>	15,20 <sup>a</sup>	20,05 <sup>b,c,d</sup>	21,90 <sup>b</sup>	0,31 <sup>e</sup>
10 (C)	35,83 <sup>e</sup>	17,04 <sup>a</sup>	24,69 <sup>b,c,d</sup>	21,26 <sup>b</sup>	5,15 <sup>b,c</sup>
11 (C)	37,46 <sup>e</sup>	16,48 <sup>a</sup>	23,59 <sup>b,c,d</sup>	19,50 <sup>b</sup>	3,93 <sup>d</sup>

Obs:  $\Delta E^*$  = diferença total de cor em relação ao padrão

$\Delta C^*$  = diferença de croma em relação ao padrão (considera os valores de a\* e b\*)

P. = padrão (maçã seca em estufa na temperatura de 70°C)

(C) = ponto central do planejamento experimental

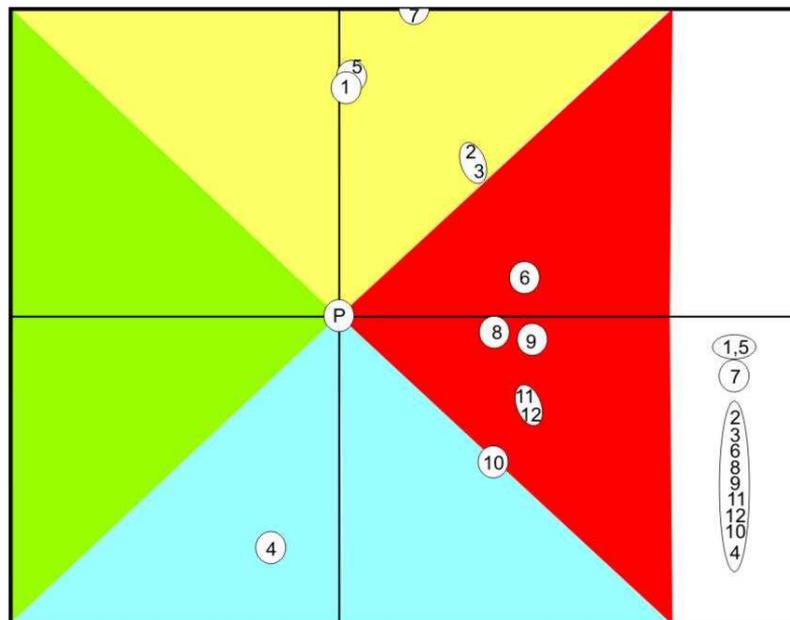
Médias em uma mesma coluna que possuam letras subscritas iguais, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se na tabela 52 que os valores de L\* para as amostras variam de 20,97 a 57,07, sendo o padrão 55,18. As amostras que se mostraram mais escuras apresentam valores de L\* menores, em torno de 20 (ensaios 4, 6 e 8). Verifica-se ainda que com relação à luminosidade as amostras dividiram-se em 7 grupos segundo o teste de Tukey: (a) ensaio 1 e o padrão; (b) ensaio 5; (c) ensaio 7; (d) ensaios 2 e 3; (e) ensaios 9, 10 e 11; (f) ensaios 4 e 6; (g) ensaio 8.

Os valores de  $a^*$  variaram de 9,36 a 17,14 sendo o padrão o valor 8,34 e não se apresentaram significativamente diferentes. Os valores de  $b^*$  variaram de 9,79 a 36 sendo o padrão 23,41 e dividiram-se em 5 grupos.

Com relação a diferença total de cor observa-se que os ensaios dividiram-se em 3 grupos: (a) ensaios 4, 6 e 8 (variando de 33,14 a 35,87) que apresentam-se mais escuros, (b) todos os outros ensaios (variando de 7,63 a 21,90) com exceção do ensaio 1(4,41).

A partir dos valores da tabela 52 foi possível gerar a figura 26 onde estão localizadas as demais amostras de acordo com suas diferenças de  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  em relação ao padrão. Nesta figura fica mais fácil observar o significado dos valores numéricos.



**Figura 26: Diagrama de cores (ensaio do planejamento experimental para fritura de maçã desidratada em estufa. Parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$ , calibração RSIN, iluminante D65/10<sup>0</sup>, sistema CIELAB).**

Obs: Os números representam os ensaios do planejamento experimental e P. o padrão (maçã seca em estufa).

A partir da figura 26, chega-se às seguintes conclusões comparando-se as amostras ao padrão:

1 - as amostras 1, 5 e 7 apresentam-se mais amareladas que o padrão e as demais amostras;

2 - as amostras 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam-se mais avermelhadas que as demais;

3 - a amostra 4 apresenta-se mais distantes das demais amostras e com coloração tendendo ao marrom;

4 - com relação à luminosidade (escala ao lado direito no diagrama de cores) observa-se 3 grupos: (a) padrão e as amostras 1e 5, (b) amostra 7, (c) demais amostras.

#### 4.6.2.2.1.Desenvolvimento dos Modelos Experimentais

A partir dos resultados das análises dos materiais processados nas condições determinadas em cada ensaio partiu-se para a construção dos modelos matemáticos.

Verificando a significância estatística dos fatores a  $p \leq 0,05$ , montando-se a tabela de anova e avaliando o valor de  $R^2$ , é possível verificar se os modelos matemáticos desenvolvidos podem ser considerados preditivos.

##### 4.6.2.2.1.1.Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa podem ser observados na tabela 53.

**Tabela 53: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	6,5701*	0,6871*	0,0108*	6,5701*
Tempo (L)	-8,7782*	0,8439*	0,0091*	-4,3891*
Tempo (Q)	5,2051*	1,0106*	0,0357*	2,6026*
Temperatura(L)	-6,9521*	0,8403*	0,0143*	-3,4760*
Temperatura (Q)	1,9953	0,9963	0,1831	0,9977
Tempo * Temp.	5,2650*	1,1901*	0,0475*	2,6325*

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores lineares tem efeito negativo na umidade, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta uma diminuição da umidade e os fatores quadráticos e a interação tem efeito positivo, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento na umidade. Observa-se no entanto que o fator temperatura (Q) não é significativo a  $p \leq 0,05$ .

Eliminado o fator não significativo verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 54 encontram-se os valores de F.

**Tabela 54: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	310,19	4	77,55	29,82*	4,53
Resíduo	15,61	6	2,60		
Falta de ajuste	12,77	4	3,19	2,25	19,25
Erro Puro	2,83	2	1,42		
Total	325,80	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e falta de ajuste significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 54).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 95,21% considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

A tabela 53 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

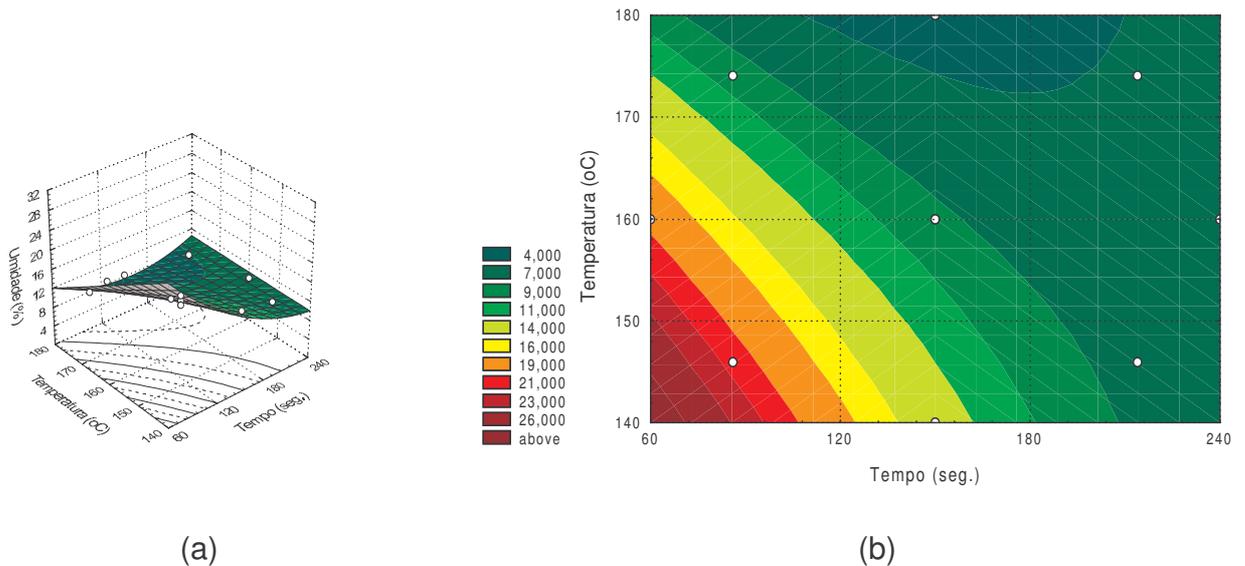
$$U(\%) = 139,93 - 704,24 * 10^{-3} * t + 563,03 * 10^{-6} * t^2 - 684,11 * 10^{-3} * T + 291,72 * 10^{-5} * t * T$$

Onde: t  $\Rightarrow$  tempo (seg); T  $\Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}$ C).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para umidade no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura

estudados, a umidade variando de 28,42 (mínimos de tempo e temperatura) a 6,22% (máximos de tempo e temperatura). Verificou-se também que nestes máximos de tempo e temperatura o produto encontrou-se muito escurecido.

Abaixo, a figura 27 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para umidade desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 27: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%)**

**(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).**

#### 4.6.2.2.1.2. Teor de Óleo

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã desidratada podem ser observados na tabela 55.

**Tabela 55: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para teor de óleo no processo de fritura de maçã desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	35,9311*	0,9819*	0,0007*	35,9311*
Tempo (L)	6,4353*	1,2060*	0,0334*	3,2176*
Tempo (Q)	-4,6580	1,4441	0,0842	-2,3290
Temperatura(L)	5,2430*	1,2008*	0,0487*	2,6215*
Temperatura (Q)	-2,6357	1,4238	0,2053	-1,3179
Tempo * Temp.	1,8750	1,7007	0,3852	0,9375

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores quadráticos e a interação não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores têm efeito positivo sobre o teor de óleo, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento no teor de óleo.

Eliminados os fatores não significativos, verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 56 encontram-se os valores de F.

**Tabela 56: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de a pressão ambiente de maçã desidratada em estufa.**

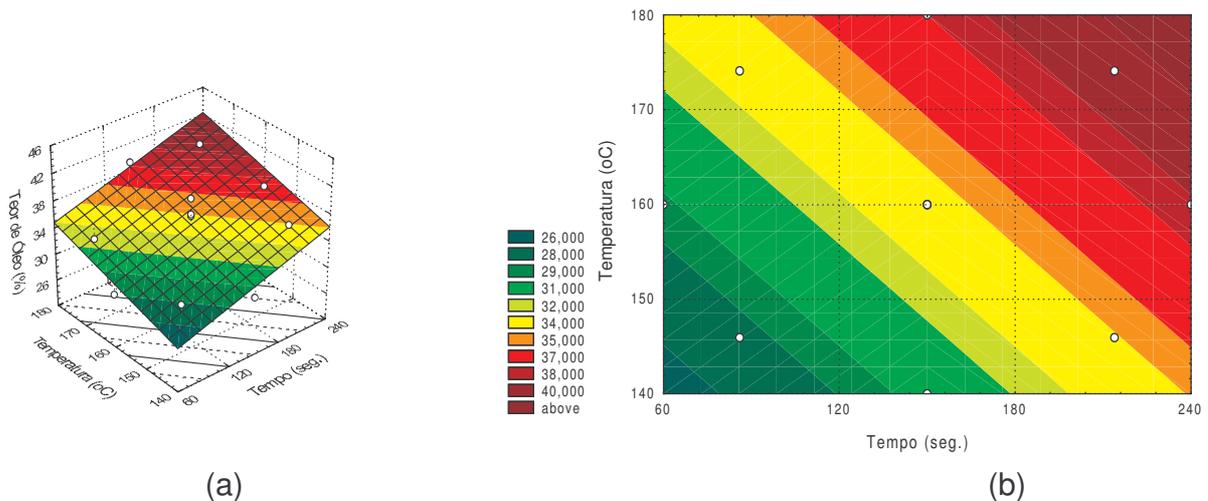
Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	137,50	2	68,75	10,07*	4,46
Resíduo	54,62	8	6,83		
Falta de ajuste	48,83	6	8,14	0,33	19,33
Erro Puro	5,78	2	24,42		
Total	192,12	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 71,57% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e falta de ajuste não significativa ao mesmo nível de confiança (Tabela 56) mesmo não apresentando  $R^2$  superior a 85%.



**Figura 28: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%)**  
**(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).**

A tabela 55 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$T.O.(%) = -4,00 + 5027,56 * 10^{-5} * t + 1859,22 * 10^{-4} * T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura (°C).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para o teor de óleo no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de 25,04 (mínimos de tempo e temperatura) a 41,53% (máximos de tempo e temperatura).

A figura 28 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para o teor de óleo desenvolvidas a partir do modelo matemático:

#### 4.6.2.2.1.3. Diferença total de cor (Delta E\*)

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã desidratada em estufa podem ser observados na tabela 57.

**Tabela 57: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã desidratada em estufa.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	20,6951*	0,5934*	0,0008*	20,6951*
Tempo (L)	14,7428*	0,7289*	0,0024*	7,3714*
Tempo (Q)	0,0060	0,8728	0,9951	0,0030
Temperatura(L)	17,0407*	0,7257*	0,0018*	8,5203*
Temperatura (Q)	-1,2562	0,8605	0,2818	-0,6281
Tempo * Temp.	2,6450	1,0279	0,1236	1,3225

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores quadráticos e a interação não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os demais fatores têm efeito positivo sobre a diferença total de cor, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento na diferença total de cor.

Eliminados os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 58 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 58: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã parcialmente desidratada em estufa.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	1014,77	2	507,38	56,26*	4,46
Resíduo	72,15	8	9,02		
Falta de ajuste	70,04	6	11,67	11,05	19,33
Erro Puro	2,11	2	1,06		
Total	1086,92	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 93,36% considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de

confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 58) e  $R^2$  superior a 85%.

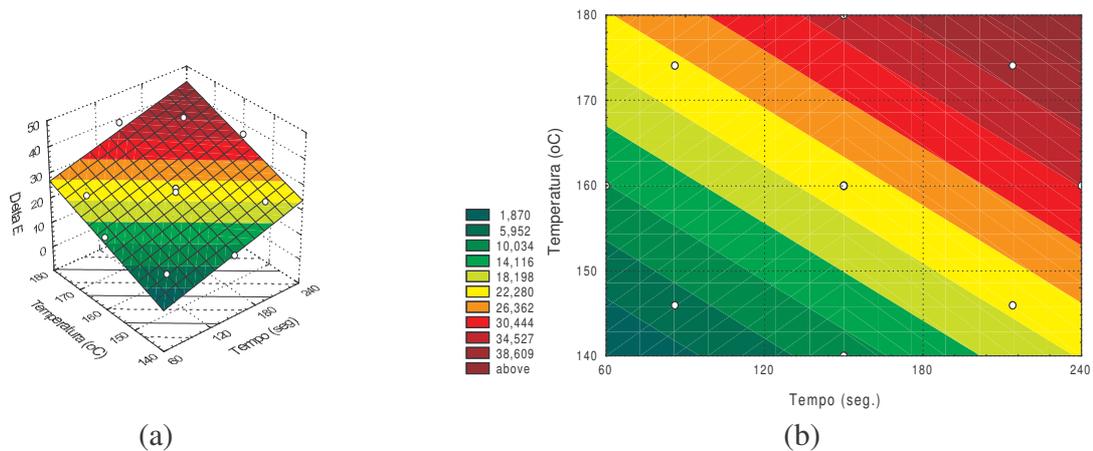
A tabela 57 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\Delta E = -93,72 + 115,18 \cdot 10^{-3} \cdot t + 604,26 \cdot 10^{-3} \cdot T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para diferença total de cor no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de -2,21 (mínimos de tempo e temperatura) a 42,69% (máximos de tempo e temperatura).

A figura 29 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para diferença total de cor desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 29: (a) Superfície de resposta para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).**

**(b) Superfície de contorno para diferença total de cor no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã desidratada em estufa (umidade de 55%).**

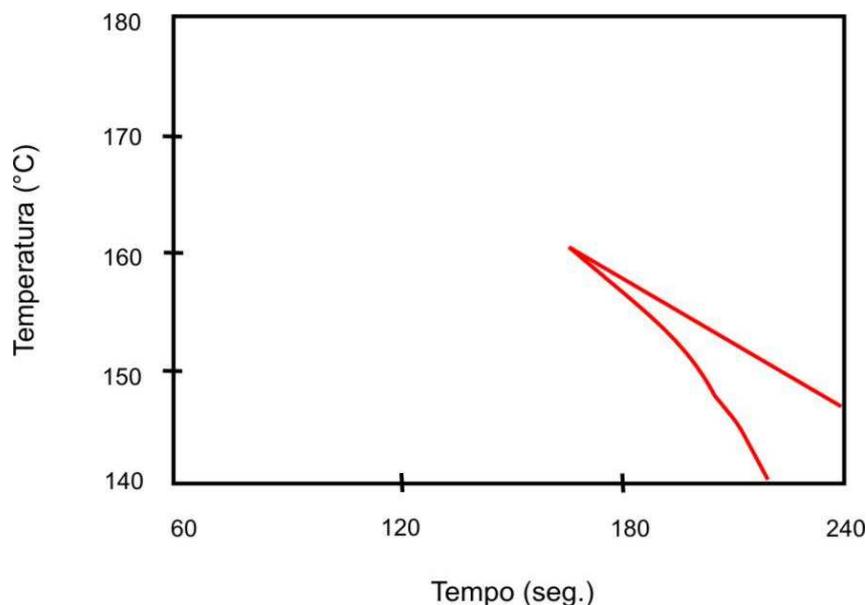
#### 4.6.2.2.2. Otimização do processo

Na otimização do processo de fritura de maçã parcialmente desidratada em estufa (umidade de 55%) foram analisados os resultados, através do programa

STATISTICA, para umidade, diferença total de cor (Delta E\*) e teor de óleo, procurando-se obter valores de umidade inferiores a 7 % (limite máximo para obtenção de crocância) e minimizar a diferença total de cor e o teor de óleo.

Identificando na superfície de contorno para umidade (Figura 27) as áreas com valores de umidade inferiores a 7% e sobrepondo esta área à superfície de contorno para delta E\* (Figura 29), obtém-se um valor de delta E mínimo de 18 que corresponde a produtos com variação semelhante aos ensaios 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11 já que estes não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey. Considerando-se então os valores de delta E\* dentre estes ensaios, observa-se que até o valor de 21,90 (ensaio 10) os ensaios não se apresentam diferentes e possuem ainda valores elevados de luminosidade (acima de 35).

Sendo assim, definiu-se o valor de 22 para delta como o limite superior aceito no processo.



**Figura 30: Faixa otimizada de tempo e temperatura no processo de fritura de maçã desidratada em estufa.**

Os valores encontrados para o teor de óleo dentro da faixa estudada se apresentam elevados, de modo que sobrepondo à área com valores de umidade inferiores a 7% (figura 27), obtém-se um valor mínimo de teor de óleo de 34%.

Este valor é considerado bastante elevado, no entanto não foi possível a obtenção de um produto com umidade de até 7% com menores teores de óleo. Para se tentar obter uma diminuição no teor de óleo serão posteriormente estudadas a centrifugação (após a fritura dentro dos limites de tempo e temperatura determinados como melhores -figura 30) e a fritura a vácuo.

#### 4.6.2.2.3. Validação dos Modelos Experimentais

Para se garantir que um modelo apresenta-se preditivo é necessário validá-lo, para isto realizam-se alguns ensaios em um determinado ponto (binômio tempo- temperatura) e comparam-se os valores obtidos nas análises com os valores preditos pelo modelo experimental.

Para a validação dos modelos experimentais desenvolvidos para o processo de fritura de maçã desidratada escolheu-se binômio tempo:temperatura que estivesse dentro das faixas otimizadas do processo.

Escolheu-se o binômio: 145°C por 220 segundos.

Foram realizadas 3 frituras nestas condições escolhidas e os perfis de temperatura da fritadeira em cada fritura encontram-se no anexo IV.

Os resultados das determinações de umidade, teor de óleo e delta E\* no produto vindo da fritura nesta condição otimizada escolhida de maçã desidratada para a validação dos modelos, bem como as respostas preditas obtidas através destes modelos ajustados, encontram-se na tabela 59:

**Tabela 59: Respostas observadas experimentalmente e respostas preditas pelos modelos matemáticos experimentais ajustados.**

Determinação	Valores Experimentais	Valores Preditos
Umidade (%)	4,89 ± 0,05	6,06
Teor de Óleo (%)	35,69 ± 0,90	34,2
Delta E*	22,53 ± 0,23	19,84

Observa-se que os valores experimentais encontram-se próximos dos valores preditos pelos modelos experimentais matemáticos reforçando a validade dos mesmos.

## 4.6.2.2.4. Caracterização do Produto Otimizado

Com o objetivo de caracterizar o produto vindo do processo de fritura foram realizadas diversas determinações. A tabela 60 apresenta os valores destas determinações:

**Tabela 60: Determinações nos *chips* de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação convencional e fritura, nas condições de validação do processo (145°C / 220s).**

Determinação	Base úmida
Umidade (%)	4,89± 0,05
Sólidos totais (%)	95,11± 0,05
Teor de óleo (%)	35,69 ± 0,90
Acidez (expresso em % de ácido málico)	0,94 ± 0,01
Aa	0,355± 0,001
pH	4,03± 0,02
Açúcar não redutor (%)	5,80 ± 1,76
Açúcar redutor (%)	18,75 ± 0,24
Açúcar total (%)	24,55 ± 1,51
Ácido ascórbico (mg/100g)	não encontrado

Não foi determinada a presença de vitamina C na maçã frita indicando que este composto foi completamente degradado durante o processo de fritura.

Observando-se o valor de Aa na tabela 60, consta-se que é um produto de baixa Aa segundo UBOLDI EIROA (1981), sendo portanto microbiologicamente estável.

Realizou-se também análise instrumental de cor cujos resultados são apresentados na tabela 61.

**Tabela 61: Valores médios de L\*, a\* e b\* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) nos *chips* de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação convencional e fritura, nas condições de validação do processo (145°C/ 220s).**

Parâmetro	Valor
L*	51,19
a*	12,19
b*	18,28

### 4.6.3. Ensaios de fritura de maçã osmoticamente desidratada

Os ensaios foram realizados de acordo com o planejamento fatorial  $2^3$  inicialmente determinado para a fritura de maçã tendo por base os parâmetros tempo e temperatura variando respectivamente de 60 a 240 segundos e de 140 a 180°C.

As maçãs foram previamente submetidas à desidratação osmótica nas condições determinadas no item 4.1.1 e devidamente armazenadas por aproximadamente 12 horas. Na otimização do processo de fritura de maçã desidratada em estufa foram analisadas as superfícies de respostas geradas a partir dos modelos matemáticos experimentais construídos através dos resultados para umidade, diferença total de cor (Delta E \*) e teor de óleo. Considerou-se somente os fatores significativos a 95% ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados das análises de umidade e teor de óleo, bem como os valores de tempo e temperatura utilizados em cada ensaio de fritura de maçã osmoticamente desidratada (umidade aproximada de 61%) encontram-se na tabela 62:

**Tabela 62: Condições dos ensaios do planejamento experimental e valores de umidade e teor de óleo na fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Ensaio	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Teor de óleo (%)
1	86	145,9	26,05 ± 0,19	13,7 ± 0,07
2	86	174,1	12,26 ± 0,22	23,65 ± 0,66
3	214	145,9	5 ± 0,17	27,54 ± 0,29
4	214	174,1	1,6 ± 0,07	30,03 ± 0,58
5	60	160	27,69 ± 0,17	12,22 ± 0,70
6	240	160	1,92 ± 0,17	32,03 ± 0,09
7	150	140	17,96 ± 0,84	17,96 ± 0,81
8	150	180	2,89 ± 0,15	30,61 ± 0,47
9 (C)	150	160	3,78 ± 0,25	26,3 ± 0,69
10 (C)	150	160	4,81 ± 0,25	25,88 ± 0,28
11 (C)	150	160	3,41 ± 0,18	28,96 ± 0,66

(C) - ponto central do planejamento experimental.

Os perfis de temperatura dos ensaios encontram-se no anexo III.

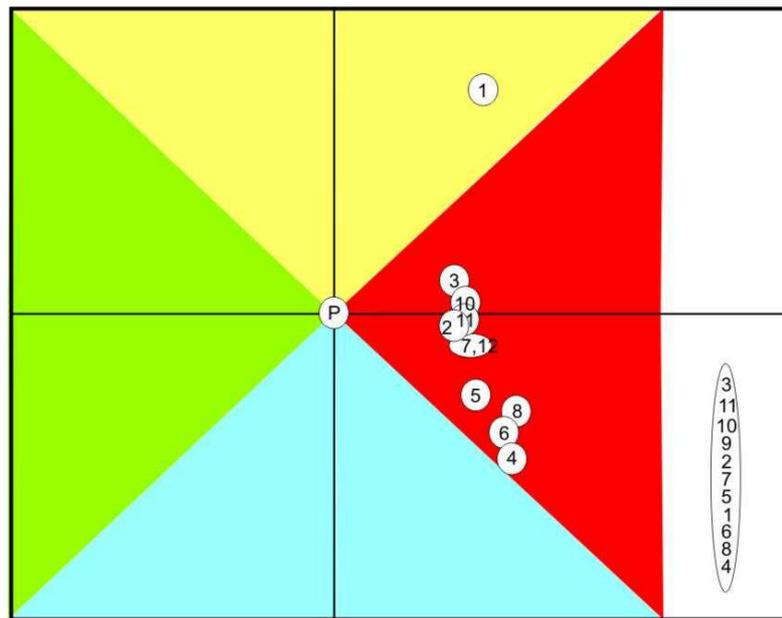
Os resultados das análises instrumentais de cor (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) nos ensaios de fritura do planejamento experimental para maçã osmoticamente desidratada e os valores de diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) e de croma ( $\Delta C^*$ ) encontram-se na tabela 63:

**Tabela 63: Resultados das análises de cor nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã osmoticamente desidratada. Parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  e  $\Delta E^*$ ,  $\Delta C^*$**

Ensaio	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
P.	80,22 <sup>f</sup>	1,40 <sup>f</sup>	32,52 <sup>c</sup>	-	-
1	43,21 <sup>b,c,d,e</sup>	13,49 <sup>b</sup>	51,25 <sup>a</sup>	43,20 <sup>b,d</sup>	20,45 <sup>a</sup>
2	50,53 <sup>a,b,c,d</sup>	11,37 <sup>e</sup>	31,60 <sup>c</sup>	31,33 <sup>b,d</sup>	1,04 <sup>b</sup>
3	59,08 <sup>a</sup>	11,40 <sup>e</sup>	35,11 <sup>b</sup>	23,52 <sup>c,e</sup>	4,36 <sup>b</sup>
4	33,20 <sup>e</sup>	15,98 <sup>a</sup>	20,52 <sup>g</sup>	50,67 <sup>a</sup>	-6,53 <sup>b</sup>
5	46,60 <sup>a,b,c,d</sup>	13,22 <sup>b,c</sup>	25,42 <sup>e</sup>	36,34 <sup>b,d</sup>	-3,90 <sup>b</sup>
6	40,30 <sup>d,e</sup>	15,41 <sup>a</sup>	22,60 <sup>f</sup>	43,45 <sup>a</sup>	-5,20 <sup>b</sup>
7	49,99 <sup>a,b,c,d</sup>	12,19 <sup>d,e</sup>	29,50 <sup>d</sup>	32,23 <sup>b,d</sup>	-0,63 <sup>b</sup>
8	35,97 <sup>d,e</sup>	16,07 <sup>a</sup>	24,57 <sup>e</sup>	47,29 <sup>a</sup>	-3,18 <sup>b</sup>
9 (C)	55,93 <sup>a,b,c</sup>	12,12 <sup>d,e</sup>	31,68 <sup>c</sup>	26,56 <sup>c,d</sup>	1,37 <sup>b</sup>
10 (C)	56,65 <sup>a,b</sup>	12,36 <sup>c,d</sup>	32,00 <sup>b,c</sup>	26,01 <sup>c,d</sup>	3,00 <sup>b</sup>
11 (C)	58,04 <sup>b,c,d</sup>	12,23 <sup>d,e</sup>	30,02 <sup>c</sup>	24,68 <sup>c,d</sup>	1,71 <sup>b</sup>

Obs:  $L^*$  = luminosidade;  $\Delta E^*$  = diferença total de cor em relação ao padrão;  $\Delta C^*$  = diferença de croma em relação ao padrão (considera os valores de  $a^*$  e  $b^*$ ); P. = padrão (maçã osmoticamente desidratada por 3 horas na temperatura de 35°C); (C) = ponto central do planejamento experimental.

A partir da tabela 63 foi construído o diagrama de cor para os ensaios do planejamento experimental:



**Figura 31 : Diagrama de cores nos ensaios do planejamento experimental para fritura de maçã osmoticamente desidratada. (Parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$  e  $\Delta C^*$ ; calibração RSIN, iluminante D65/10<sup>0</sup>, sistema CIELAB).**

A partir da figura 31, chega-se às seguintes conclusões comparando-se as amostras ao padrão:

- 1 - todas as amostras apresentam-se mais avermelhadas que o padrão;
- 2 - as amostras 5, 8, 6, 4 apresentam-se com coloração marrom;
- 3 - com relação à luminosidade, todas as amostras apresentaram valores inferiores ao padrão.

#### *4.6.3.1. Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos*

A partir dos resultados das análises dos materiais processados nas condições determinadas em cada ensaio partiu-se para a construção dos modelos matemáticos.

Verificando a significância estatística dos fatores a  $p \leq 0,05$ , montando-se a tabela de anova e avaliando-se o valor de  $R^2$ , é possível verificar se os modelos matemáticos desenvolvidos podem ser considerados preditivos.

## 4.6.3.1.1.Umidade

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e interação na umidade do produto no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada podem ser observados na tabela 64.

**Tabela 64: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator no modelo codificado para umidade no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coefficiente de regressão
Média	5,0626*	0,8207*	0,0253*	5,0626*
Tempo (L)	-17,0832*	1,0080*	0,0035*	-8,5416*
Tempo (Q)	9,1254*	1,2071*	0,0171*	4,5627*
Temperatura(L)	-9,6127*	1,0037*	0,0107*	-4,8064*
Temperatura (Q)	4,6275	1,1901	0,0602	2,3137
Tempo * Temp.	5,1950	1,4216	0,0674	2,5975

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores lineares tem efeito negativo na umidade, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta uma diminuição da umidade. Observa-se ainda que o fator temperatura quadrático e a interação não são significativas a  $p \leq 0,05$ .

Eliminados os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 65 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 65: Análise de variância do modelo ajustado para umidade no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	856,89	3	285,63	28,26*	4,35
Resíduo	70,74	7	10,11		
Falta de ajuste	66,70	5	13,34	6,60	19,3
Erro Puro	4,04	2	2,02		
Total	927,63	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) e falta de ajuste significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 65).

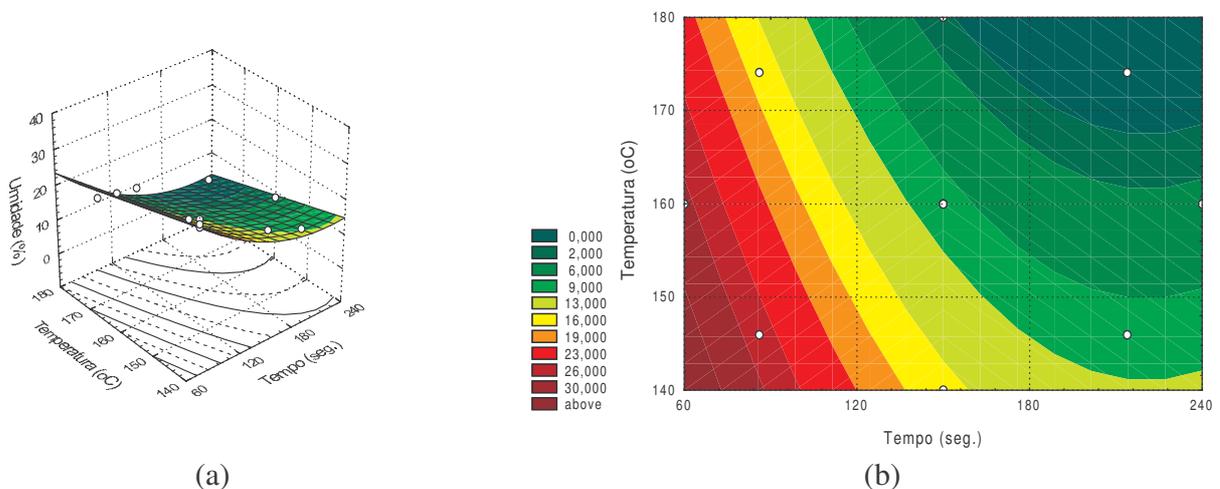
O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 92,37% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

A tabela 664 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$U(\%) = 103,09 - 417,30 * 10^{-3} * t + 946,12 * 10^{-6} * t^2 - 340,88 * 10^{-3} * T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A figura 32 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para umidade desenvolvida a partir do modelo matemático:



**Figura 32: (a) Superfície de resposta para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

**(b) Superfície de contorno para umidade no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

#### 4.6.3.1.2. Teor de Óleo

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na umidade no processo de fritura de maçã desidratada podem ser observados na tabela 66.

**Tabela 66: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator para teor de óleo no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	27,0457*	0,9643*	0,0013*	27,0457*
Tempo (L)	12,0873*	1,1844*	0,0095*	6,0437*
Tempo (Q)	-4,6988	1,4183	0,0803	-2,3494
Temperatura(L)	7,5732*	1,1793*	0,0234*	3,7866*
Temperatura (Q)	-2,4759	1,3983	0,2186	-1,2379
Tempo * Temp.	-3,7300	1,6702	0,1552	-1,8650

Obs:\* Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que os fatores quadráticos e a interação que apresentam um efeito negativo não são significativos a  $p \leq 0,05$ . Os outros fatores (tempo e temperatura lineares) têm efeito positivo sobre o teor de óleo, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento no teor de óleo.

Eliminado os fatores não significativos verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 67 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 67: Análise de variância do modelo ajustado para teor de óleo no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	405,62	2	202,81	25,28*	4,46
Resíduo	64,17	8	8,02		
Falta de ajuste	58,59	6	9,77	0,33	19,33
Erro Puro	5,58	2	29,30		
Total	469,79	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 67).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 86,32% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa ao mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

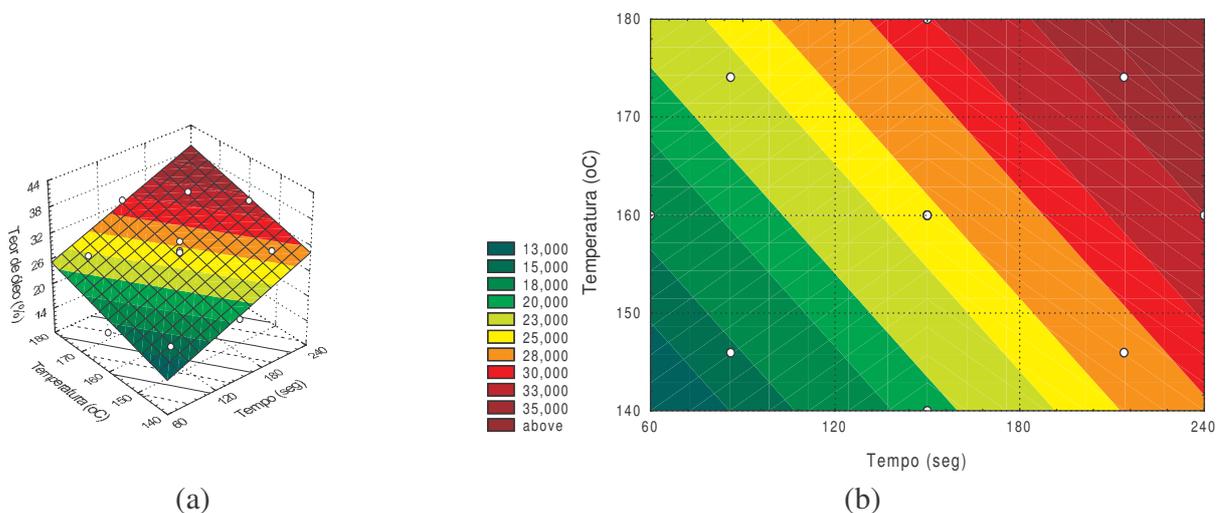
A tabela 66 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$T.O.(%) = -32,69 + 944,32 * 10^{-4} * t + 268,55 * 10^{-3} * T$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para teor de óleo no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de 10,57 (mínimos de tempo e temperatura) a 38,31% (máximos de tempo e temperatura).

A figura 33 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para o teor de óleo desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 33: (a) Superfície de resposta para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

**(b) Superfície de contorno para teor de óleo no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

## 4.6.3.1.3.Diferença Total de Cor (Delta E)

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação na diferença total de cor no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada são observados na tabela 68.

**Tabela 68: Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística e coeficiente de regressão de cada fator para diferença total de cor no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	Significância Estatística	Coeficiente de regressão
Média	25,7548*	0,5581*	0,0005*	25,7548*
Tempo (L)	2,4282*	0,6854*	0,0713*	1,2141*
Tempo (Q)	12,9308	0,8208	0,0040	6,4654
Temperatura(L)	9,1331*	0,6825*	0,0055*	4,5665*
Temperatura (Q)	12,5983*	0,8092*	0,0041*	6,2992*
Tempo * Temp.	19,5100*	0,9666*	0,0024*	9,7550*

Obs: \*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .  
(L)  $\Rightarrow$  termo linear; (Q)  $\Rightarrow$  termo quadrático.

Observa-se que o fator tempo quadrático não é significativo a  $p \leq 0,05$ . Todos os outros fatores têm efeito positivo sobre a diferença total de cor, ou seja, um aumento em cada um deles acarreta um aumento na diferença total de cor.

Eliminando-se o fator não significativo verificou-se na análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança. Na tabela 69 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 69: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.**

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.**
Regressão	902,50	4	225,63	29,42*	4,53
Resíduo	46,01	6	7,67		
Falta de ajuste	44,14	4	11,04	11,81	19,25
Erro Puro	1,87	2	0,93		
Total	948,51	10			

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

\*Valores que se apresentam significativos a  $p \leq 0,05$ .

SQ  $\Rightarrow$  soma quadrática; GL  $\Rightarrow$  grau de liberdade; MQ  $\Rightarrow$  média quadrática.

Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (Tabela 69).

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 95,15% sendo considerado preditivo pois apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança e  $R^2$  superior a 85%.

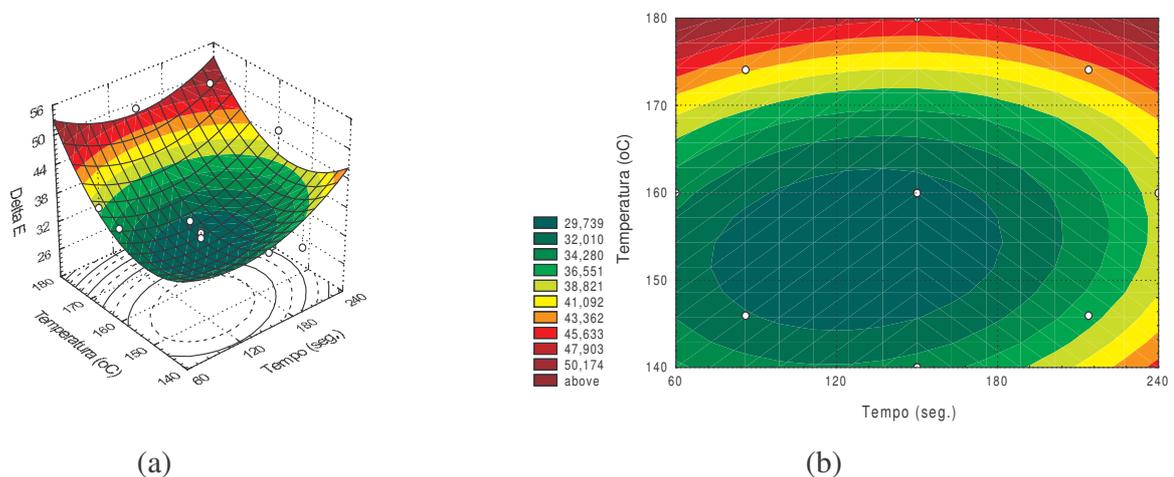
A tabela 68 apresenta os coeficientes de regressão codificados para cada um dos fatores, no entanto para melhor visualização e praticidade no uso do modelo faz-se abaixo sua apresentação decodificada:

$$\Delta E^* = 649,40 + 783,60 * 10^{-6} * t^2 - 8,11 * T + 269,55 * 10^{-4} * T^2 - 130,34 * 10^{-5} * T * t$$

Onde:  $t \Rightarrow$  tempo (seg);  $T \Rightarrow$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Obteve-se através do modelo desenvolvido para a diferença total de cor no processo a pressão ambiente, dentro da faixa experimental de tempo e temperatura estudados, variando de 14,71 (mínimos de tempo e temperatura) a 52,45 (máximos de tempo e temperatura).

A figura 34 apresenta as superfícies de resposta e de contorno para diferença total de cor desenvolvidas a partir do modelo matemático:



**Figura 34: (a) Superfície de resposta para Delta E\* no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

**(b) Superfície de contorno para Delta E\* no processo de fritura a pressão atmosférica de maçã osmoticamente desidratada.**

#### 4.6.3.2. Otimização do Processo

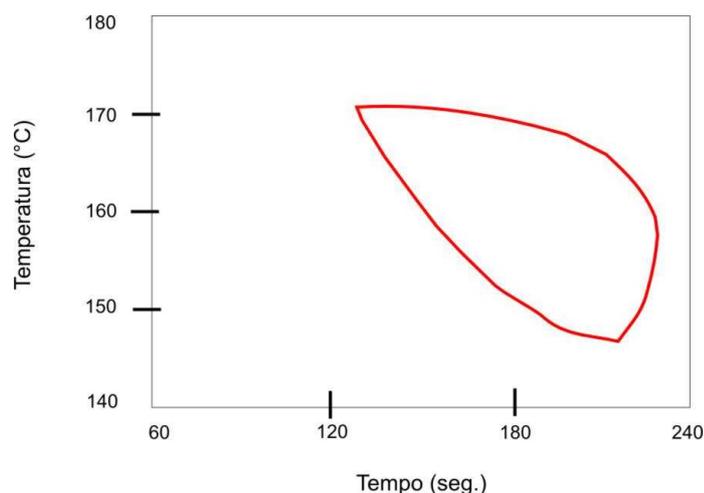
Na otimização do processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada foram analisadas as superfícies de respostas geradas a partir dos modelos matemáticos experimentais construídos através dos resultados para umidade, diferença total de cor (Delta E \*) e teor de óleo. Consideraram-se somente os fatores significativos a 95% ( $p \leq 0,05$ ).

Procurou-se obter valores de umidade inferiores a 7% (limite máximo para obtenção de crocância) e minimizar a diferença total de cor e o teor de óleo.

Identificando na superfície de contorno para umidade as áreas com valores de umidade inferiores a 7% (Figura 32) e sobrepondo esta área à superfície de contorno para delta E\* (Figura 34), obtém-se valores de delta E inferiores a 29 que correspondem a produtos com variação numéricas semelhantes aos ensaios 3, 9, 10, 11, no entanto também semelhantes aos ensaios 1, 2, 7, 5 já que todos estes não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey. Considerando-se então os valores de delta E\* dentro estes ensaios, observam-se que até o valor de 36,35 (ensaio 5) as amostras não se apresentam diferentes e possuem ainda valores elevados de luminosidade (acima de 43).

Sendo assim, definiu-se o valor de 36 como limite superior aceito no processo para diferença total de cor.

A sobreposição destas superfícies (Figuras 32 e 34) nos indica a área no gráfico onde encontramos todas as condições desejadas (Figura 35):



**Figura 35:** Faixa otimizada de tempo e temperatura no processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada.

Os valores encontrados para o teor de óleo dentro da faixa estudada se apresentam elevados, de modo que sobrepondo a área com valores de umidade inferiores a 7%, obtém-se um valor mínimo de teor de óleo de 28%. Este valor nos *chips* de batata é considerado normal, uma vez que estes produtos apresentam teores de óleo de 30 a 40%, no entanto para *chips* de fruta é bastante elevado. Para se obter uma diminuição no teor de óleo serão posteriormente estudadas a centrifugação e a fritura a vácuo.

#### 4.6.3.3. Validação dos Modelos Experimentais

Para a validação dos modelos experimentais desenvolvidos para o processo de fritura de maçã osmoticamente desidratada escolheu-se binômio tempo:temperatura que estivesse dentro das faixas otimizadas do processo.

Escolheu-se o binômio: 155°C / 180 segundos.

Foram realizadas três frituras nestas condições escolhidas e os perfis de temperatura da fritadeira em cada fritura encontram-se no anexo III.

Os resultados das determinações de umidade, teor de óleo e delta E\* no produto vindo da fritura de maçã osmoticamente desidratada nesta condição otimizada escolhida para a validação dos modelos, bem como as respostas previstas obtidas através destes modelos ajustados, encontram-se na tabela 70.

**Tabela 70:** Respostas observadas experimentalmente e respostas previstas pelos modelos matemáticos experimentais ajustados.

Determinação	Valores Experimentais	Valores Preditos
Umidade (%)	4,63 ± 0,22	5,45
Teor de Óleo (%)	30,67 ± 0,56	26,20
Delta E*	34,08 ± 0,13	29,59

Observa-se que os valores experimentais encontram-se próximos dos valores previstos pelos modelos experimentais matemáticos reforçando a validade dos mesmos.

#### 4.6.3.4. Caracterização do Produto Otimizado

Com o objetivo de caracterizar o produto vindo do processo de fritura foram realizadas diversas determinações. A tabela 71 apresenta os valores destas determinações:

**Tabela 71:** Determinações nos *chips* de maçã obtidos através do processo combinado de desidratação osmótica e fritura, nas condições de validação do processo (155°C/180 s).

Determinação	Valores
Umidade (%)	3,63 ± 0,22
Sólidos totais (%)	96,37 ± 0,22
Teor de óleo (%)	30,52 ± 0,70
Acidez (expresso em % de ácido málico)	0,29 ± 0,01
Aa	0,420 ± 0,003
pH	4,14 ± 0,01
Açúcar não redutor (%)	27,6 ± 1,57
Açúcar redutor (%)	6,86 ± 0,14
Açúcar total (%)	34,46 ± 1,43

Não foi determinada a presença de vitamina C na maçã frita indicando que este composto foi completamente degradado durante o processo de fritura.

Observando-se o valor de Aa na tabela acima, constata-se que é um do produto de baixa Aa segundo UBOLDI EIROA (1981), sendo portanto microbiologicamente estável, mas sujeito à oxidação lipídica.

Realizou-se também análise instrumental de cor cujos resultados são apresentados na tabela 72:

**Tabela 72:** Valores médios de L\*, a\* e b\* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) nos *chips* de maçã obtidos no processo combinado de desidratação osmótica e fritura, nas condições de validação do processo (155°C / 180 seg).

Parâmetro	Valor
L*	62,19
a*	9,38
b*	23,69

## ÍNDICE

4.7. Centrifugação .....	142
4.7.1. Estudo do tempo de centrifugação.....	142
4.8. Utilização de Coberturas Comestíveis Aplicadas Previamente ao Processo de Fritura .....	143
4.7.2. Secagem das Coberturas.....	143
4.7.3. Incorporação de Óleo .....	144
4.7.3.1. Aplicação de Cobertura Posterior ao Processo de Desidratação Osmótica.....	144
4.7.3.2. Aplicação da Cobertura Previamente ao Processo de Desidratação Osmótica.....	145
4.7.3.3. Uso de Polissacarídeos no Xarope Durante o Processo de Desidratação Osmótica.....	146
4.7.4. Caracterização dos Produtos.....	147
4.9. Análise sensorial.....	149
4.7.5. Processo Combinado Desidratação Osmótica e Fritura .....	149
4.7.6. Utilizando Coberturas Comestíveis .....	155
4.10. Microscopia .....	159

## LISTA DE TABELAS

Tabela 73: Teores de lipídeos nos <i>chips</i> de maçã obtidos pelo processo combinado de desidratação osmótica + fritura e posterior remoção de óleo em papel absorvente ou por centrifugação .....	143
Tabela 74: Valores de sólidos totais e lipídeos nos <i>chips</i> de maçã cobertos com pectina ou alginato de sódio.....	144
Tabela 75: Valores de sólidos totais e lipídeos nos <i>chips</i> de maçã revestidos com pectina e alginato de sódio previamente ao processo de desidratação osmótica.....	145
Tabela 76: Determinações no processo de desidratação osmótica de maçã com o uso de 0,1% pectina no xarope. ....	146
Tabela 77: Valores de sólidos totais e lipídeos na maçã desidratada osmoticamente em xarope de sacarose com 0,1% de pectina e frita.....	147
Tabela 78: Determinações na maçã em diferentes processos.....	148
Tabela 79: Valores médios de L*, a*, b*, $\Delta C^*$ , $\Delta E^*$ (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) na maçã em diferentes processos.....	148
Tabela 80: Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global dos <i>chips</i> de maçã armazenados pelo período de 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.....	149
Tabela 81: Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global das amostras de <i>chips</i> de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio. ....	155

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 36: Histograma de frequência dos valores hedônicos atribuídos a cada atributo aos *chips* de maçã (obtido pelo método combinado de desidratação osmótica e fritura) estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias. .... 152
- Figura 37: Histograma de intenção de compra de *chips* de maçã estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias. .... 153
- Figura 38: Histograma de frequência dos valores hedônicos atribuídos aos atributos avaliados (aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) para *chips* de maçã com revestimentos de pectina e alginato de sódio e sem revestimento. .... 157
- Figura 39: Histograma de intenção de compra de *chips* de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio e sem revestimento. .... 159
- Figura 40- Maçã *in natura*: a estrutura está preservada. .... 160
- Figura 41- Maçã DO + cobertura de alginato + fritura: a pequena compactação das camadas celulares é devida ao processo de osmose. Não foi observada interferência da fritura nas estruturas celulares da maçã. .... 160
- Figura 42- Maçã DO + cobertura de pectina + fritura: não observou-se diferença estrutural em relação ao tratamento com alginato. .... 161
- Figura 43 - DO + cobertura de alginato (sem fritura): o filme ( $\Rightarrow$ ) translúcido é visível apenas quando a fatia é seccionada. .... 162
- Figura 44 - DO + cobertura de pectina (sem fritura): não há diferença aparente entre os filmes, o aspecto macroscópico é sempre vítreo. .... 162
- Figura 45- DO + cobertura de alginato + fritura: a estrutura permanece inalterada; o filme está aderido e uniforme. .... 163
- Figura 46- DO + cobertura de pectina + fritura: a secção perpendicular à superfície demonstra preservação estrutural e semelhança com a figura precedente. .... 163
- Figura 47: As setas indicam áreas mais densas devido a presença de feixes vasculares. A região demarcada mostra áreas opacas alternadas com áreas translúcidas; é uma formação característica na secção da fruta. .... 164

#### **4.7. CENTRIFUGAÇÃO**

Na tentativa de diminuir o teor de óleo presente nos *chips* de maçã, uma alternativa foi a remoção de parte deste óleo incorporado após o processo de fritura utilizando a centrifugação.

Como as fatias de maçã são relativamente grandes (diâmetro variando de quatro à 8cm) e o óleo utilizado tende a solidificar em temperatura ambiente, optou-se por utilizar uma centrífuga onde as fatias de maçãs fritas pudessem ser fácil e diretamente colocadas a fim de conduzir a centrifugação o mais rápido possível. Uma opção encontrada foi utilizar uma centrífuga para roupa que apresenta uma abertura suficientemente grande facilitando a colocação do produto. Considerando que a elevada rotação da centrífuga (5500rpm), ocasionava a quebra dos *chips*, adaptou-se um variador de frequência Keldian, Variac Varikeld, com o objetivo de diminuir a velocidade de rotação. Desta forma foram obtidas rotações centrífugas de aproximadamente 1000, 1500, 3500 e 4600rpm, sendo a rotação de 1500rpm a maior velocidade que não ocasionou quebra dos *chips* e portanto a rotação utilizada para os testes de centrifugação.

##### **4.7.1. Estudo do tempo de centrifugação**

Os *chips* fritos pré-desidratados osmoticamente foram centrifugados na centrífuga de cesto descrita no item anterior na velocidade de 1500rpm por 4, 8, 12, 16 e 20 minutos.

Os ensaios foram realizados em triplicata e analisou-se o teor de lipídeos nos *chips* com e sem centrifugação. As médias de incorporação de óleo pelos *chips* de maçã encontram-se na tabela 73:

**Tabela 73:** Teores de lipídeos nos *chips* de maçã obtidos pelo processo combinado de desidratação osmótica + fritura e posterior remoção de óleo em papel absorvente ou por centrifugação .

Remoção do excesso de óleo	Lipídeos (g/100g matéria seca)
Sem remoção	34,65 <sup>a</sup>
Com papel absorvente	29,45 <sup>b</sup>
Centrifugação: 4 minutos	29,27 <sup>b</sup>
Centrifugação: 8 minutos	29,12 <sup>b</sup>
Centrifugação: 12 minutos	28,67 <sup>b</sup>
Centrifugação: 16 minutos	27,3 <sup>b</sup>
Centrifugação: 20 minutos	27,24 <sup>b</sup>

OBS: Valores com letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância estatística pelo teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 73 que há apenas diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística com relação a amostra sem qualquer tipo de remoção do excesso de óleo. Entre as demais amostras não há diferença significativa.

Pode-se concluir que a operação de centrifugação é eficiente apenas para se remover a parte do óleo em excesso na superfície dos *chips* não sendo eficiente para remover o óleo que foi incorporado durante o processo de fritura, uma vez que mesmo aumentando-se o tempo de centrifugação não se altera de modo significativo o teor de óleo no produto.

No entanto, a centrifugação pode ser utilizada para substituir a remoção de óleo feita anteriormente com o uso de papel absorvente, ainda porque este sistema de remoção do excesso de óleo seria industrialmente inviável. Substitui-se então o uso do papel absorvente pela centrifugação pelo período de 4 minutos.

#### **4.8. UTILIZAÇÃO DE COBERTURAS COMESTÍVEIS APLICADAS PREVIAMENTE AO PROCESSO DE FRITURA**

##### **4.7.2. Secagem das Coberturas**

Após as imersões das fatias de maçã nas soluções pectina e alginato de sódio e de cloreto de cálcio foi necessária a secagem do sistema para a formação da cobertura.

Diversas porções com 10 fatias de maçãs recobertas foram penduradas em estufa com circulação de ar na temperatura de 35° C e a cada 15 minutos foi retirada uma porção e avaliada se a cobertura estava integralmente formada.

Constatou-se que decorridos 120 minutos nestas condições as coberturas já estavam integralmente formadas.

#### 4.7.3. Incorporação de Óleo

O principal objetivo da utilização de cobertura comestível previamente ao processo de fritura foi verificar se esta técnica seria efetiva para a diminuição do teor de óleo incorporado pelos *chips* durante o processo de fritura.

Testou-se a utilização dos polissacarídeos como coberturas previamente ao processo de fritura em três situações diferentes: após a desidratação osmótica, antes da desidratação osmótica e com os polissacarídeos diretamente no xarope durante a desidratação osmótica (neste caso, não se pode dizer que houve a formação da cobertura propriamente dita).

##### 4.7.3.1. Aplicação de Cobertura Posterior ao Processo de Desidratação Osmótica

Utilizou-se como cobertura nas fatias de maçã pectina ou alginato de sódio em diferentes concentrações. Os resultados do teor de óleo incorporado pelos *chips* de maçã cobertos com estes polissacarídeos encontram-se na tabela 74:

**Tabela 74:** Valores de sólidos totais e lipídeos nos *chips* de maçã cobertos com pectina ou alginato de sódio.

Cobertura	Sólidos Totais (%)	Lipídeos (g/100g matéria seca)
2 % Alginato de Sódio	96,06	12,22 <sup>a</sup>
2 % Pectina	95,87	12,59 <sup>a</sup>
4 % Pectina	96,24	12,29 <sup>a</sup>

OBS: Valores com letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância estatística pelo teste de Tukey.

Analisando os resultados apresentados na tabela 74, observa-se que não há diferença significativa no teor de lipídeos nos *chips* de maçã independente do tipo e concentração de polissacarídeo utilizado para a cobertura.

Comparando-se os resultados apresentados na tabela 74 com os valores de lipídeos encontrados nos *chips* de maçã sem cobertura (Tabela 73), observa-se que com a utilização dos revestimentos de pectina ou alginato de sódio obteve-se uma redução no teor de óleo em torno de 60%.

Conclui-se assim que o uso destes tipos de polissacarídeos como coberturas é eficiente para a redução da incorporação de óleo pelos *chips* de maçã durante o processo de fritura. Conclui-se ainda que o aumento da concentração de pectina de 2 para 4% não se apresentou como melhor barreira à entrada de óleo.

Aumentos nas concentrações das soluções de polissacarídeos acima das concentrações utilizadas tornam-se extremamente difíceis de serem utilizadas devido à alta viscosidade das mesmas.

#### 4.7.3.2. Aplicação da Cobertura Previamente ao Processo de Desidratação Osmótica

Utilizaram-se os mesmos polissacarídeos, pectina e alginato de sódio, na formação das coberturas previamente ao processo de desidratação osmótica. Os resultados do teor de óleo incorporado pelos *chips* de maçã revestidos encontram-se na tabela 75.

**Tabela 75:** Valores de sólidos totais e lipídeos nos *chips* de maçã revestidos com pectina e alginato de sódio previamente ao processo de desidratação osmótica.

Cobertura	Sólidos Totais (%)	Lipídeos (g/100g matéria seca)
2 % Alginato de Sódio	97,18 ± 0,17	27,62 <sup>a</sup> ± 0,87
2 % Pectina	97,37 ± 0,09	24,88 <sup>b</sup> ± 0,82
4 % Pectina	97,30 ± 0,04	26,76 <sup>a</sup> ± 0,64

OBS: Valores com letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância estatística pelo teste de Tukey.

Analisando os resultados apresentados na tabela 75, observa-se que não há diferença significativa no teor de lipídeos nos *chips* de maçã com o uso de 2% de alginato de sódio e 4% de pectina, sendo o teor de lipídeos nos *chips* de maçã com cobertura de 2% de pectina inferior aos demais.

Comparando-se os resultados apresentados na tabela 75 com os valores de lipídeos encontrados nos *chips* de maçã sem revestimento (Tabela 73)

observa-se que com a utilização dos revestimentos de 2% alginato de sódio e 2 e 4% de pectina obteve-se uma redução no teor de óleo da ordem de 5,6; 15 e 8,6% respectivamente. Comparando-se estes mesmos resultados com os valores de lipídeos encontrados nos *chips* de maçã com revestimento posterior a desidratação osmótica (Tabela 74), observa-se que não houve nenhuma redução, são todos superiores aos valores anteriormente encontrados.

Conclui-se assim que o uso destes tipos de coberturas antes da desidratação osmótica não é tão eficiente para a redução da incorporação de óleo pelos *chips* de maçã quando as mesmas são utilizadas posteriormente a desidratação osmótica. Deste modo não foram realizadas análises sensoriais e análises para caracterização destes *chips* provenientes do uso de coberturas previamente ao processo de desidratação osmótica por apresentarem elevado teor de óleo.

#### 4.7.3.3. *Uso de Polissacarídeos no Xarope Durante o Processo de Desidratação Osmótica*

Procedendo-se a desidratação osmótica com 0,1% de pectina no xarope de sacarose (65°Brix), conforme descrito na metodologia, obteve-se as taxas apresentadas na tabela 76 para alguns parâmetros do processo.

**Tabela 76:** Determinações no processo de desidratação osmótica de maçã com o uso de 0,1% pectina no xarope.

Determinação (%)	<i>In natura</i>	Desidratada osmoticamente
Sólidos totais	16,98	37,15
Incorporação de sólidos	-	31,96
Perda de peso	-	41,08
Perda de umidade	-	55,60

Após a desidratação osmótica as fatias de maçã foram fritas nas mesmas condições anteriores e determinaram-se os teores de lipídeos nos *chips*. Os resultados das determinações são apresentados na tabela 77.

**Tabela 77:** Valores de sólidos totais e lipídeos na maçã desidratada osmoticamente em xarope de sacarose com 0,1% de pectina e frita.

Determinação (%)	Maçã Desidratada Osmoticamente e Frita
Sólidos totais	97,04 ± 0,07
Lipídeos	25,41 ± 0,83

Comparando-se os resultados apresentados na tabela 77 com os teores de lipídeos encontrados nos *chips* de maçã sem revestimento (Tabela 73) observa-se que com a utilização de 0,1% de pectina no xarope de desidratação osmótica obteve-se uma redução no teor de óleo de 13,19%. Por outro lado, comparando-se este mesmo resultado da tabela 73 com os valores de lipídeos encontrados nos *chips* de maçã com revestimentos de pectina ou alginato de sódio posterior a desidratação osmótica (Tabela 74), observa-se que não houve nenhuma redução no teor de lipídeos.

Conclui-se assim que o uso de pectina no xarope de desidratação osmótica não é tão eficiente para a redução da incorporação de óleo pelos *chips* de maçã durante o processo de fritura. Deste modo não foram realizadas análises sensoriais e outras análises para caracterização destes *chips* provenientes do uso da fritura de fatias de maçã vindas do processo de desidratação osmótica com 0,1% de pectina no xarope por apresentarem elevado teor de óleo.

#### 4.7.4. Caracterização dos Produtos

Com o objetivo de caracterizar os produtos com baixos teores de óleo obtidos com o uso de coberturas comestíveis aplicadas previamente ao processo de fritura foram realizadas diversas determinações. A tabela 78 apresenta os valores destas determinações.

**Tabela 78:** Determinações na maçã em diferentes processos.

Determinação	<i>In Natura</i>	DO	DO+Alg+Fritura	DO+Pect+fritura
Umidade (%)	83,61 ± 1,67	59,65 ± 0,46	4,83 ± 0,09	3,64 ± 0,12
Sólidos totais (%)	16,39 ± 1,67	40,35 ± 0,46	95,17 ± 0,09	96,36 ± 0,12
Teor de óleo (%)	-	-	12,35 ± 0,21	12,56 ± 0,32
Acidez (% de ácido málico)	0,118 ± 0,009	0,541 ± 0,009	0,373 ± 0,017	0,557 ± 0,017
Aa	0,996 ± 0,001	0,967 ± 0,001	0,385 ± 0,001	0,287 ± 0,003
pH	5,42 ± 0,11	4,29 ± 0,03	4,03 ± 0,07	4,34 ± 0,28
Á. Ascórbico (mg/100g)	9,43 ± 0,36	2,87 ± 0,25	-	-
Açúcar não redutor (%)	3,26 ± 0,87	13,10 ± 1,15	12,57 ± 1,27	12,03 ± 1,19
Açúcar redutor (%)	5,71 ± 0,11	4,01 ± 0,17	3,65 ± 0,22	3,78 ± 0,24
Açúcar total (%)	8,97 ± 0,76	17,11 ± 0,98	16,22 ± 1,05	15,81 ± 0,95

DO= Desidratação Osmótica (35°C/180min)

DO+Alg+fritura= Desid. osmótica + Cobertura 2% de Alginato + Fritura (155°C/ 180s)

DO+Pect+fritura= Desid. osmótica + Cobertura 2% de Pectina + Fritura (155°C / 180s)

Não foi determinada a presença de vitamina C na maçã frita indicando que este composto, sendo termo-sensível, foi completamente degradado durante o processo de fritura.

Observando-se o valor de Aa na tabela 78, constata-se que os *chips* são produtos de baixa Aa segundo UBOLDI EIROA (1981), sendo portanto microbiologicamente estáveis.

Realizou-se também análise instrumental de cor cujos resultados são apresentados na tabela 79:

**Tabela 79:** Valores médios de L\*, a\*, b\*, ΔC\*, ΔE\* (calibração RSIN; iluminante D65/10°; sistema CIELAB) na maçã em diferentes processos.

Parâmetro	L*	a*	b*	ΔE*	ΔC*
Desid. Osmótica	80,22 <sup>b</sup>	1,40 <sup>b</sup>	32,52 <sup>b</sup>	-	-
DO+Alg+Fritura	65,15 <sup>a</sup>	7,36 <sup>a</sup>	21,11 <sup>a</sup>	19,81 <sup>a</sup>	-10,19 <sup>a</sup>
DO+Pect+fritura	70,33 <sup>a</sup>	7,19 <sup>a</sup>	25,86 <sup>a</sup>	13,25 <sup>a</sup>	-5,71 <sup>a</sup>

DO+Alg+fritura= Desid. osmótica + Cobertura 2% de Alginato + Fritura (155°C/ 180 s);

DO+Pect+fritura= Desid. osmótica + Cobertura 2% de Pectina + Fritura (155°C / 180 s);

ΔC\* ⇒ diferença de croma; ΔE\* ⇒ diferença total de cor.

Obs: Médias em uma mesma coluna que possuam letras sobscritas iguais, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se na tabela 79 que não há diferença significativa, para os parâmetros de cor determinados, entre os *chips* cobertos com pectina ou alginato de sódio e ambos diferem significativamente da maçã osmoticamente desidratada.

#### 4.9. ANÁLISE SENSORIAL

Os testes afetivos, realizados em laboratório, tem por objetivo estimar a preferência ou aceitação de um determinado produto através de uma equipe de provadores. São realizados com um número mínimo de 25 provadores (consumidores) e tem como vantagem o baixo custo, o controle das condições de realização do teste e a rápida obtenção dos resultados.

##### 4.7.5. Processo Combinado Desidratação Osmótica e Fritura

Na tabela 80, tem-se a aceitação média e as porcentagens de aprovação e rejeição dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global para os *chips* de maçã (obtido pelo processo combinado de desidratação osmótica e fritura), referentes a 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias de armazenamento.

**Tabela 80:** Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global dos *chips* de maçã armazenados pelo período de 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.

Tempo (Dias)		Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global
1	M	7,65 <sup>a</sup>	7,57 <sup>a</sup>	6,78 <sup>a</sup>	7,61 <sup>a</sup>	7,07 <sup>a</sup>	7,39 <sup>a</sup>
	%aprov	100,00	97,83	91,30	100,00	93,48	97,83
	%rej	0,00	2,17	8,70	0,00	6,52	2,17
31	M	7,38 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>	6,65 <sup>a</sup>	7,25 <sup>a</sup>	5,78 <sup>b</sup>	7,05 <sup>a,b</sup>
	%aprov	92,68	92,68	85,37	92,68	73,17	95,12
	%rej	7,32	7,32	14,63	7,32	26,83	4,88
60	M	7,29 <sup>a</sup>	7,24 <sup>a</sup>	6,74 <sup>a</sup>	6,74 <sup>a,b</sup>	4,83 <sup>b,c</sup>	6,21 <sup>b,c</sup>
	%aprov	97,62	95,24	95,24	90,48	59,52	88,10
	%rej	2,38	4,76	4,76	9,52	40,48	11,90
90	M	7,24 <sup>a</sup>	7,30 <sup>a</sup>	6,27 <sup>a,b</sup>	6,12 <sup>b,c</sup>	4,79 <sup>d</sup>	6,09 <sup>c,d</sup>
	%aprov	96,97	96,97	87,88	69,70	54,55	78,79
	%rej	3,03	3,03	12,12	30,30	45,45	21,21
105	M	7,02 <sup>a</sup>	7,12 <sup>a</sup>	5,64 <sup>b</sup>	5,93 <sup>b,c</sup>	4,17 <sup>c</sup>	5,67 <sup>c,d</sup>
	%aprov	90,48	95,24	69,05	69,05	38,10	69,05
	%rej	9,52	4,76	30,95	30,95	61,90	30,95
120	M	6,48 <sup>b</sup>	6,91 <sup>b</sup>	5,42 <sup>b</sup>	5,36 <sup>c</sup>	4,06 <sup>d</sup>	5,30 <sup>d</sup>
	%aprov	90,90	96,97	69,70	60,61	36,36	63,64
	%rej	9,09	3,03	30,30	39,39	63,64	36,36

OBS: M= média das notas dadas pelos provadores. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey;

% aprov = % da somatória das notas superiores a 5;

% rej = % da somatória das notas inferiores a 5.

Observa-se que as médias para os atributos aparência e cor das amostras armazenadas pelo período de 1 a 105 dias não diferem entre si ao nível de 5% de

significância estatística, apresentando neste período média de aceitação para cada um estes atributos próximas ou superiores a 7, situando-se na escala hedônica entre as categorias “Gostei moderadamente” e “Gostei muito”.

As médias para o atributo aroma nas amostras armazenadas até 90 dias não diferem entre si. Neste período recebeu notas entre 6 e 7, situando-se na escala hedônica entre as categorias “Não gostei, nem desgostei” e “Gostei moderadamente”.

Para o atributo sabor, observa-se diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística a partir de 60 dias de armazenamento, passando a aceitação média na escala hedônica da categoria de “Gostei moderadamente” para “Não gostei, nem desgostei”.

O atributo textura foi o que variou mais rapidamente (diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística em 31 dias de armazenamento) com média de aceitação decrescente, variando na escala hedônica da categoria “Gostei moderadamente” para “Desgostei ligeiramente”.

Avaliando as médias para impressão global pode-se concluir que o atributo textura é o que mais a influenciou, uma vez que permanecendo todos os outros atributos sem apresentar diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística pelo menos até 90 dias, a média para impressão global apresentou-se diferente a partir de 60 dias, período este no qual só a textura variou significativamente.

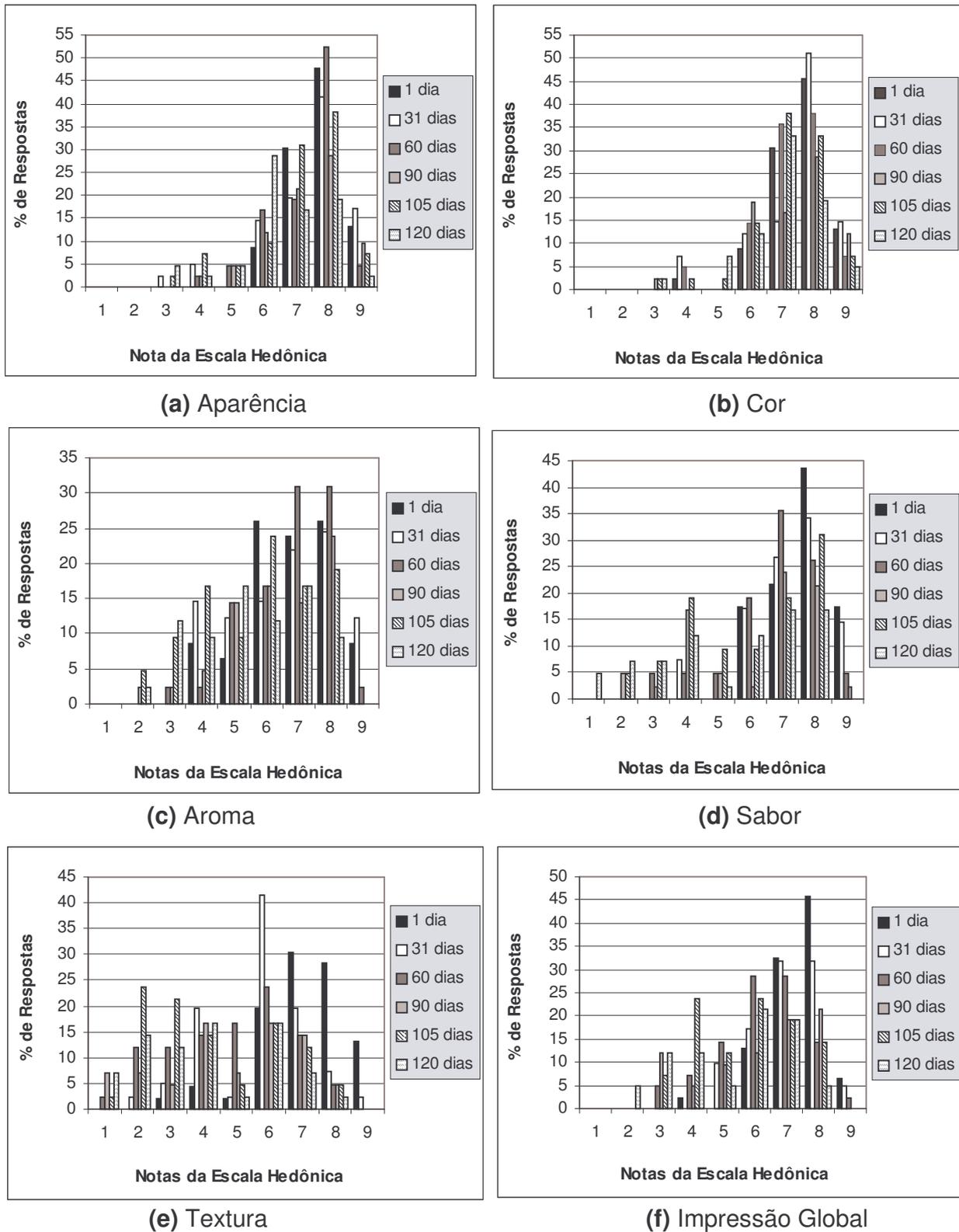
No que diz respeito à porcentagem de aprovação dos atributos avaliados, para as amostras armazenadas no período de 1 dia variaram de 100 (atributos aparência e sabor) a 91,30 (atributo aroma) para: 95,12 (impressão global) a 73,17 (textura) com 31 dias de armazenamento; 97,62 (aparência) a 59,52 (textura) com 60 dias de armazenamento; 96,97 (aparência e cor) a 54,55 (textura) com 90 dias de armazenamento; 90,48 (aparência) a 38,10 (textura) para 105 dias de armazenamento; 96,97 (cor) a 36,36 (textura) para 120 dias de armazenamento.

A porcentagem de aprovação dos *chips* de maçã por parte dos provadores para todos os atributos foi superior a 50% até 90 dias, a partir de então, para o atributo textura apresentou-se inferior a 50%.

Na análise das notas de aceitabilidade por ANOVA, seguida do teste de Tukey, constrói-se um modelo estatístico baseado nas médias dos valores obtidos para cada amostra, considerando-se que estes tenham uma distribuição normal simplesmente observa-se se há diferença significativa entre elas. Entretanto, a média é afetada por valores extremos dentro de um conjunto, por uma distribuição assimétrica ou por uma distribuição multi-modal, que pode indicar segmentação substancial entre os provadores não revelada pela ANOVA ou pelo teste de média utilizado.

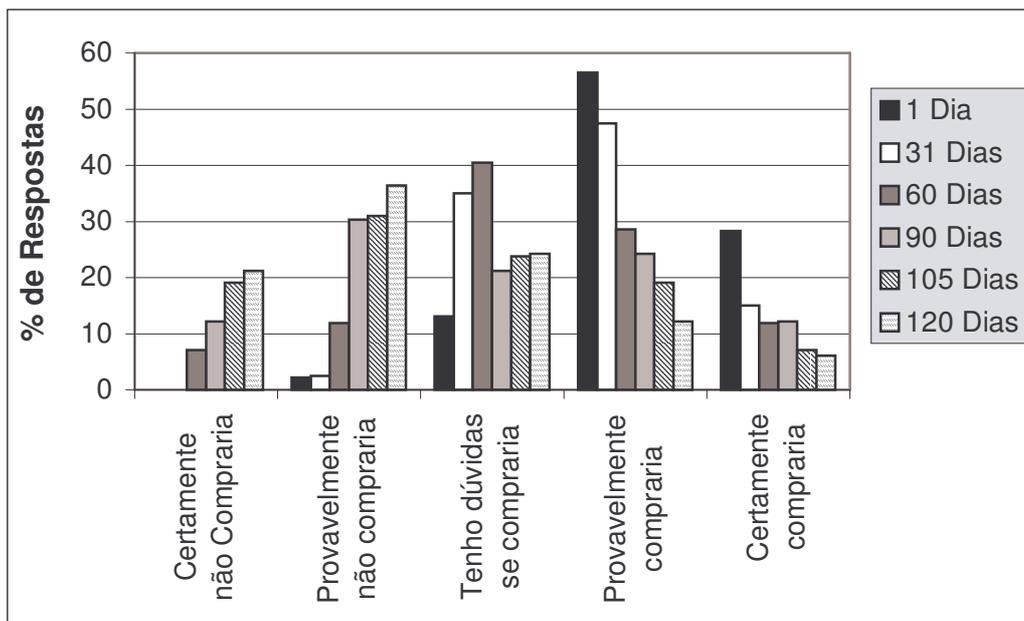
Outra forma de se avaliar a escala hedônica é a análise de distribuição de freqüência dos valores hedônicos obtidos por cada amostra através de histogramas. Os histogramas tornam possível uma visualização da segmentação dos valores hedônicos para cada amostra, revelando o nível de aceitação e rejeição da mesma junto aos consumidores e permitindo a verificação de uma possibilidade de distribuição não normal.

A figura 36 (a,b,c,d,e,f) mostra os histogramas de distribuição das notas recebidas para cada um dos atributos (aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) em cada tempo de estocagem dos *chips* de maçã.



**Figura 36: Histograma de freqüência dos valores hedônicos atribuídos a cada atributo aos *chips* de maçã (obtido pelo método combinado de desidratação osmótica e fritura) estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.**

Através destes histogramas na figura 36, pode-se verificar que a maioria das notas recebidas pelas amostras de *chips* de maçã para cada um dos atributos (aroma, sabor, cor, aparência, textura e impressão global) para todos os períodos de armazenamento (1 à 120 dias), situam-se na região indicativa de aprovação do produto (valores iguais ou superiores a 5) convergindo para o lado direito do histograma com exceção do atributo textura que a partir de 90 dias começa a convergir para o lado esquerdo do histograma (região indicativa de rejeição do produto). Observa-se assim, que não há possibilidade de um comportamento multi-modal das distribuições, comportamento este que sugeriria que há uma determinada proporção de provadores que aprovam a amostra e uma mesma proporção de provadores que rejeitam a amostra fazendo com que o simples cálculo da média anulasse este efeito antagônico não possibilitando a detecção da segmentação dos provadores.



**Figura 37:** Histograma de intenção de compra de *chips* de maçã estocados por 1, 31, 60, 90, 105 e 120 dias.

Observa-se na figura 37 que a intenção de compra dos provadores que comprariam o produto (somatória da porcentagem dos provadores que certamente comprariam e provavelmente comprariam) variou de 84,8% (com um dia de armazenamento) para 62,5% (com 31 dias de armazenamento) ao passo que a

intenção de compra dos provadores que não comprariam (somatória da porcentagem dos provadores que certamente não comprariam e provavelmente não comprariam) o produto manteve-se praticamente constante (2,2 e 2,5% respectivamente) neste período de armazenamento, estando o restante dos provadores em dúvida se comprariam ou não comprariam o produto (13 e 35% para os *chips* com um e 31 dias de armazenamento respectivamente). Como a porcentagem dos provadores que não comprariam o produto manteve-se constante, observa-se que parte dos provadores que comprariam o produto com um dia de armazenamento passaram a ter dúvida no 31º dia, mas a porcentagem de provadores que comprariam mostrou-se superior a porcentagem de provadores que não comprariam o produto.

Com 60 dias de armazenamento, a porcentagem de provadores que comprariam o produto era também superior a porcentagem de provadores que não comprariam o produto, no entanto esta última aumentou em torno de 17% comparando-se ao armazenamento por 31 dias. A porcentagem de provadores que comprariam o produto e que estavam em dúvida se o comprariam se igualou neste período (40,5%).

Com 90 dias de armazenamento a porcentagem de provadores que comprariam o produto (36,4%) era inferior à porcentagem de provadores que não comprariam (42,4%), havendo 21,2% em dúvida se o comprariam ou não o comprariam.

A porcentagem de provadores que não comprariam o produto atinge 50% com 105 dias de armazenamento, estando neste período 23,8% dos provadores em dúvida se comprariam ou não comprariam o produto.

Com 120 dias de armazenamento a porcentagem dos provadores que comprariam o produto era de 18,21% contra 57,6% que não comprariam.

Embora no período de 120 dias de armazenamento as médias de aceitação para os atributos avaliados não tenham sido reduzidas em 50% (a maior queda referiu-se à textura que apresentou média de 7,07% no primeiro dia e 4,06% em 120 dias, correspondendo a 57,4% da media inicial), o produto já não se apresentava com boa aceitação por parte dos provadores a partir de 105 dias de armazenamento com as médias para os atributos aroma, sabor e impressão global

entre as categorias “nem gostei, nem desgostei” e “gostei ligeiramente” (entre 5 e 6) e para o atributo textura com média entre as categorias “desgostei ligeiramente” e “nem gostei, nem desgostei” (entre 4 e 5). Observa-se ainda que neste mesmo período de 105 dias de armazenamento a porcentagem de provadores que não comprariam o produto atinge 50%. Devido a estas baixas aceitações do produto e a baixa intenção de compra por parte dos provadores, a análise sensorial foi interrompida com 120 dias de armazenamento dos *chips* de maçã obtidos pelo método combinado de fritura e desidratação osmótica.

A textura foi um dos atributos que apresentou maior queda na apreciação dos provadores. Para se manter uma boa textura apresenta-se necessário então o estudo de uma embalagem mais adequada.

#### 4.7.6. Utilizando Coberturas Comestíveis

Na tabela 81, tem-se a aceitação média e as porcentagens de aprovação e rejeição dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global para os *chips* de maçã utilizando cobertura de pectina ou alginato de sódio após a desidratação osmótica.

**Tabela 81:** Aceitação média dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global das amostras de *chips* de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio.

Atributo	Pectina			Alginato			Sem cobertura		
	M <sup>1</sup>	% Ap <sup>2</sup>	%Rej <sup>3</sup>	M <sup>1</sup>	% Ap <sup>2</sup>	%Rej <sup>3</sup>	M <sup>1</sup>	% Ap <sup>2</sup>	%Rej <sup>3</sup>
Aparência	6,64 <sup>b</sup>	100,00	0,00	6,52 <sup>b</sup>	90,91	9,09	7,67 <sup>a</sup>	96,97	3,03
Cor	6,64 <sup>b</sup>	90,91	9,09	6,67 <sup>b</sup>	93,94	6,06	7,52 <sup>a</sup>	96,97	3,03
Aroma	6,67 <sup>a</sup>	90,91	9,09	6,48 <sup>a</sup>	87,88	12,12	6,33 <sup>a</sup>	84,85	15,15
Sabor	7,09 <sup>a</sup>	96,97	3,03	6,61 <sup>a</sup>	87,88	12,12	6,61 <sup>a</sup>	90,01	90,09
Textura	6,58 <sup>a</sup>	84,85	15,15	6,00 <sup>a</sup>	75,76	24,24	6,76 <sup>a</sup>	87,88	12,12
l. global	6,76 <sup>a</sup>	90,91	9,09	6,79 <sup>a</sup>	96,97	3,03	7,09 <sup>a</sup>	100,00	0,00

OBS: 1- M = médias das notas dadas pelos provadores. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey;

2- % de Aprovação = % da somatória das notas superiores a 5;

3- % de Rejeição = % da somatória das notas inferiores a 5;

l. global = Impressão global.

As médias de aceitação para os atributos avaliados nos *chips* de maçã sem cobertura e com coberturas de pectina ou alginato de sódio, com exceção

dos atributos aparência e cor não diferem entre si ao nível de 5% de significância estatística.

A maior parte das médias de aceitação dos *chips* de maçã para cada atributo está entre 6 e 7 situando-se na escala hedônica nas categorias “Gostei ligeiramente” e “Gostei moderadamente”. As médias obtidas pelo atributo sabor da amostra de *chips* com cobertura de pectina e as médias obtidas para os atributos aparência, cor e impressão global para a amostra de *chips* sem cobertura apresentaram-se um pouco superiores a 7: situando-se entre as categorias “Gostei moderadamente” e “Gostei muito”.

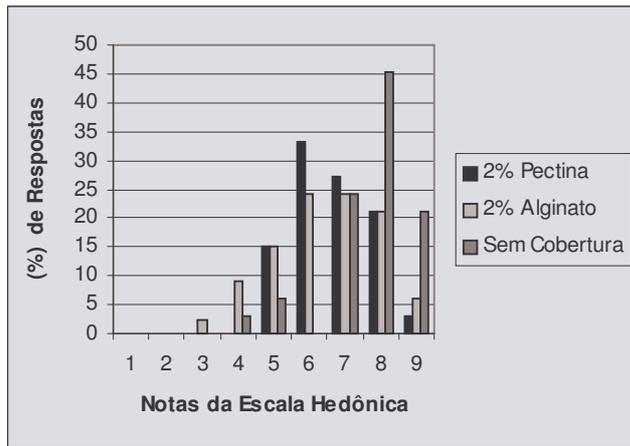
Para o atributo aparência, embora a média obtida pelos *chips* com cobertura de pectina tenha sido menor e significativamente diferente da amostra de *chips* sem cobertura, o primeiro apresentou aprovação de 100% contra 96,97% dada aos *chips* sem cobertura.

Para o atributo cor, a maior média recebida, pelos *chips* sem cobertura (7,52), também correspondeu a maior porcentagem de aprovação (96,97%) pelos provadores.

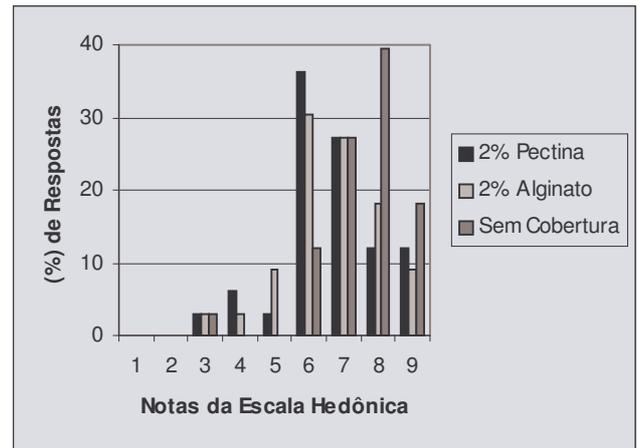
Embora as médias para o *chips* de maçã sem cobertura para os atributos aparência e cor (7,67 e 7,52 respectivamente) sejam significativamente diferentes das médias para os *chips* com cobertura, esta diferença não foi tão importante no que diz respeito ou alginato de sódio) não se apresentaram significativamente diferentes.

A figura 38 (a,b,c,d,e,f) mostra os histogramas de distribuição das notas recebidas para cada um dos atributos avaliados (aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) nos *chips* de maçã sem revestimento e com revestimentos de pectina ou alginato de sódio.

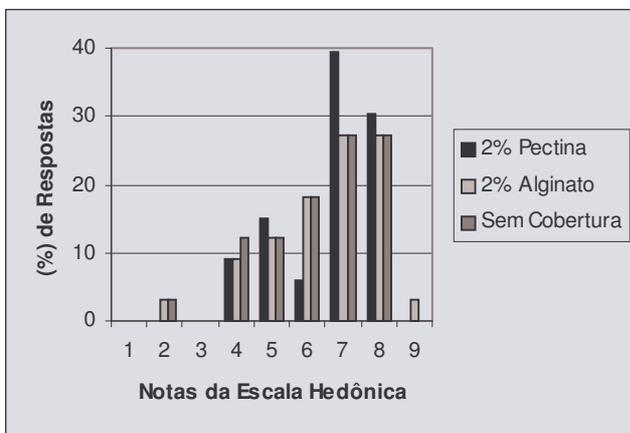
Através dos histogramas na figura 38, pode-se verificar que a maioria das notas recebidas para cada um dos atributos avaliados (aroma, sabor, cor, aparência, textura e impressão global) nos *chips* de maçã sem coberturas ou com coberturas de pectina ou alginato de sódio, situam-se na região indicativa de aprovação do produto (valores iguais ou superiores a 5) convergindo para o lado direito do histograma. Observa-se também que não há um comportamento multi-modal das distribuições.



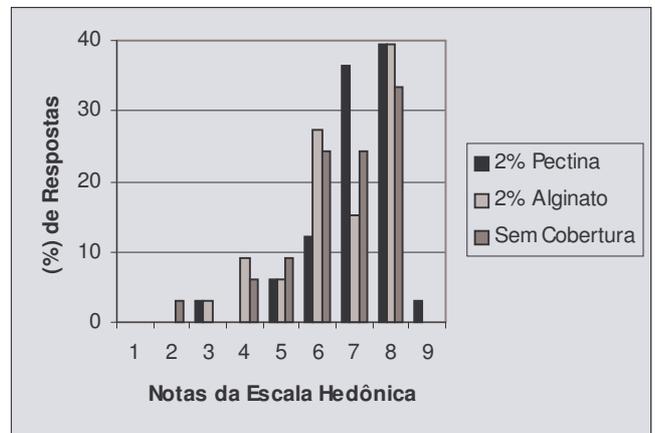
(a) Aparência



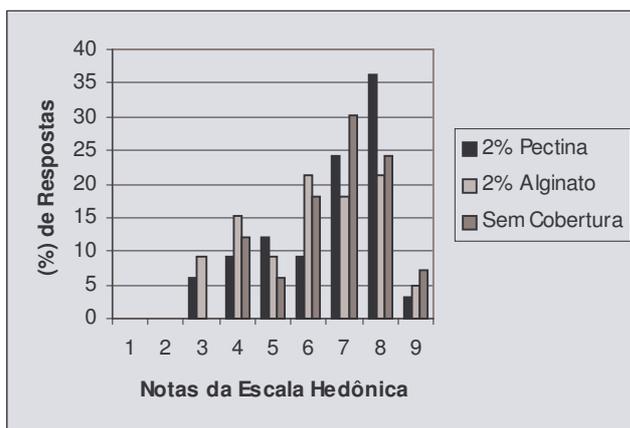
(b) Cor



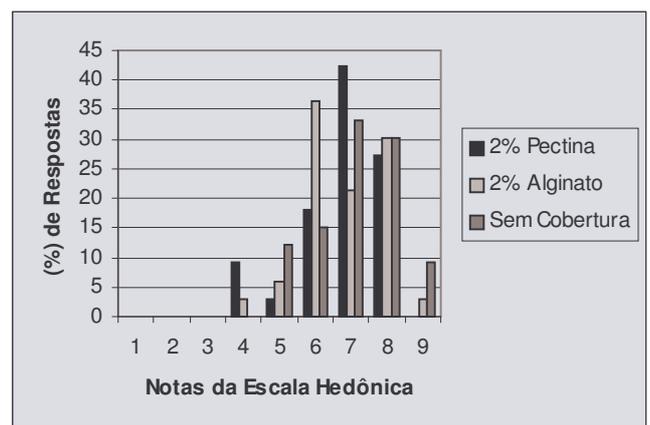
(c) Aroma



(d) Sabor



(e) Textura



(f) Impressão Global

**Figura 38:** Histograma de frequência dos valores hedônicos atribuídos aos atributos avaliados (aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) para *chips* de maçã com revestimentos de pectina e alginato de sódio e sem revestimento.

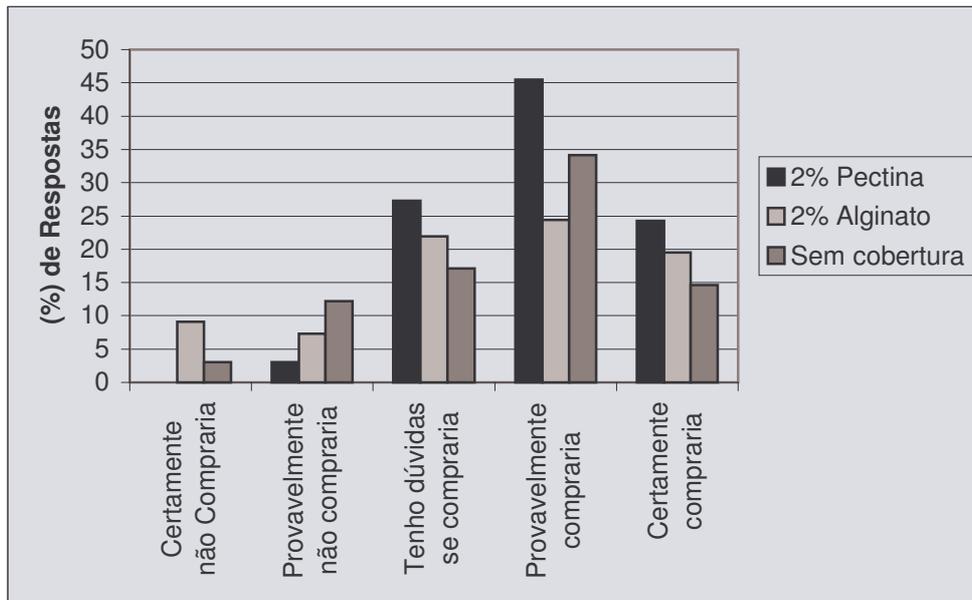
Observa-se ainda na figura 38, que a porcentagem das notas 8 (situadas na escala hedônica na categoria “Gostei muito”) obtidas pelos atributos aparência e cor para os *chips* de maçã sem revestimento são consideravelmente superiores às recebidas pelas outras amostras com cobertura. Esta observação feita através dos histogramas vem a reforçar a diferença significativa apresentada na tabela 4 para as médias das notas para os mesmos atributos (aparência: média de 7,67 para a amostra sem cobertura e 6,64 e 6,52 para as amostras com cobertura de pectina e alginato de sódio respectivamente; cor: média de 7,52 para a amostra sem cobertura e 6,64 e 6,67 para as amostras com cobertura de pectina e alginato de sódio respectivamente).

Muitos foram os comentários feitos pelos provadores em relação à aparência das amostras com coberturas. Estes comentários referiam-se a aparência oleosa ou gordurosa destas amostras.

Provavelmente os valores inferiores recebidos para os atributos aparência e cor das amostras com cobertura, deve-se ao fato da impressão oleosa ou gordurosa dada aos *chips* pelo brilho da cobertura utilizada, uma vez que o teor de lipídeos nas mesmas é inferior ao teor de lipídeos na amostra sem cobertura em aproximadamente 60%.

Com relação aos atributos sabor e aroma, observa-se na figura 38 que os *chips* com cobertura receberam maiores números de notas 7 e 8 (situando na escala hedônica nas categorias “Gostei moderadamente” e “Gostei muito”) quando se compara com os *chips* sem cobertura. Pode-se supor que estas notas superiores tenham sido atribuídas em função do menor teor de óleo presente nestes *chips*, no entanto as médias obtidas por estes atributos não se apresentaram significativamente diferentes.

A redução do teor de óleo nos *chips* de maçã (aproximadamente 60%) obtida pela utilização de coberturas não foi suficiente para melhorar a impressão global destas amostras quando comparadas com os *chips* sem cobertura. No entanto observa-se na figura 43 que os *chips* com maior intenção de compra pelos provadores (69,70%) são os *chips* com cobertura de pectina e que apenas 3% dos provadores não o comprariam contra 18,20% dos provadores que não comprariam os *chips* sem cobertura.

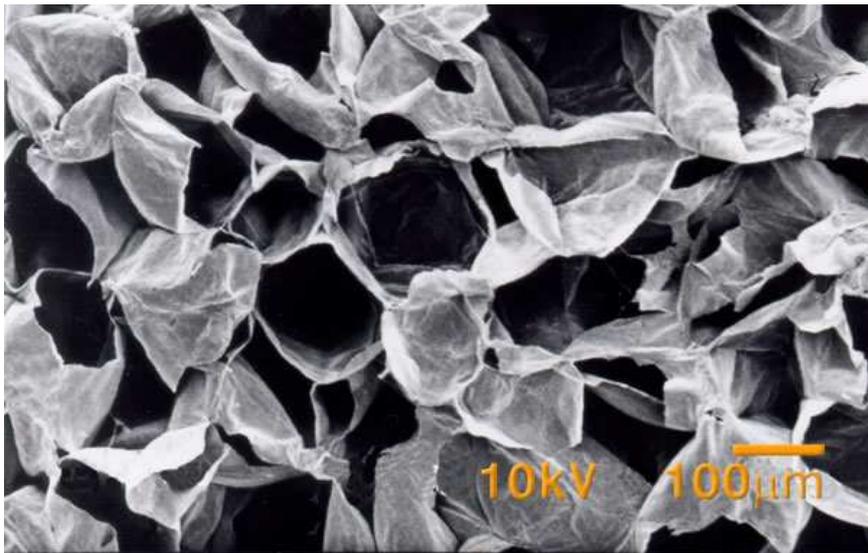


**Figura 39:** Histograma de intenção de compra de *chips* de maçã com cobertura de pectina e alginato de sódio e sem revestimento.

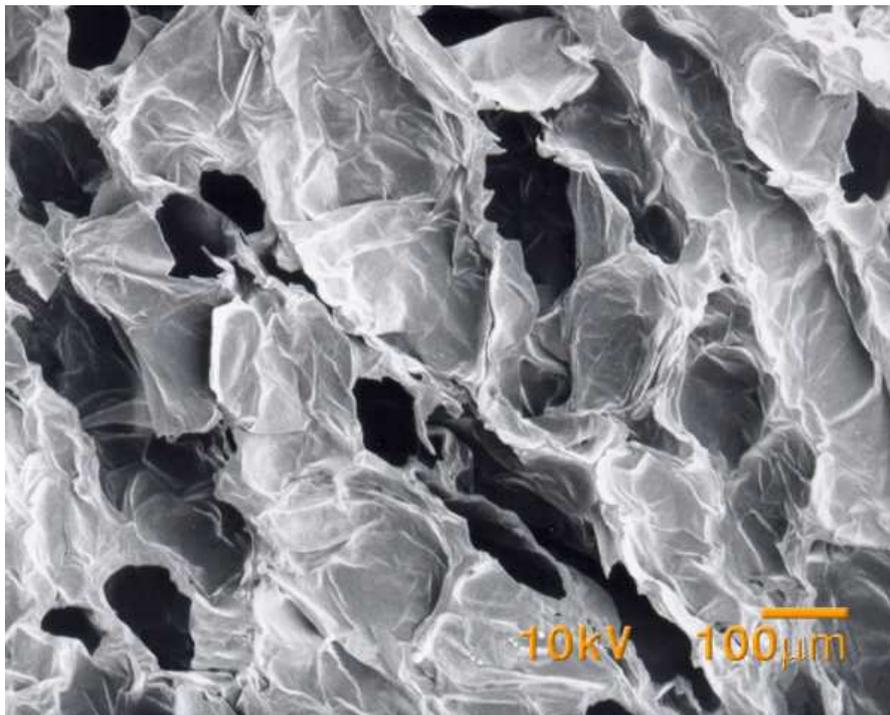
#### 4.10. MICROSCOPIA

As células da maçã *in natura* (Figura 40) quando observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), apresentam a forma poligonal característica com amplos espaços vazios devido à técnica de preparação ao MEV e também devido à rigidez das paredes celulósicas, como observado por Lapsley, Escher & Hoehn (1992).

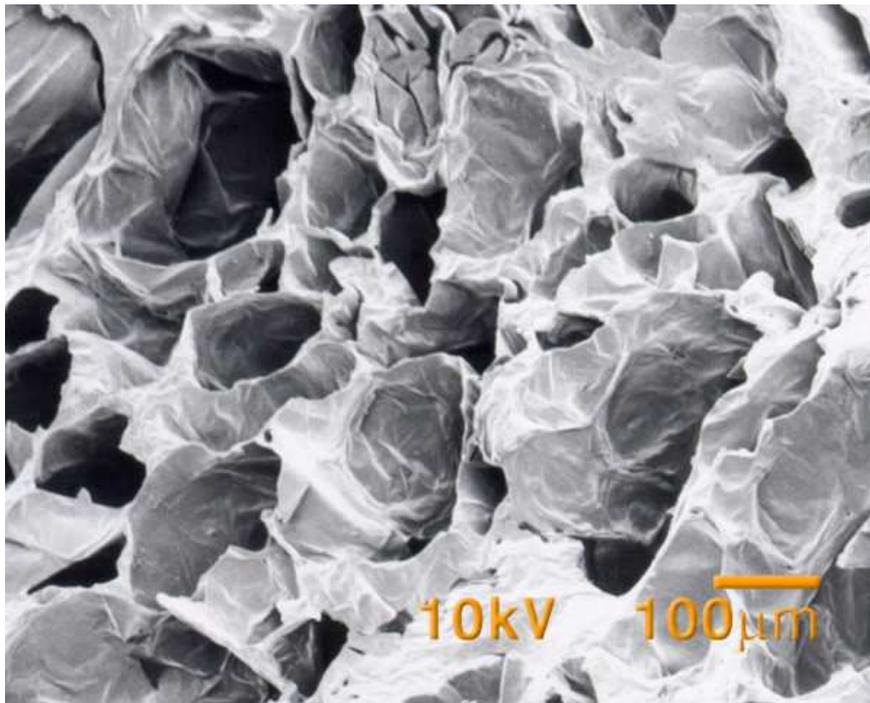
Os processos aos quais foram submetidas as fatias de maçã (desidratação osmótica e fritura) demonstraram conservar esta estrutura acima descrita. A desidratação osmótica, os revestimentos com pectina ou alginato de sódio e as subsequentes frituras preservaram esta estrutura conforme demonstram as figuras 41 e 42.



**Figura 40-** Maçã *in natura*: a estrutura está preservada.



**Figura 41-** Maçã DO + cobertura de alginato + fritura: a pequena compactação das camadas celulares é devida ao processo de osmose. Não foi observada interferência da fritura nas estruturas celulares da maçã.

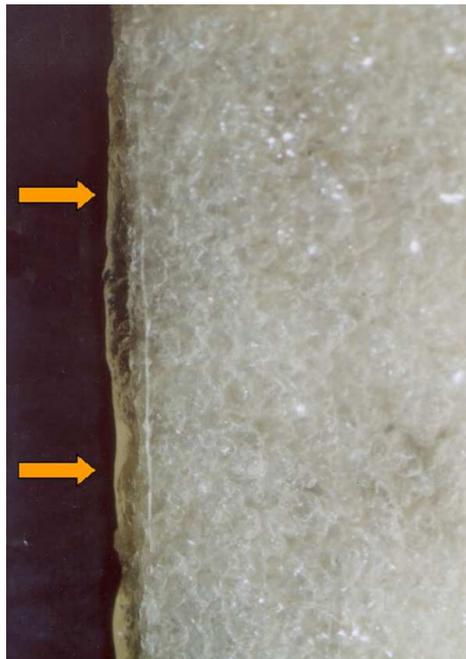


**Figura 42-** Maçã DO + cobertura de pectina + fritura: não observou-se diferença estrutural em relação ao tratamento com alginato.

As figuras de 40 à 42 correspondem a imagens obtidas ao MEV e as figuras 43 a 47 correspondem a imagens obtidas com microscopia ótica.

As figuras 43 e 44 apresentam a relação da maçã com os revestimentos polissacarídicos. A figura 43 é uma secção perpendicular à superfície da fatia, por isto as setas indicam o filme homogêneo de alginato. Está aparente o aspecto esponjoso da maçã. A figura 44 demonstra a superfície da fatia de maçã recoberta pela pectina, conferindo-lhe um aspecto vítreo.

A figura 45 também demonstra que a fritura com o recobrimento de alginato não interfere na estrutura da maçã, o que pode ser verificado através da comparação com a figura 43 (sem fritura). O mesmo ocorre com o material frito previamente revestido por pectina (Figura 46).



**Figura 43** - DO + cobertura de alginato (sem fritura): o filme ( $\Rightarrow$ ) translúcido é visível apenas quando a fatia é seccionada.



**Figura 44** - DO + cobertura de pectina (sem fritura): não há diferença aparente entre os filmes, o aspecto macroscópico é sempre vítreo.



**Figura 45-** DO + cobertura de alginato + fritura: a estrutura permanece inalterada; o filme está aderido e uniforme.



**Figura 46-** DO + cobertura de pectina + fritura: a secção perpendicular à superfície demonstra preservação estrutural e semelhança com a figura precedente.

É necessário esclarecer que a porção mais central da maçã tem um tecido mais heterogêneo sobretudo devido à presença de feixes vasculares. Esta heterogeneidade está bem demonstrada na figura 47. Devido à presença de

regiões com resistência distinta ao corte são comuns as imagens com áreas mais densas sucedidas por áreas mais rarefeitas; este fenômeno ocorre exclusivamente durante o fatiamento da fruta.



**Figura 47:** As setas indicam áreas mais densas devido a presença de feixes vasculares. A região demarcada mostra áreas opacas alternadas com áreas translúcidas; é uma formação característica na secção da fruta.

O processo osmótico (como esperado) preservou o tecido da maçã, ou seja, as paredes celulósicas permaneceram íntegras. O volume destas células diminuiu, porém ainda permaneceram espaços de modo a apresentar ainda a estrutura esponjosa característica da maçã.

Este característico tecido esponjoso permaneceu preservado em todos os tratamentos subseqüentes. As coberturas com alginato ou pectinato eram contínuos porém irregulares em espessura devido à irregularidade própria da superfície recoberta. A cobertura de alginato teve menor espessura e aparentemente melhor adesão.

Conclui-se que estas coberturas são adequados e permitem obter produtos fritos com aproximadamente 60% menor teor de óleo em relação às fatias de maçã não revestidas com os filmes.

## ÍNDICE

4.11.	Processo de fritura a pressão reduzida (vácuo) .....	166
4.11.1.	Estudo da vaporização da água no processo de fritura em diferentes condições de temperatura e pressão .....	166
4.11.2.	Estudo do Efeito da Pressão Reduzida na Incorporação de Óleo Durante o Processo de Fritura .....	170
5.	Conclusão .....	173
6.	Referências Bibliográficas .....	175
7.	Anexos .....	184

## LISTA DE TABELAS

Tabela 82:	Valores finais de perda de vapor e teor de umidade (média de 2 a 3 repetições para cada condição). .....	169
------------	--	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 48:	Cinéticas durante a fritura de maçã <i>in natura</i> em diferentes condições de temperatura e pressão. ....	167
Figura 49:	Cinéticas durante a fritura de maçã impregnada por osmose em diferentes condições de temperatura e pressão. ....	168
Figura 49:	Teor de matéria seca durante a fritura de maçã à 160°C.....	170
Figura 50 :	Teor em água durante a fritura de maçã à 160°C. ....	171
Figura 51 :	Teor de óleo durante a fritura de maçã à 160°C, .....	172

#### **4.11. PROCESSO DE FRITURA A PRESSÃO REDUZIDA (VÁCUO)**

##### **4.11.1. Estudo da vaporização da água no processo de fritura em diferentes condições de temperatura e pressão**

O comportamento geral da perda de água durante o processo de fritura pode ser descrito em três fases de acordo com a temperatura no centro do produto:

1. aquecimento inicial até o ponto de ebulição da água livre, juntamente com vaporização da umidade superficial;
2. uma faixa constante de temperatura próxima ao ponto de ebulição, durante a qual a maior parte da água livre é vaporizada, e
3. um aumento da temperatura do material até a temperatura do óleo, com baixas taxas de secagem (Vitrac *et al.*, 2000).

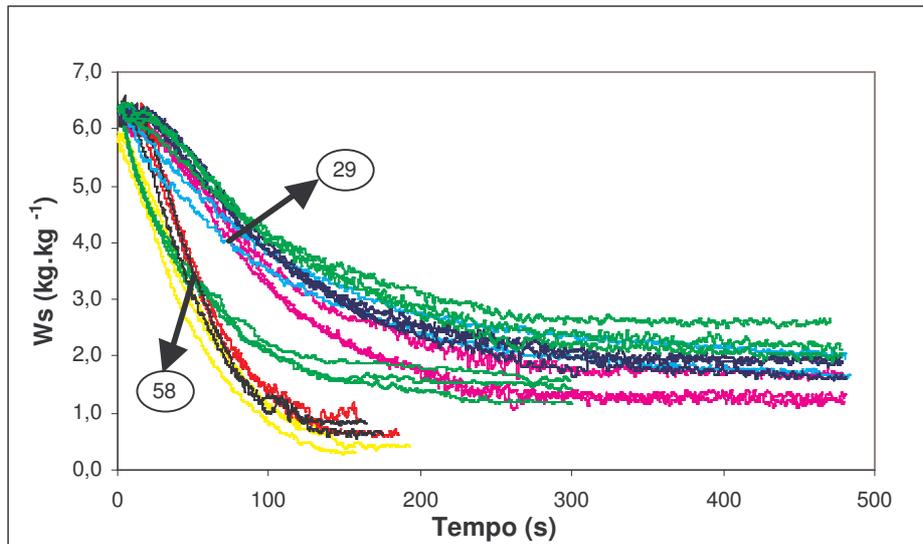
As cinéticas de perda de água e umidade durante o processo de fritura são apresentadas nas figuras 52 e 53 para a maçã *in natura* e osmoticamente desidratada respectivamente.

Como mostram as figuras 52 e 53, há uma grande perda de água durante os 100 primeiros segundos do processo de fritura, para os ensaios com potencial de transferência de calor (diferença de temperatura entre o óleo e o ponto de ebulição da água) de 58°C. A taxa de perda de água foi menos intensa para os ensaios com potencial de transferência de calor de 29°C.

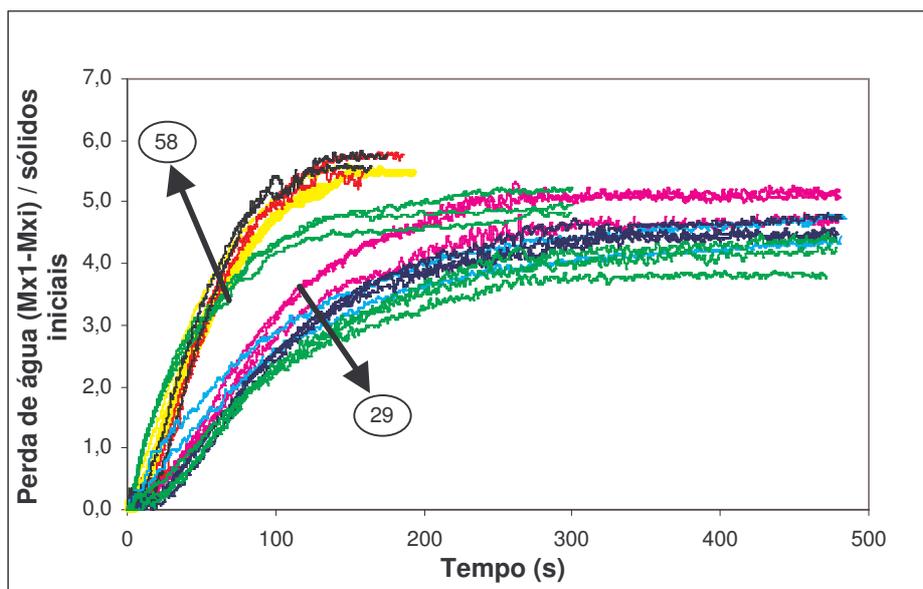
Para cada grupo de experimentos com o mesmo potencial de transferência de calor (58 e 29°C), todas as condições de temperatura e pressão geraram cinéticas de perfis semelhantes, indicando não haver um efeito da pressão reduzida na taxa de secagem.

Estes resultados sugerem que a força motriz para que ocorra a vaporização é mais devida ao potencial de transferência de calor do que ao uso de pressão reduzida durante a fritura, nas condições de processo estudadas.

Foi observado o mesmo comportamento para as cinéticas de perda de água obtidas para maçã *in natura* e pré-desidratada.



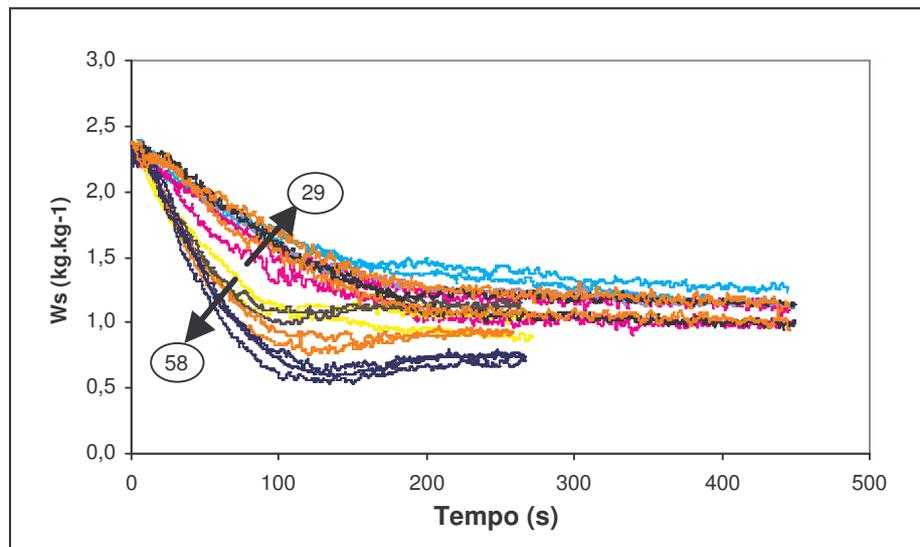
(a) Umidade



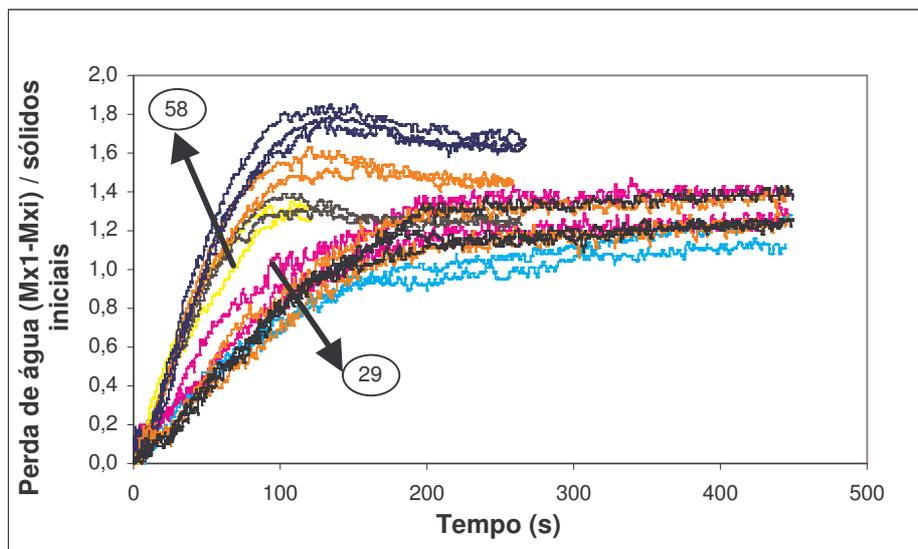
(b) Perda de água - vapor

**Figura 48:** Cinéticas durante a fritura de maçã *in natura* em diferentes condições de temperatura e pressão.

Obs: os números 29 e 58 indicam as diferenças em °C entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo no ensaio.



(a) Umidade



(b) Perda de água - vapor

**Figura 49:** Cinéticas durante a fritura de maçã impregnada por osmose em diferentes condições de temperatura e pressão.

Obs: os números 29 e 58 indicam as diferenças em  $^{\circ}\text{C}$  entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo no ensaio.

O processo de fritura para fatias de maçã *in natura* e impregnada diferiu nos valores da taxa de remoção (perda) de água. Após impregnação, o teor inicial de umidade diminuiu de cerca de 6,2kg/kg matéria seca para 2,3kg/kg matéria seca. Assim, a quantidade de água na forma de vapor perdida durante o processo de fritura é menor.

Os resultados dos teores finais de umidade e de perdas de água para os *chips* de maçã (*in natura* e impregnada) processados sob diferentes condições de temperatura e pressão estão apresentados na tabela 82. Os valores finais de teor de umidade do material que sofreu pré-tratamento mostrou menos variação que o material *in natura*.

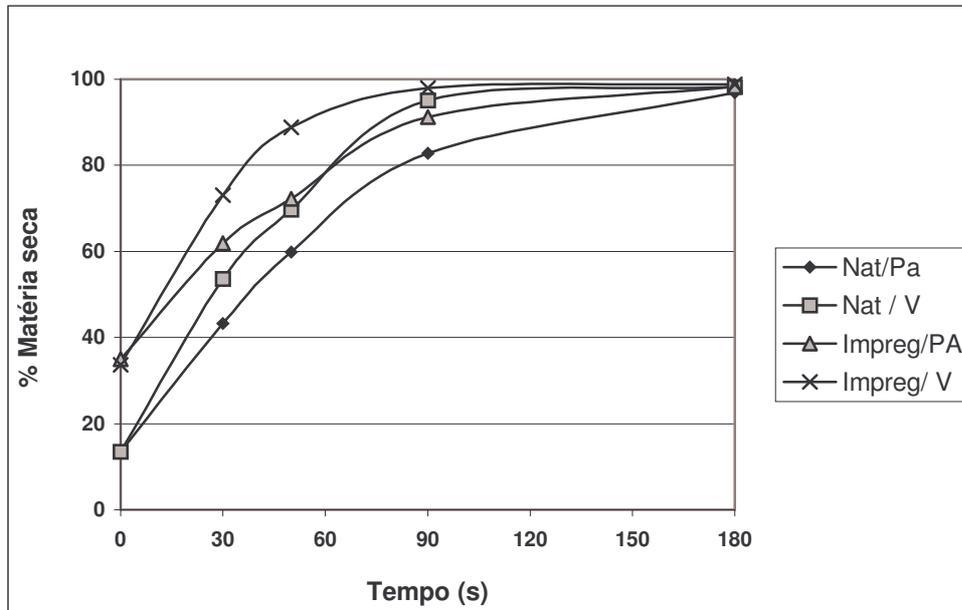
**Tabela 82:** Valores finais de perda de vapor e teor de umidade (média de 2 a 3 repetições para cada condição).

Ensaio	Perda de vapor (kg/kg matéria seca inicial)		Teor de umidade (kg/kg matéria seca não lipídica)	
	Maçã <i>in natura</i>	Maçã impregnada	Maçã <i>in natura</i>	Maçã impregnada
160 °C/101kPa	4,56	1,41	1,29	0,97
140 °C/47kPa	5,56	1,24	0,82	1,14
128 °C/30kPa	5,41	1,45	0,48	0,93
120 °C/20kPa	5,65	1,63	0,74	0,75
131 °C/101kPa	4,55	1,19	1,84	1,19
112 °C/50kPa	4,14	1,29	2,25	1,09
100 °C/30kPa	4,57	1,31	1,81	1,07
91 °C/20kPa	5,14	1,33	1,25	1,05

Os resultados obtidos neste trabalho sugeriram que a perda de água, na forma de vapor, ocorrida durante o processo de fritura é mais correlacionada ao gradiente de transferência de calor (diferença entre a temperatura de trabalho do óleo e o ponto de ebulição da água) do que a aplicação de pressão reduzida. Entretanto é de extrema importância o estudo do efeito do vácuo no fenômeno de absorção de óleo pelo material bem como ao desenvolvimento de cor durante o processo de fritura, como estudo da garantia de qualidade para *chips* de frutas,

#### 4.11.2. Estudo do Efeito da Pressão Reduzida na Incorporação de Óleo Durante o Processo de Fritura

As figuras 49, 50 e 51 mostram respectivamente os teores de matéria seca, água e óleo durante o processo de fritura de maçã à 160°C.



**Figura 49:** Teor de matéria seca durante a fritura de maçã à 160°C.

OBS: Nat/PA = maçã *in natura* frita a pressão atmosférica;

Nat/V = maçã *in natura* frita a vácuo;

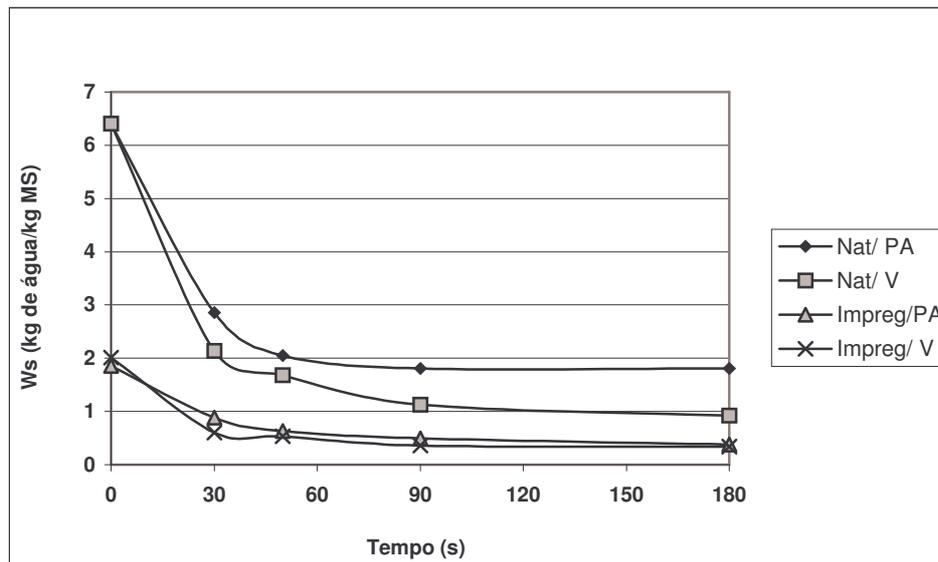
Impreg/PA = maçã osmoticamente impregnada frita a pressão atmosférica;

Impreg/V = maçã osmoticamente impregnada frita a vácuo.

Observando a figura 49 constata-se que ao final de 180 segundos todas as amostras alcançam valores semelhantes e próximos a 98% de matéria seca, no entanto as amostras fritas sob vácuo já alcançam este mesmo teor de matéria seca em aproximadamente 100 segundos de fritura, ou seja para atingir o mesmo teor de matéria seca final precisam de praticamente metade do tempo necessário pelas amostras fritas a pressão atmosférica,

Com relação ao teor de água nas maçãs durante o processo de fritura, observa-se na figura 50, que para as maçãs osmoticamente impregnadas as curvas são bastante próximas e estas amostras alcançam ao final do processo praticamente os mesmos teores de água. Já para as maçãs *in natura*, observa-se que a partir dos instantes iniciais, aproximadamente 10 segundos de fritura, as

curvas começam a se distanciar atingindo ao final do processo de fritura (180 segundos) valores bastante diferentes (1,81 e 0,93kg de água / kg de matéria seca para as maçãs fritas a pressão atmosférica e a vácuo respectivamente).



**Figura 50** : Teor em água durante a fritura de maçã à 160°C.

OBS: MS = matéria seca

Nat/PA = maçã *in natura* frita a pressão atmosférica (101kPa);

Nat/V = maçã *in natura* frita a vácuo (30kPa);

Impreg /PA = maçã osmoticamente impregnada frita a pressão atmosférica (101kPa);

Impreg / V = maçã osmoticamente impregnada frita a vácuo (30kPa).

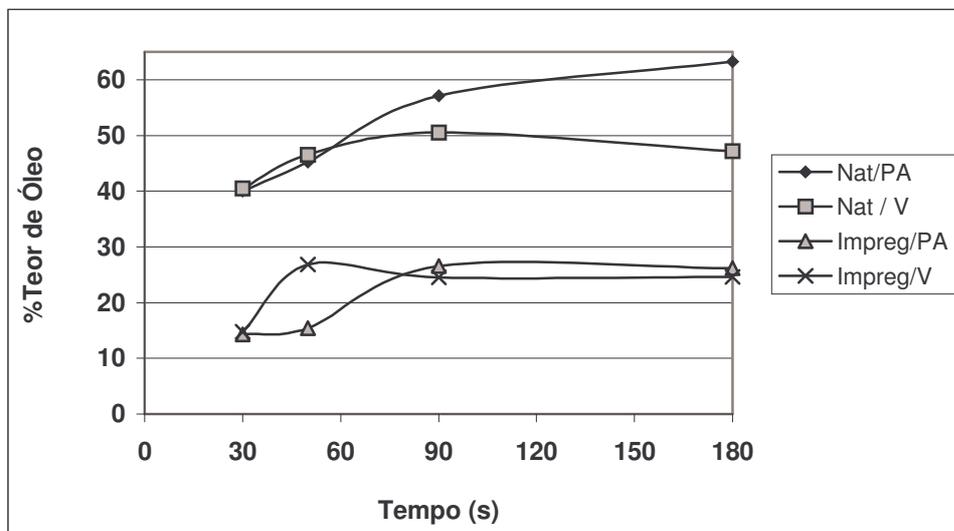
No que diz respeito ao teor de água final, quando se trabalha com a fruta impregnada, com maior teor de sólidos, não há diferença significativa entre os processos conduzidos a vácuo e a pressão atmosférica.

Através da figura 50 observa-se ainda que nos primeiros 30 segundos do processo de fritura, a perda de água é muito mais intensa.

Analisando as figuras 49 e 50, observa-se que a aplicação do vácuo no processo de fritura proporciona, com um tempo reduzido de residência do produto no óleo, o mesmo teor de água que o obtido em um processo mais longo conduzido à pressão atmosférica, com isto obtém-se uma economia de energia e provavelmente menores alterações no produto final.

Na figura 51, observando o teor de óleo nas maçãs ao longo do processo de fritura, nota-se um comportamento semelhante ao observado para o teor de

água: as maçãs impregnadas apresentam ao final de 180 segundos de fritura praticamente os mesmos teores de óleo, independente da pressão em que foi conduzida a fritura (26,19 e 24,63% de óleo para os processos a pressão atmosférica e a vácuo respectivamente). No entanto o teor de óleo na maçã frita em pressão atmosférica aumenta gradativamente até 90 segundos a partir do qual apresenta uma leve queda, mantendo-se praticamente constante; já na maçã frita a vácuo nota-se um aumento do teor de óleo até 50 segundos de processo, a partir do qual também apresenta uma leve queda.



**Figura 51** : Teor de óleo durante a fritura de maçã à 160°C,

OBS: Nat/PA = maçã *in natura* frita a pressão atmosférica;

Nat/V= maçã *in natura* frita a vácuo;

Impreg /PA = maçã osmoticamente impregnada frita a pressão atmosférica;

Impreg / V = maçã osmoticamente impregnada frita a vácuo.

Já para as maçãs *in natura*, observa-se ao final dos 180 segundos de fritura valores bem diferentes no teor de óleo: 63,28% para as maçãs fritas à pressão atmosférica e 47,21% para as maçãs fritas á vácuo,

No que diz respeito ao teor de óleo final, mais uma vez, quando se trabalha com a fruta previamente impregnada, com maior teor de sólidos, não há diferença significativa entre os processos conduzidos a vácuo e a pressão atmosférica. Para a maçã *in natura* observou-se uma redução de 25% no teor de óleo, ao final de 180 segundos de fritura, quando se trabalha sob vácuo.

## 5. CONCLUSÃO

1. O óleo de palma apresentou-se adequado para a utilização por pelo menos 15 frituras sucessivas, uma vez que compostos transferidos pelo material frito não alteraram significativamente sua qualidade no que diz respeito a AGL (variaram de 0,05 a 0,07%). Reforçando esta adequação, os produtos fritos não apresentaram variações de cor, umidade e teor de óleo relacionados ao uso do mesmo óleo para as 15 frituras sucessivas.

2. Não foi possível a obtenção de *chips* de maçã com as características desejadas a partir da matéria-prima *in natura*, embora tenha sido possível desenvolver modelos matemáticos preditivos para todos os parâmetros analisados.

3. Com o uso de pré-secagem em estufa e por desidratação osmótica foi possível desenvolver *chips* de maçã com valores de umidade inferiores a 7%. Os teores de óleo incorporado pelos *chips* apresentaram-se similares aos valores encontrados em *chips* de batata (em torno de 30%), no entanto estes valores são considerados elevados por se tratar de *chips* de fruta.

4. A operação de centrifugação não se mostrou eficiente para remover o óleo incorporado pelos *chips* durante o processo de fritura.

5. O uso dos polissacarídeos pectina e alginato de sódio como barreira à incorporação de óleo, na concentração de 2%, mostrou-se eficiente quando utilizados como revestimentos comestíveis imediatamente antes do processo de fritura, reduzindo em 60% o teor de óleo.

6. O aumento da concentração na solução de pectina de 2% para 4% não se apresentou como melhor barreira à entrada de óleo.

7. Os *chips* de maçã, com e sem revestimentos de pectina ou alginato de sódio foram moderadamente bem aceitas.

8. Os processos aos quais foram submetidas as fatias de maçã (desidratação osmótica, revestimentos com pectina ou alginato de sódio e fritura) demonstraram

conservar a estrutura poligonal característica, um tecido esponjoso com amplos espaços vazios, quando observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV).

9. A aplicação do vácuo no processo de fritura proporcionou com um tempo reduzido de residência do produto no óleo o mesmo teor de água que o obtido em um processo mais longo conduzido à pressão atmosférica, levando-se à uma economia de energia e menores alterações no produto.

10. No que diz respeito ao teor de óleo final, na fritura a vácuo, observou-se uma redução significativa quando se trabalhou com a fruta *in natura*, no entanto, quando se trabalhou com a fruta previamente impregnada, não houve diferença significativa entre os processos conduzidos a vácuo e a pressão atmosférica.

11. Os resultados obtidos sugeriram que a perda de água, na forma de vapor, ocorrida durante o processo de fritura é mais correlacionada ao gradiente de transferência de calor (diferença entre a temperatura de trabalho do óleo e o ponto de ebulição da água) do que a aplicação de pressão reduzida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Produtores de Maçã. Disponível no site: <http://www.abmp.org.br> Acesso em: 23 nov.2004.
- ABUGOCH, J. L.; M. GUARDA, A. Estudio de la perdida de ácido ascórbico total en rodajas de kiwi, durante la deshidratación osmótica. **Alimentos**, v.16, n.5, p.15-19, 1991.
- AGROPALMA S/A . **Óleo de palma: Características físico-químicas**. Disponível em: [http://www.agropalma.com.br/produtos/ol\\_refin/especifici/ol\\_refi2.htm](http://www.agropalma.com.br/produtos/ol_refin/especifici/ol_refi2.htm) Acesso em: 10 jan. 2005.
- AGUIRRE, J.M. Controle de qualidade. *In*: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. (Coord.). **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas, 2001.
- ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International*, v. 35, p. 445-458, 2002.
- ALLANSON, J. Inovações em tecnologias de sistemas de cobertura nos mercados europeus de carnes e peixes. **Food Ingredients**, São Paulo, p.31-35, jul/agosto, 1999.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro, IBGE, 1996, v. 56.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis. Washington, 1997.
- ASKAR, A. Minimally processed tropical fruits. **Fruit Processing**, v. 8, p.339-343, 1998.
- \_\_\_\_\_; ABD EL-FADEEL, M.G.; GHONAIM, S.M.; ABDEL-GAID, I.O.; ALI, A. M. Osmotic and solar dehydration of peach fruits. *Fruit Processing*, v.9, p. 258-262, 1996.
- ATHANASE, W. **Optimisation d' un procede combine de dehydration osmotique couple a une operation de sechage par friture. Application a la production de chips d' ananas**. Dissertação. Montpellier, France, 1998. Ecole Pratique des Hautes Etudes (Sciences de la Vie et de la Terre), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).
- AUGUSTIN, M.A.; ASAP, T.; HENG, L.K. Relationships between measurements of fat deterioration during heating and frying in RBD olein. **JAOCs**, v.64, n.12, p.1670-1675, 1987.
- AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, abril, 2000.
- BANWART, G.J. **Basic Food Microbiology**, AVI Publ. Company, Westport, 1979.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Planejamento e otimização de experimentos. 2ªed. Campinas: Editora da Unicamp, 1996. 299p.

- BELITZ, H.D. & GROSCH, W. **Química de los Alimentos**. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España, 1985, p.668-669.
- BESSANI, M.T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos). Campinas, 1990. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- BILLEK, G. Heated fats in the diet. In: PADLEY, F.B.& PODMORE, J. eds. **The role of fats in human nutrition**. Chichester, Ellis Horwood, 1985. Cap.12, p.163-172. *Apud* : LIMA, J.R. **Avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos). Campinas, 1994. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- BLEICHER, J. A mosca-das-frutas em macieira e pessegueiro. **Boletim Técnico - EMPASC**, n.19, 1982. 28p.
- BLIGH, E.G., DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol**, n.37, p.911-917, 1959.
- BLUMENTHAL, M.M. Rapid test for deterioration of frying oils. **Presented at Annual Meeting of the Am. Oil. Chem. Soc.**, Phoenix, Ariz., mayo, 1988.
- \_\_\_\_\_. Uma nueva perspectiva em la química y física de las frituras por imersion. **Alimentaria** n.28, v.9, p.65-70, 1991.
- BOLIN, R.H.; HUXSOLL, C.C.; JACKSON, R. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Scienc*, v.48, n.1, p.220-225, 1983.
- BONGIRVAR, D.; SREENIVASAN, A. Studies on osmotic dehydration of bananas. **Journal of Food Scienc Technology**, v.14, p.104-112, 1977. *Apud: Food Research International*, v.26, p.59-68, 1993.
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER J.S. Statistics for experiments- An introduction to desing, data analysis and model building. New York: Wiley Series in Probability and Mathematica Statistics, 1978.
- BRUIN, S.; LUYBEN, K.C.A.M. (Drying of food materials: a review of recent developments.) In: **Advances in Drying**. Ed. Arum S. Mujumdar. Washington, v.1, 155-215, 1980.
- CAMIRAND, W.; KROCHTA, J.M.; PAVLATH, A .E.; WONG, D.; COLE, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for a potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, Great Yarmouth, v.17, n.1, p.39-49, 1992.
- CHIRIFE, J. & BUERA, M.P. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of foods in the microbiological growth range. *Journal of Food Engineering*, v.25, p.531-552, 1995.
- COMBE, N. Effets nutritionnels lies aux isomeres trans. **Récents Progrés en Génie des Procédés**. v.11, n.59, p.33-40, 1997.
- CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Compêndio da Legislação de Alimentos. Resolução nº 04, de 1988. **Documento**, Brasília.

- CONTRERAS, J. E., SMYRL, T.G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Technology Journal**. Vol. 14, n. 4, p. 310-314, 1981.
- CONWAY, J., CASTAIGNE, F., PICARD, G. & VOXAN, X. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. **Journal Food Science technology**, v.16, p.25-39, 1983.
- DIAZ, A., TRYSTAM, G., VITRAC, O., DUFOUR, D., RAOULT-WACK, A. L. Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. n.79, p. 291-299, 1999.
- \_\_\_\_\_; TOTTE, A.; GIROUX, F.; REYNES, M.; RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of plantain (*Musa paradisiaca* L). I - Characterization of control parameters. **Lebensm.-Wiss. u. Technol.** v.29, n.5-6, p. 489-497, 1996.
- DOBARGANES, M.C. Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. **Récents progrès en génie des procédés**. v.11, n.59, p.9-20, 1997.
- \_\_\_\_\_; PEREZ-CAMINO, M.C. Frying process selection of fats and quality control. In: **INTERNATIONAL MEETING ON FATS & OILS TECHNOLOGY SYMPOSIUM AND EXHIBITION**. Campinas, jul.1991.
- ERTEKIN, F.K., CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas. II. Influence of osmosis on drying behavior and product quality. **Journal of Food Processing and Preservation**. n. 20, p. 87-104,1996.
- FAN, L.L.; ARCE, J.A. Pretreatment of fried food products with oil containing emulsifiers. U.S.Patent. 4.608.264, 1986; apud: MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. *Lebensm.- Wiss. U.-Technology*, v.30, n.7, p.709-714, 1997.
- FAO. Codex Standard for edible palm oils. In: FAO. Codex Alimentarius. Rome, 1992. v.8. (Codex Stan 125-1981)
- FARKAS, D.F.; LAZAR, M.E. Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. **Food Technology**, v.23, p.688-690, 1969. *Apud: Food Research International*, v.26, p.59-68, 1993.
- FEENEY, R.D.; HARALAMPU, S.G.; GROSS, A.T. Potato and other food products coated with edible oil barrier films. U.S. Patent 5.217.736; 1993; apud: MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. *Lebensm.- Wiss. U.-Technology*, v.30, n.7, p.709-714, 1997.
- FENNEMA, O.R. **Food chemistry**, 3rd ed. New York: Editora Marcel Dekker, 1996.
- FLINT, O. **Food microscopy**. Royal Microscopy, Soc. Hand-books, Bios Sci Publications, 1994.

- FONTOURA, P.S.G. Principais variedades de maçã (*Pyrus malus* L) cultivadas no Estado do Paraná. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.68, n.5, p.950-951, jan/jun, 1986. *Apud*: ROSS, G. **Patulina: parâmetros que influem na produção, detoxicação e considerações sobre microbiota fúngica em maçã (*Malus domestica* B)**. Londrina, 1995. 115p. Dissertação (mestre em Ciência de Alimentos)- Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina.
- FORTES, G.R.L. & PETRI, J.L. Distúrbios fisiológicos em macieira e seu controle. **Boletim Técnico - EMPASC**, n.3, 1982. 34p.
- FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Atheneu, 1996. p. 65-106.
- GAVA, A.J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 7ª Edição. São Paulo: Editora Nobel, 1986.
- GERE, A. Study of some factores affecting frying fat deterioration. **Fette Seifen Anstrich**, n.85, p.18, 1983. *Apud*: WHITE, P.J. Metodos para medir los cambios en los aceites de fritura por inmersión en grasas. **Alimentaria**, Septiembre, p.81-87, 1991.
- GIANGIACOMO, R; TORREGGIANI, D. & ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part I. Sugars exchange between fruit and extrating syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.11, p. 183-195, 1987.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim SBCTA**, v.30, n.1, p.3-15, 1996.
- GUILLAUMIN R., Détermination des épices chimiques nouvelles formées durant le chauffage des huiles. **Rev. Franç. Corps Gras**, n. 20, p.185-289, 1973. *Apud*: GRAILLE, J. Reactions chimiques induites par la friture. **Récents progrès en génie des procédés**. v.11, n.59, p.21-32, 1997.
- GUTIÉRREZ, R.; GONZÁLEZ-QUIJANO; DOBARGANES, M.C. Analytical procedures for the evaluation of used frying fats. *In*: VARELA, G.; BENDER, A.E.; MORTON, I.D. **Frying of foods**. Chichester, England, Editora VARELA, 1988, p.141-153.
- HARDENBURG, R.E. Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography. **Agricultural Research Service Bulletin** 51-15. United States department of Agriculture. Washington, DC, 1967; *apud*: KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v.40, n.12, p.47-59, 1986.
- HARVEY, H.G. The syruping if citurs peels II: Technical aspects of manufacture. B.F.M.I.R.A. Res. Rep. n.93, 24p., 1959. *Apud*: BILHALVA, A. B. Contribuição ao estudo da saturação de frutas com açúcares. Campinas, 1976. 70 p. Dissertação (Mestre em Ciência em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- HAVARD, C.; HARMONY, M.X. Improved process of preserving meat, fowls, fish, etc. **U.S.Patent** No 90,944. 1869; *apud*: KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v.40, n.12, p.47-59, 1986.

- HENG, K., GUILBERT, S., CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**. n. 10, p. 831-848, 1990.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 2ed. São Paulo, Instituto Adolfo Lutz, 1976. v.1, cap.3, p.9.
- ISLAM, M. N.; FLINK, J. N. Dehydration of potato II. osmotic concentration and its effect on air drying behavior. **Journal of Food Technology**, v. 17, n.3, p.387-403, 1982.
- JAYAARAMAN, K.J.; DAS GUPTA, D.K. (Drying of fruits and vegetables.) In: **Handbook of industrial drying**. Ed. Arum s. Mujumdar. v.1, 643-690. 2ªEd. Quebec, 1995.
- KAREL, M. Water activity and food preservation. In: Principles of food science. Part II – Physical principles of food preservation. FENNEMA, O.R. Editora Marcel Dekker, Inc: New York, p.237-363, 1975.
- KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v.40, n.12, p.47-59, 1986.
- KHALIL, A. H. Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.
- KING, A. H. Brown seaweed extracts (alginates). In: GLICKSMAN, M. **Food Hydrocolloids v.II**. CRC Press, Florida. Cap. 6, p.115-190, 1983.
- KOELSCH, C. Edible water vapor barriers: properties and promise. *Trends in Food Science & Technology*, v.5, p. 76-80, 1994.
- KORBAN, S.S. & SKIRVIN, R.M. Nomenclature of the cultivated apple. **Hortscience**, v.19, n.2, p.177-180. *Apud: Manual da Cultura da Macieira*. EMPASC - Florianópolis, 1984.
- KOZEMPEL, M. F. Correlation of moisture and oil concentration in french fries. **Journal of Food Science and Technology**, v.24, p.445-448, 1991.
- KROCHTA, J.M.; JOHNSTON, C. DE M. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*, v.51, n.2, p.61-74, 1997.
- LABUZA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v.34, n.4, p.36-41 e 59, 1980.
- LAPSLEY, K.G.; ESCHER, F.E.; HOEHN, E. The cellular structure of selected apple varieties. **Food Structure**, v.11, p.339-349, 1992.
- LEITAO, m.f.f. Atividade de água e alterações microbiológicas dos alimentos. In: **Curso de Atividade de Água**. ITAL, Campinas, p.3.1-3.18, 1997.
- LEMAIRE, H.; REYNES, M.; NGALANI, J.; TCHANGO, T.; GUILLAUMONT, A. Aptitude à la friture de cultivars de plantains et bananes à cuire. **Fruits**, v.52, p.273-282, 1997.

- LENART, A.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of potato II, spatial distribution of the osmotic effect. **Journal Food Technology**, v.19, p.65, 1984.
- \_\_\_\_\_; DABROWSKA, R. Osmotic dehydration of apples with polysaccharide coatings. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.6, n.4, p.105-112, 1997.
- \_\_\_\_\_; LEWICKI, P.P. Osmotic dehydration of apples at high temperature, 1990a. In: **Drying '89**, Ed. A.S. Mujumdar. Hemisphere Publishing Corporation, Bristol, PA, USA, p.7-14, 1990.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Osmotic dehydration of carrot at high temperature, 1990b. In: **Engineering and Food Preservation Processes and related techniques**, v.2, Ed. W.E.L. Spiess & H. Schubert. Elsevier Science Publishers, London, p.7-14. *Apud*: **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.
- LENG, M.S., NDJOUENKEU, R., ETOA, F.X., RAOULT-WACK, A.L. Influence de quelques conditions de pretraitement sur la cinétique de friture des chips de patata douce. **Récents progrès en génie des procédés**. v.11, n.59, p.131-138, 1997.
- LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. **Journal Food Science**, v.50, p.1217-26, 1985.
- LIMA, J.R. **Avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos). Campinas, 1994. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- LIMA, J. R., GONÇALVES, L. A. G. O Processo de Fritura: Alterações Observadas em Óleos e Gorduras. **Boletim da Sociedade Brasileira de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: v.29, n.2, p.179 - 185, 1995a.
- LIMA, J. R., GONÇALVES, L. A. G. Avaliação de Óleos Utilizados em Processos de Fritura. **Boletim da Sociedade Brasileira de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: v.29, n.2, p.186 - 192, 1995b.
- LITTLECOTT, G.W. Food gels – the role of alginates. **Food Technology In Australia**, v.34, n.9, p.412-418, 1982.
- MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. *Lebensm.- Wiss. U.- Technology*, v.30, n.7, p.709-714, 1997.
- MASTRANGELO, M.M.; ROJAS, A.M.; CASTRO, M.A.; GERSCHENSON, L.N.; ALZAMORA, S.M. Texture and structure os glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.769-776, 2000.
- MC CORMICK, P.Y. Solids drying fundamentals. *In*: PERRY, R.H.; CHILTON, C.H. Chemical engineer's handbook. 5ªEd. **Mc Graw-Hill Co.**, 1983.
- MELTZER, J.B.;FRANKEL, E.N.; BESSLER, T.R. PERKINS, E.G. Analysis of thermally soybean oils for cyclic monomers. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, n.58, p. 779. *Apud*: WHITE, P.J. Metodos para medir los cambios en los aceites de fritura por immersion en grasas. **Alimentaria**, Septiembre, p.81-87, 1991.

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA. Portaria n.122, 30 março 1993. **Diário Oficial**, Brasília, 19, abril 1993. Seção I.
- MINOLTA CAMERA Co, LTD. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Osaka, 1993. 49p. Catálogo.
- MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, n.49, p.87-96, 2001.
- MORRIS, V.J.; PARKER, A.J. Preservative coating for foods. **U.S. Patent No 556.471**, 1895; *apud*: KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v.40, n.12, p.47-59, 1986.
- MORTON, I.D. Physical, chemical and biological changes of food caused by thermal processing, ed. T. Hoyem y O Kuale, p.135. Applied Sci. Pub. Ltd., London. *Apud*: WHITE, P.J. Metodos para medir los cambios en los aceites de fritura por inmersión en grasas. **Alimentaria**, Septiembre, p.81-87, 1991.
- MOY, J.K.; LAU, B.H.; DOLLAR, A.M. Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits<sup>1</sup>. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.131-135, 1978.
- MUJUMDAR, A.S.; MENON, A.S. (Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers) *In*: **Handbook of industrial drying**. Ed. Arum s. Mujumdar. v.1, 1-40. 2ª Ed. Quebec, 1995.
- NOHAD, E.N. **Etude expérimentale des transferts de chaleur et de matière au cours de la fritura des chips de pommes**. Montpellier, 2000, 29p. Dissertação para obtenção do título de “DEA Génie des Procédés” - Ecole Doctorale “Science et Procédé Biologiques et Industriels – Université de Montpellier II.
- OAKENFULL, D. Gelling agents. CRC Critical Reviews. Food Science and Nutrition, v.26, n.1, p.1-25, 1987.
- OKADA, M.; VITALI, A.A.; TEIXEIRA NETO, R.O.; CARVALHO, R.; JARDIM, D.C.P. (Cap. 1: Fundamentos sobre a secagem de sólidos). *In*: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. (Coord.). **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas, 2001.
- PÉREZ-CAMINO, M.C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; DOBARGANES, M.C. Alteración de grasas usadas en fritura. I: Comportamiento de aceites de oliva y girasol en freidoras domesticas. **Grasas y Aceites**, n.38, v.5, p.307-312, 1987.
- PINTHUS, E.J.; WEINBERG, P.SAGUY, I.S. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, n.60, p. 767-769, 1995.
- PONTING, J.D. Osmotic dehydration of fruits: recente modifications and applications. **Process Biochemistry**, Califórnia, n.8, p.18-20, 1973.
- \_\_\_\_\_; WALTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R.; STANLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, n.20, p. 125-128, 1966.

- RAOULT -WACK, A.L., GUILBERT, S., LeMAGUER, M., RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 1: application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). **Drying Technology**. n.9, p.589-612,1991.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. La déshydratation osmotique ou procédé de déshydratation-imprégnation par immersion dans des solutions concentrées. **Les Cahiers de L'Ensbana 'L'eau dans les procédés de transformation et de conservation des aliments'**, v.7, p.171,1990.
- \_\_\_\_\_. Recent advances in de osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v.5, n.8, p.255-260, 1994.
- RASTOGI, N.K. & RAGHAVARAO, K.S.M.S. Kinetics os osmotic dehydration of coconut. **Journal of Food Process Engineering**, v.18, p.187-197, 1995.
- REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d'ananas par le procédé combine deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés**. v.11, n.59, p.139-150,1997.
- RODRIGUES, N.S.S. Processos de fritura. **Food Express**. Ano II, n.8, p.39-42, 1997.
- SHI, X.Q., FITO, P., CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**. n.28, p.445-454,1995.
- SILVA, J.A. Tópicos da tecnologia de alimentos. São Paulo: **Varela Editora e Livraria**, 2000. p.161-165.
- SIQUEIRA, D.L., BOTREL, N., CARVALHO, V.D., RAMOS, V.H.V., COUTO, F.A. D. Características físicas e químicas de frutos de vinte cultivares de mangueira (*Mangífera indica* L.) em Uberaba –MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.10, n.2, p. 49-54, 1998.
- STAFFORD, A.E. Mango. In: CHAN, H.T.J. (Ed). **Handbook of tropical foods**. New York: Marcel Dekker, 1983, p.399-431.
- TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Disponível em: [http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/tabela1\\_pdf.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/tabela1_pdf.pdf). Acesso em:10 jan. 2005.
- TORREGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**. n. 26, p. 59-68, 1993.
- \_\_\_\_\_; FORNI, E.; RIZZOLO, A. Osmotic dehydration of fruit. Part 2: Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. **Journal of Food Processing Preservation**. n. 12, p. 27-44,1987.
- UBOLDI EIROA,.M.N. Atividade de água: influência sobre desenvolvimento de microorganismos e métodos de determinação em alimentos. **Bol. ITAL**, Campinas, v.3, n.18, p.353-383, 1981.
- USDA. Building for the future: Nutrition guidance for the child nutrition programs. FNS-279, US Dept. Agric., Washington, DC, 1990; *apud*: KHALIL, A. H. Quality of french fried potatoes as influence by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.

- USDA & USDHHS. Dietary guidelines for Americans (3<sup>rd</sup> ed.). Washington, DC: US Dept. of Agric. And US Dept. of Health and Humam Serv., 1990; *apud*: KHALIL, A. H. Quality of french fried potatoes as influence by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.
- USHIROZAWA, K. Cultura da maça. A experiência Catarinense. **EMPASC**, Florianópolis, 1978. 295p.
- VARELA, G. Current facts about the frying of foods. IN: **Frying of Foods**. Ed: VARELA, G., BENDER, A E., MORTON, I.D. VCH Chichester, England, p. 9-25. \_\_\_\_\_; BENDER, A.E.; MORTON, I.D. Frying of Food: principles, changes, new approaches. Chichester; Ellis Horwood. Ltd, 1988. 202p.
- VAUGHAN, J.G. Food microscopy academic press inc. (London) Ltda Londin, U.K., 1989.
- VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. Osmotic dehydration of kiwifruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, p.63-84, 1991.
- VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R.C.; JOSHI, V.K. Effect of sugar concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apples. **Journal Food Science technology**, v.27, n.5, p. 307-308, 1990.
- VIJAYANAND, P.; CHAND, N.; EIPESON, W.E. Optimization of osmotic dehydration of cauliflower. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.19, n.4, p. 229-242, 1995.
- VITRAC, O., TRYSTAM, G., RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. **European Journal of Lipid Science Technology**, 102, 529-538, 2000. \_\_\_\_\_; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A.L. Produits frits a base de manioc en Colombie: aptitude clonale et relation procédé/qualité. **Récents progrès en génie des procédés**. v.11, n.59, p.113-120,1997.
- WELTI, J.; PALOU, E.; LÓPES-MALO, A.; BALSEIRA, A. Osmotic concentration - drying of mango slices. **Drying Technology**, v.13, n.1&2, p.405-416, 1995.
- WHITE, P.J. Metodos para medir los cambios en los aceites de fritura por inmersión en grasas. **Alimentaria**, Septiembre, p.81-87, 1991.
- WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. *Lebensm.- Wiss. U.-Technology*, v.32, n.7, p.440-445, 1999.

## 7. ANEXOS

### Anexo I: Curvas de secagem da maçã em estufa com 3 bandejas

Os resultados obtidos para a construção das curvas de secagem de maçã nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, utilizando três bandejas são apresentadas nas tabelas A1, A2 e A3 respectivamente: As bandejas são acondicionadas em diferentes posições dentro da estufa e como a circulação do ar não é homogênea a taxa de secagem é diferente para cada uma delas.

**Tabela A1:** Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem em função do tempo. Temperatura de secagem: 40°C

Tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		UR
	massa(g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	
							23,4
60	442,14	87,62	442,69	87,6	420,3	87	40,8
90	396,19	86,19	317,14	82,7	368,1	85,15	37,2
120	309,04	82,29	309,62	82,28	269,96	79,75	38,7
150	233,63	76,57	231,87	76,33	185,52	70,54	35,4
210	162,99	66,42	163,85	66,51	119,83	54,39	38,9
270	112,4	51,31	114,45	52,05	82,45	33,71	35

UR = Umidade relativa da estufa

**Tabela A2:** Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem em função do tempo. Temperatura de secagem: 50°C

Tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		UR
	massa(g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	
							18
60	382,65	85,7	392,02	86,03	357,6	84,68	31,2
90	311,85	82,45	319,44	82,86	273,7	79,99	30,4
120	243,76	77,55	249,75	78,13	198,16	72,36	29,2
150	185,62	70,52	185,76	70,53	138,35	60,4	28
210	101,66	46,16	94,13	41,84	72,8	24,75	22,7
270	59,86	8,57	60,29	9,19	58,85	6,92	17

UR = Umidade relativa da estufa

Tabela A3: Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem em função do tempo. Temperatura de secagem: 60°C

Tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		UR
	massa (g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	massa (g)	umidade (%)	
30	414,31	86,79	422,82	87,03	357,65	84,65	22,3
60	340,06	83,91	365,36	84,99	258,72	78,78	24,6
90	264,65	79,32	268,82	79,6	153,87	64,32	20,9
120	164,19	66,67	153,44	64,26	89,53	38,68	16,4
180	58,59	6,59	58,89	6,87	57,47	4,47	15

UR = Umidade relativa da estufa

A partir destes dados foram construídas as curvas de secagem para cada bandeja em cada uma das temperaturas e por regressão linear foi determinada a equação de cada curva.

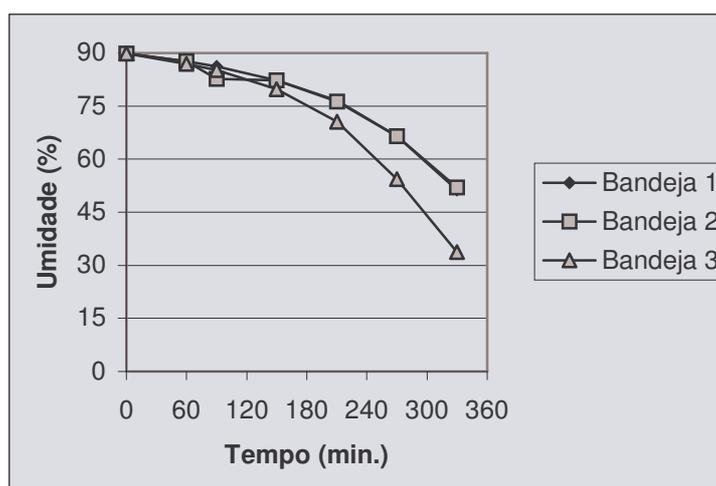


Figura A1: Curva de secagem de maçã a 40°C

As equações determinadas para cada uma das curvas de secagem na temperatura de 40°C e seus valores de coeficiente de regressão ( $r^2$ ) são apresentados na tabela A4.

Tabela A4: Equações e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) das curvas de secagem de maçã a 40°C

Bandeja	Equação	$R^2$
1	$U(\%) = -0,1461 * t + 95,962$	0,915
2	$U(\%) = -0,1412 * t + 94,917$	0,929
3	$U(\%) = -0,2161 * t + 99,271$	0,910

t = tempo em minutos.

No entanto, como a umidade final desejada é conhecida (76,5%, a mesma umidade determinada para o processo de desidratação osmótica), para se melhorar os valores do coeficiente e com isto a precisão da equação, optou-se por construir as equações com os três pontos mais próximos da umidade desejada.

Observa-se na tabela 20 que os valores de umidade mais próximos de 76,5% correspondem aos tempos de 120 e 150 minutos. Fazendo-se a regressão linear para estes pontos encontra-se novas equações mais ajustadas (Tabela A5):

**Tabela A5: Equações e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) para os 3 pontos mais próximos de umidade de 76,5% nas curvas de secagem de maçã a 40°C.**

Bandeja	Equação	$R^2$
1	$U(\%) = 0,0002 * t^2 - 0,2552 * t + 109,47$	1
2	$U(\%) = 0,0004 * t^2 - 0,3023 * t + 113,01$	1
3	$U(\%) = 0,0004 * t^2 - 0,4205 * t + 124,16$	1

t = tempo em minutos.

Constata-se que os valores de  $R^2$  para estas novas equações (Tabela A4) são melhores, com isto determinou-se através destas o tempo de secagem necessário para obtenção da umidade desejada.

Este procedimento foi adotado para a construção das equações para as demais temperaturas. Na tabela A6 apresentam-se apenas as equações determinadas a partir dos 3 pontos mais próximos da umidade desejada.

**Tabela A6: Equações e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) para os 3 pontos mais próximos de umidade de 76,5% nas curvas de secagem de maçã.**

Temperatura	Bandeja	Equação
50°C	1	$U(\%) = 0,0012 * t^2 + 0,0852 * t + 84,37$
	2	$U(\%) = 0,0016 * t^2 + 0,1772 * t + 79,83$
	3	$U(\%) = 0,0024 * t^2 + 0,2508 * t + 76,9$
60°C	1	$U(\%) = -0,0045 * t^2 + 0,5187 * t + 68,91$
	2	$U(\%) = -0,0055 * t^2 + 0,6495 * t + 65,92$
	3	$U(\%) = -0,0062 * t^2 + 0,4497 * t + 74,16$

t = tempo em minutos.

As curvas de secagem para as temperaturas de 50 e 60°C são apresentadas nas figuras A2 e A3.

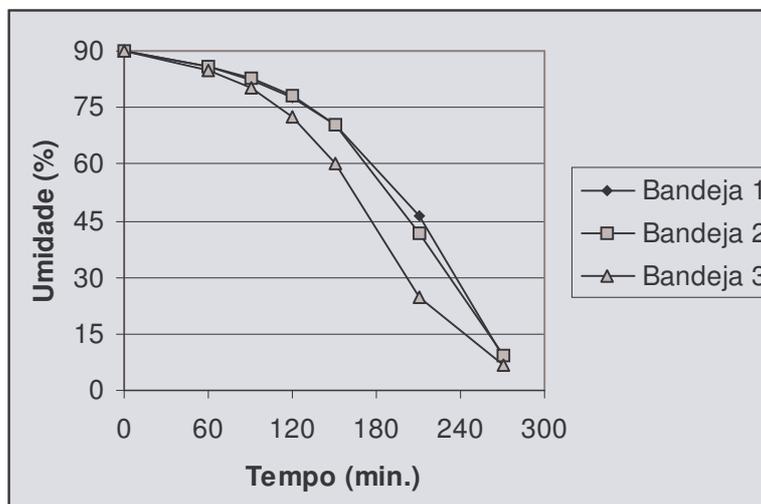


Figura A2: Curva de secagem de maçã a 50°C

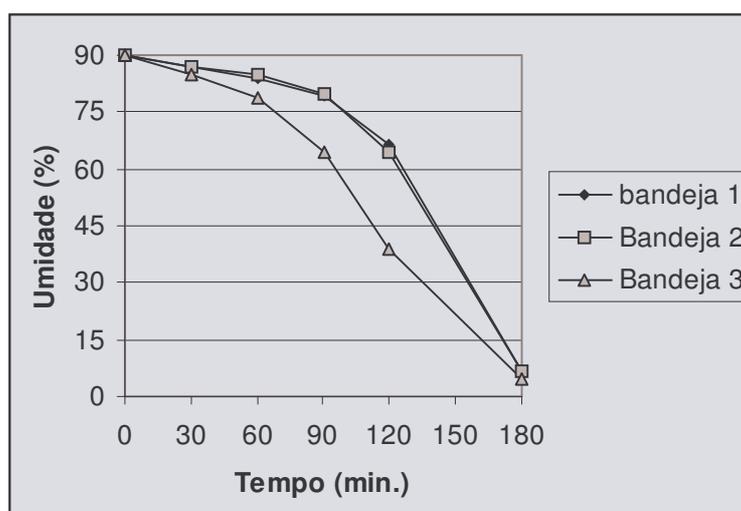


Figura A3: Curva de secagem de maçã a 60°C

Os tempos de secagem necessários para a obtenção de maçã com 76,5% de umidade foram então determinados a partir das equações apresentadas nas tabelas A5 e A6 e encontram-se na tabela A7.

**Tabela A7: Tempo necessário para obtenção de maçãs com umidade de 76,5%, em cada bandeja nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.**

Temperatura (°C)	Bandeja	Tempo (min.)
40°C	1	146
	2	151
	3	129
50°C	1	123
	2	127
	3	106
60°C	1	98
	2	99
	3	67

#### Verificação das equações

Uma vez determinado o tempo necessário para se atingir a umidade desejada os mesmos foram testados.

Os pesos correspondentes aos valores de umidade desejados foram calculados de acordo com o balanço de massa. A tabela A8 apresenta os valores encontrados:

**Tabela A8: Massas estimadas e massas reais das maçãs em cada bandeja decorridos os tempos de secagem.**

	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
Bandeja vazia (g)	589,34	615,38	614,88
Massa de maçã inicial (g)	541,74	541,14	540,18
Tempo 106min.			<i>233,88 / 232,85</i>
Tempo 123min.		<i>231,96 / 233,52</i>	
Tempo 127min.		<i>224,62 / 233,27</i>	

OBS: Valores em negrito correspondem ao peso calculado das maçãs para obtenção da umidade desejada e os valores em itálico correspondem ao peso real das maçãs no tempo estimado.

Observa-se na tabela A8 que a última bandeja a ser retirada (bandeja 2) apresentou peso real de maçãs inferior ao peso calculado para a obtenção de umidade de 76,5%. Isto se deve ao fato das demais bandejas terem sido

anteriormente retiradas e a curva de secagem ter sido construída com todas as bandejas no interior da estufa. Para se corrigir esta diferença, na retirada da penúltima bandeja, a última bandeja será pesada para verificação do peso.

Uma vez atingido o peso estimado, determinou-se a umidade para verificar se os valores encontrados eram os esperados e também verificar se há diferenças entre as bandejas. Esta análise foi feita no material desidratado a 50°C e é apresentada na tabela A9:

**Tabela A9: Valores de umidade e sólidos totais em cada bandeja de maçã desidratada em estufa a 50°C**

Bandeja	Umidade (%)	Sólidos Totais (%)
1	76,19	23,81 ± 0,18
2	75,48	24,52 ± 0,58
3	76,14	23,86 ± 0,09

Observa-se que os valores de umidade encontram-se próximos aos valores desejados, sendo que todos se apresentaram inferiores aos calculados pelo balanço de massa. A umidade da bandeja dois apresenta-se inferior ao valor desejado em função do peso real das maçãs nesta bandeja ter sido inferior ao peso calculado (Tabela A8).

Deste modo considera-se que as equações construídas a partir das curvas de secagem são preditivas e podem ser utilizadas para se obter diferentes valores de umidade final conhecidos para a maçã desidratada.

Definiu-se a temperatura de 50°C para a realização da secagem das maçãs.

**Anexo II:** Valores da massa e umidade de maçã para cada bandeja de secagem em função do tempo.

**Tabela A10: Temperatura de secagem: 70<sup>o</sup>C**

tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		Bandeja 4	
	M (g)	U (%)						
0	502,61	88,29	503,37	88,29	501,49	88,29	500,54	88,29
30	384,6	84,7	401,19	85,31	384,15	84,71	383,34	84,71
61	277,47	78,79	297,17	80,17	274,07	78,57	271,74	78,43
90	192,3	69,39	210,05	71,94	183,89	68,07	181,27	67,67
121	115,6	49,08	129,41	54,45	111,67	47,42	110,63	47,02
150	76,07	22,62	81,77	27,92	77,29	24,03	77,23	24,11

**Tabela A11: Temperatura de secagem: 100<sup>o</sup>C**

tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		Bandeja 4	
	M (g)	U (%)						
0	501,91	88,29	502,08	88,29	500,37	88,29	501,38	88,29
30	373,05	84,25	382,05	84,61	369,05	84,12	374,15	84,31
60	262,66	77,63	273,45	78,5	252,49	76,8	256,4	77,1
92	155,95	62,31	165,65	64,51	143,77	59,25	148,58	60,49
120	92,55	36,5	99,44	40,88	86,08	31,94	88,2	33,44
150	61,27	4,08	63,82	7,88	62,23	5,85	62,26	5,7

**Tabela A12: Temperatura de secagem: 120<sup>o</sup>C**

tempo	Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		Bandeja 4	
	M (g)	U (%)						
0	502,9	88,29	500,77	88,29	501,5	88,29	501,31	88,29
30	364,63	83,85	368,83	84,1	350,23	83,23	348,45	83,15
63	233,56	74,79	245,51	76,12	218,18	73,08	220,4	73,37
91	148,62	60,38	158,74	63,06	136,01	56,82	138,43	57,6
120	80,26	26,63	83,41	29,7	75,9	22,62	81,59	28,05

tempo em minutos

**Anexo III:** Perfis de temperatura do óleo de palma na fritadeira nos ensaios de fritura

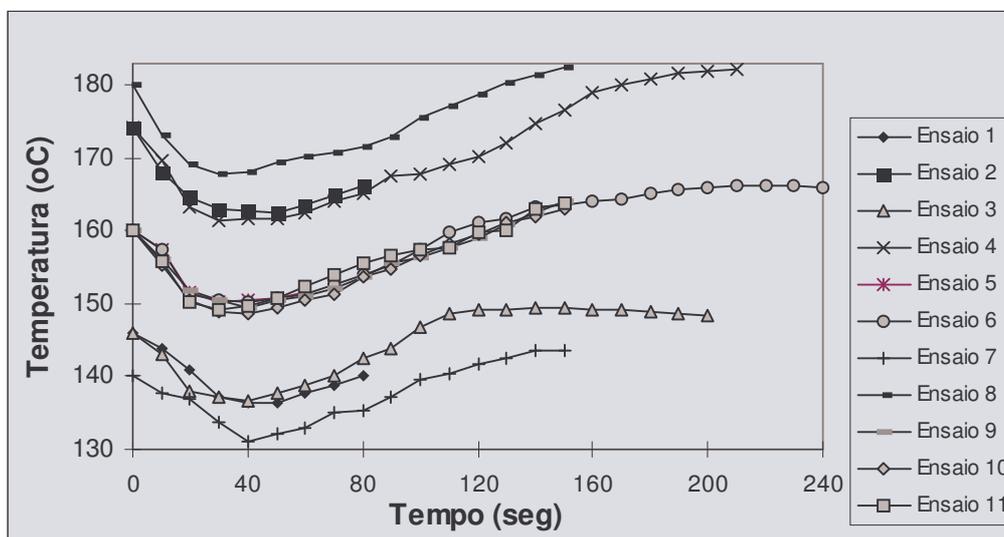


Figura A4: Fritura de maçã *in natura*

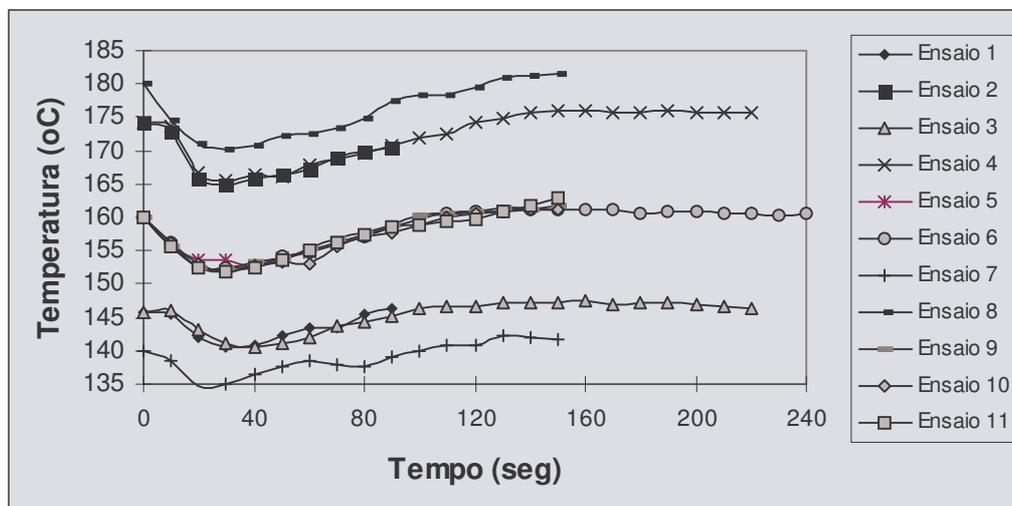


Figura A5: Fritura de maçã osmoticamente desidratada (umidade de 61%)

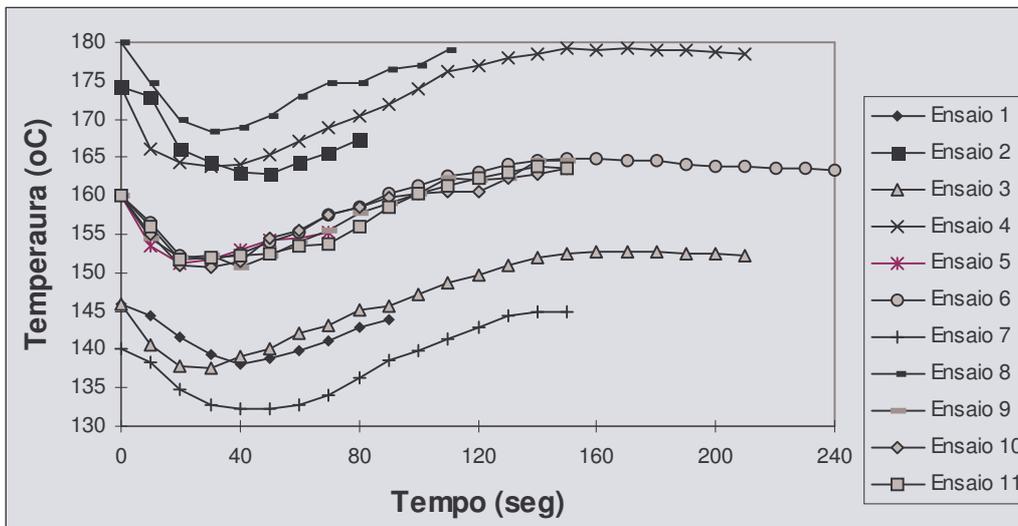


Figura A6: Fritura de maçã desidratada em estufa (umidade de 75,5%)

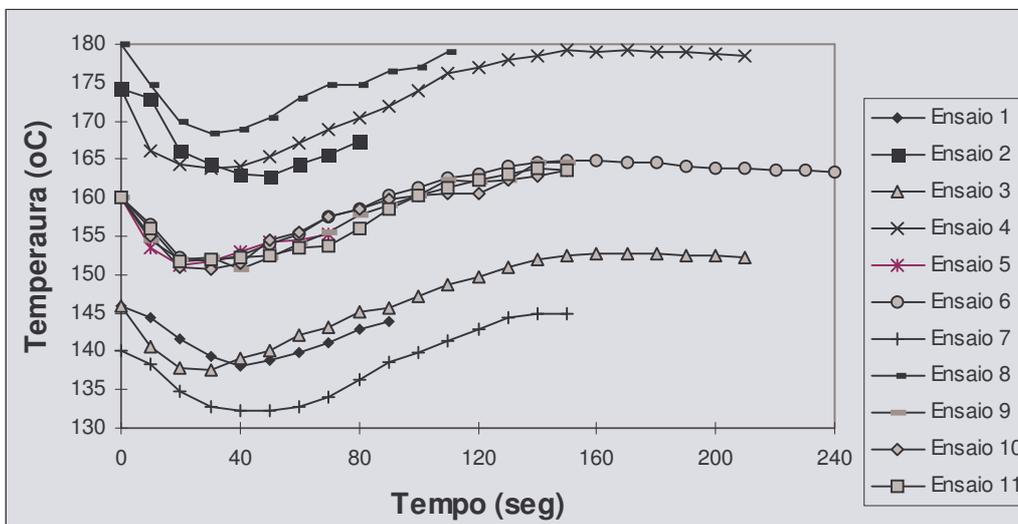


Figura A7: Fritura de maçã desidratada em estufa (umidade de 52%)

**Anexo IV:** Perfis de temperatura da fritadeira na validação dos modelos experimentais.

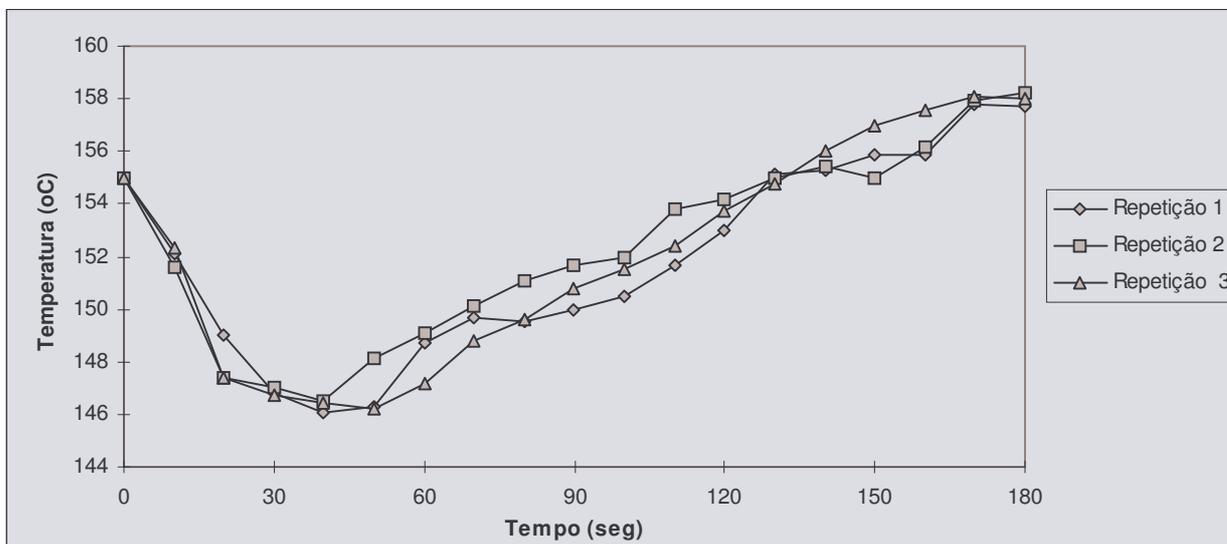


Figura A8: Fritura de maçã osmoticamente desidratada (umidade de 61%)

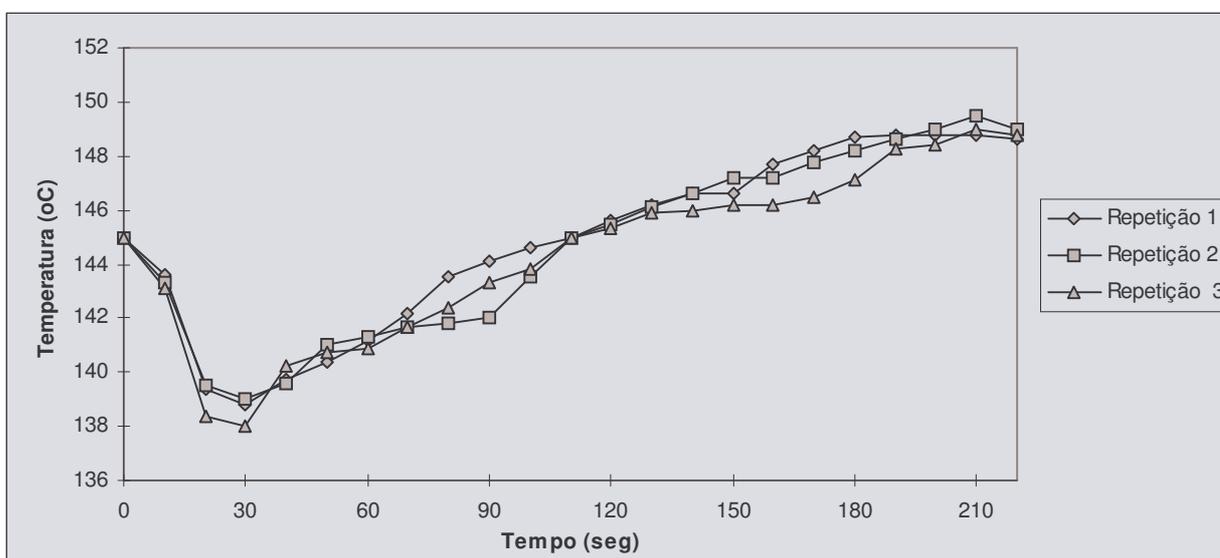


Figura A9: Fritura de maçã desidratada em estufa (umidade de 50%)