



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**LABORATÓRIO DE MICROONDAS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONTÍNUO FECHADO  
PARA A PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE EMBUTIDOS CÁRNEOS  
COZIDOS COM A APLICAÇÃO DE MICROONDAS**

**PARECER**

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ESTEVÃO MARTINS DE OLIVEIRA aprovada pela Comissão Julgadora em 11 de dezembro de 1997.

Campinas, 11 de dezembro de 1997.

  
Prof. Dr. ANTONIO MARSAIOLI JR.  
Presidente da Banca

**ESTEVÃO MARTINS DE OLIVEIRA**  
**Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

**Prof. Dr. ANTONIO MARSAIOLI, Jr**  
**Orientador**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos

**Campinas, dezembro de 1997**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL

U. 40 51

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	OL4d
Y.	Ex.
TOMBO BC	30160
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
	D
	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	27/01/98
N.º CPD	

CM-00105130-B

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

OL4d

Oliveira, Estevã Martins de

Desenvolvimento de um sistema contínuo fechado para a produção industrial de embutidos cárneos cozidos com a aplicação de microondas / Estevã Martins de Oliveira. -- Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Antonio Marsaioli Junior  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

I. Pasteurização. 2. Salsichas. 3. Microondas.  
I. Marsaioli Junior, Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.  
III. Título.

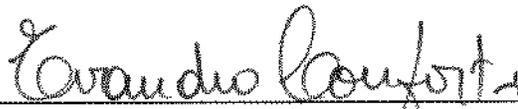
**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Antonio Marsaioli Jr.

(Orientador - FEA/DEA)



---

Prof. Dr. Evandro Conforti

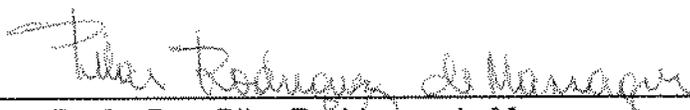
(Membro - FEEC/DMO)



---

Prof. Dr. Nelcindo Nascimento Terra

(Membro - UFSM/DTCA)



---

Profa. Dra. Pilar Rodríguez de Massaguer

(Membro - FEA/DCA)



---

Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

(Membro - FEA/DEA)

---

Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán

(Membro - FEA/DEPAN)

---

Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso

(Membro - FEA/DEPAN)

Campinas, 11 de dezembro de 1997

## **AGRADECIMENTOS**

À FINEP- Financiadora de Estudos e Pesquisa pelo subsídio concedido para a realização deste projeto.

À CEVAL Indústrias S.A.- Depto de Pesquisa e Desenvolvimento e a Gerência Industrial da Unidade de Dourados-MS. pela cedência de amostras e matéria prima.

À DIRETORIA DA FEA e sua secretaria executiva pelo inestimável apoio e colaboração.

À Coordenadora do Curso de Pós-Graduação Professora Dra. Délia Rodriguez Amaya pelo apoio e incentivo.

Aos Professores Dr. Carlos Grosso e Dr. Jaime Farfán, pelas facilidades concedidas no uso da infraestrutura do DEPAN.

Ao Químico Francisco Carraro pelo auxílio no uso dos equipamentos

Ao Prof. Dr. Evandro Conforti pela cedência de seu Laboratório de Microondas (FEEC), cooperação e apoio.

Ao Sr. Edson Aparecido Gil Neto pelos serviços e orientações prestados na oficina da FEEC para a construção dos equipamentos.

À Prof. Dra. Pilar de Massaguer pela cedência do Laboratório de Microbiologia e a Sra. Rosa Maria Tavares Andrasso Tosello pelo inestimável auxílio prestado.

Ao Eng. Marcos Remy do LNLS pela cedência de equipamentos auxiliares.

A todos funcionários, professores e colegas da FEA que contribuíram para a execução deste trabalho.

### ***AGRADECIMENTO ESPECIAL***

Ao Prof. Dr. Antonio Marsaioli Júnior pela imensurável compreensão, apoio, incentivo em todos momentos que trilhamos juntos este breve caminho do saber a fim de atingirmos nossas metas.

*A minha esposa Marta Weber do Ganto pelo exemplo  
de fé, dedicação e perseverança,  
a minha filha Giselle pela expectativa  
de novos horizontes.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XVI
LISTA DE TABELAS.....	XVIII
NOMENCLATURA.....	XX
RESUMO.....	XXV
SUMMARY.....	XXVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1. Evolução da tecnologia de microondas.....	7
3.2. Microondas na indústria de carnes - Tecnologias desenvolvidas	25
3.3. "Casings" e microondas.....	29
3.4. Estudos matemáticos dos fenômenos em microondas.....	33
3.4.1. Descrição matemática do fenômeno de aquecimento por microondas.....	36
3.5. Desenvolvimento de aplicadores para microondas.....	50
3.6. Medidas físicas dos fenômenos de microondas.....	55
3.7. Segurança na utilização de sistemas à microondas.....	60
3.8. Avaliação econômica dos investimentos em microondas.....	61
3.9. Análises da composição de alimentos por Infravermelho próximo.....	70
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	72
4.1. Materiais.....	72
4.1.1. Sistema de microondas.....	72
4.1.1.1. Gerador de microondas e fonte de alimentação.....	72

4.1.1.2. <i>Transição WG 1540/R26 para WG 284/UG 53/U</i> .....	72
4.1.1.3. <i>Acoplador e Wattímetros</i> .....	73
4.1.1.4. <i>Toco triplo</i> .....	73
4.1.1.5. <i>Carga d'água</i> .....	74
4.1.1.6. <i>Guia de produto</i> .....	75
4.1.1.7. <i>Extrusora</i> .....	76
4.1.1.8. <i>Câmara de injeção de emulsão protéica</i> .....	79
4.1.1.9. <i>Bombas</i> .....	79
4.1.1.10. <i>Sistema de resfriamento</i> .....	80
4.1.1.11. <i>Sistema de cozimento</i> .....	81
4.1.1.12. <i>Calibração dos sistema de microondas</i> .....	83
4.1.1.13. <i>Controle do resfriamento do sistema de microondas com rotâmetros</i> .....	84
4.1.1.14. <i>Controle da segurança do sistema de microondas com medidor de vazamento de microondas</i> .....	84
4.1.2. <i>Equipamentos analíticos</i> .....	85
4.1.2.1. <i>Espectrômetro de infravermelho próximo</i> .....	85
4.1.2.2. <i>Sistema de medidas dielétricas</i> .....	85
4.1.2.3. <i>Digestor por microondas</i> .....	88
4.1.3. <i>Matérias primas</i> .....	89
4.1.3.1. <i>Formulação da emulsão protéica</i> .....	89
4.1.3.2. <i>Preparação do agente de coagulação</i> .....	90
4.1.3.3. <i>Obtenção da emulsão cárnea e salsichas</i> .....	91
4.1.4. <i>Reagentes e meios de cultura</i> .....	92
4.2. <i>Métodos</i> .....	93
4.2.1. <i>Controle de temperatura das emulsões e do produto</i> .....	93
4.2.2. <i>Determinação das propriedades dielétricas</i> .....	93
4.2.3. <i>Análise da textura das salsichas</i> .....	101
4.2.4. <i>Composição da matéria prima e dos produtos por métodos convencionais</i> .....	103
4.2.5. <i>Análise da matéria prima e produtos por NIRS</i> .....	104

4.2.5.1. <i>Preparo das amostras para análise no NIRS</i> .....	104
4.2.5.2. <i>Preparação do NIR para as análises</i> .....	105
4.2.5.3. <i>Calibração do espectrômetro de infravermelho próximo</i> .....	106
4.2.5.4. <i>Método matemático aplicado ao tratamento dos dados</i> .....	107
4.2.5.5. <i>Explicação do método PLS</i> .....	109
4.2.6. <i>Eficiência de coagulação</i> .....	113
4.2.7. <i>Controle microbiológico</i> .....	114
4.2.8. <i>Controle de variáveis</i> .....	115
5. <b>RESULTADOS e DISCUSSÃO</b> .....	118
5.1. <i>Composição da matéria prima (emulsão cárnea)</i> .....	118
5.2. <i>Resultados das medidas dielétricas</i> .....	119
5.3. <i>Estimativa da densidade de potência a ser aplicada no processo</i> .....	121
5.4. <i>Ajuste do sistema para o processamento de salsicha</i> .....	124
5.5. <i>Análise da textura dos produtos</i> .....	137
5.6. <i>Análise de cor dos produtos</i> .....	144
5.7. <i>Análise microbiológica da matéria prima e dos produtos</i> .....	147
5.8. <i>Avaliação econômica do processo</i> .....	151
5.9. <i>Ampliação de escala do processo</i> .....	152
6. <b>CONCLUSÕES</b> .....	153
7. <b>SUGESTÕES</b> .....	156
8. <b>APÊNDICES</b> .....	157
8.1. <i>Características do guia de onda e do gerador de microondas</i> .....	158
8.2. <i>Curva de atenuação do dielétrico (amostra de emulsão cárnea) no HP 85047</i> .....	159
8.3. <i>Gráfico da análise de textura de salsichas obtido do TA-XT2</i> .....	160
8.3.1. <i>Exemplo de aplicação do TA-XT2 em salsichas</i> .....	162
8.3.2. <i>Lâmina e suporte utilizados na determinação da textura</i>	

de salsichas.....	164
8.4. Espectro para emulsão cárnea no NIRS com a 2ª derivada.....	165
8.5. Resultados de proteína na emulsão cárnea por PLS com resí- duos não tratados.....	166
8.5.1. Dados de proteína na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	166
8.5.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Labora- tório x NIRS, de proteína na emulsão cárnea.....	167
8.5.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína na emulsão cárnea.....	168
8.5.4. Resultados de proteína na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados.....	169
8.5.5. Dados de proteína na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	169
8.5.6. Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína na emulsão cárnea.....	170
8.5.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em La- boratório x NIRS, de proteína na emulsão cárnea.....	171
8.5.8. Resultados estatísticos dos dados de proteína na emul- são cárnea por PLS com resíduos tratados.....	172
8.6. Resultados de umidade na emulsão cárnea por PLS com resí- duos não tratados.....	173
8.6.1. Dados de umidade na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	173
8.6.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Labora- tório x NIRS, de umidade na emulsão cárnea.....	174
8.6.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de umidade na emulsão cárnea.....	175
8.6.4. Resultados de estatísticos dos dados de umidade na emulsão cárnea por PLS com resíduos não tratados.....	176
8.7. Resultados de gordura na emulsão cárnea por PLS com resí-	

duos não tratados.....	177
8.7.1 Dados de gordura na emulsão carne para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	177
8.7.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura na emulsão carne.....	178
8.7.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura na emulsão carne.....	179
8.7.4. Resultados estatísticos dos dados de gordura na emulsão carne por PLS com resíduos tratados.....	180
8.8. Resultados de carboidratos na emulsão carne por PLS com resíduos não tratados.....	181
8.8.1. Dados de carboidratos na emulsão carne para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	184
8.8.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de carboidratos na emulsão carne.....	182
8.8.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de carboidratos na emulsão carne....	183
8.8.4. Resultados estatísticos dos dados de carboidratos na emulsão carne por PLS com resíduos tratados.....	184
8.9. Resultados de resíduo mineral fixo na emulsão carne por PLS com resíduos não tratados.....	185
8.9.1. Dados de resíduo mineral fixo na emulsão carne para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	185
8.9.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo na emulsão carne...	186
8.9.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo na emulsão carne.....	187
8.9.4. Resultados de resíduo mineral fixo na emulsão carne por PLS com resíduos tratados.....	188
8.9.5. Dados de resíduo mineral fixo na emulsão carne para	

calibração no NIRS com resíduos tratados.....	188
8.9.6. Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo na emulsão cárnea.....	189
8.9.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo na emulsão cárnea.....	190
8.9.8. Resultados estatísticos dos dados de resíduo mineral fixo na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados.....	191
8.10. Espectro para salsichas no NIRS com a 2ª derivada.....	192
8.11. Resultados de proteína nas salsichas industrializadas por PLS com não resíduos tratados.....	193
8.11.1. Dados de proteína nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	193
8.11.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína nas salsichas industrializadas...	194
8.11.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína nas salsichas industrializadas.....	195
8.11.4. Resultados de proteína nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados.....	196
8.11.5. Dados de proteína nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	196
8.11.6 Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína nas salsichas industrializadas.....	197
8.11.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de proteína nas salsichas industrializadas.....	198
8.12. Resultados de umidade nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados.....	199
8.12.1. Dados de umidade nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	199

8.12.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de umidade nas salsichas industrializadas..	200
8.12.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de umidade nas salsichas industrializadas.....	201
8.12.4. Resultados de umidade nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados.....	202
8.12.5. Dados de umidade nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	202
8.12.6. Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de umidade nas salsichas industrializadas..	203
8.12.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de umidade nas salsichas industrializadas.....	204
8.13. Resultados de gordura nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados.....	205
8.13.1. Dados de gordura nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	205
8.13.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura nas salsichas industrializadas	214
8.13.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura nas salsichas industrializadas.....	207
8.13.4. Resultados de gordura nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados.....	208
8.13.5. Dados de gordura nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	208
8.13.6. Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura nas salsichas industrializadas.....	209
8.13.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de gordura nas salsichas indus-	

trializadas.....	210
8.14. Resultados de carboidratos nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados.....	211
8.14.1. Dados de carboidratos nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	211
8.14.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de carboidratos nas salsichas industrializadas.....	212
8.14.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de carboidratos nas salsichas industrializadas.....	213
8.15. Resultados de resíduo mineral fixo na salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados.....	214
8.15.1. Dados de resíduo mineral fixo na salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados.....	214
8.15.2. Gráfico dos resultados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo nas salsichas industrializadas.....	215
8.15.3. Gráfico dos resíduos dos dados não tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo na salsichas industrializadas.....	216
8.15.4. Resultados de resíduo mineral fixo nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados.....	217
8.15.5. Dados de resíduo mineral fixo nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados.....	217
8.15.6. Gráfico dos resultados tratados obtidos em Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo nas salsichas industrializadas.....	218
8.15.7. Gráfico dos resíduos dos dados tratados obtidos em	

Laboratório x NIRS, de resíduo mineral fixo nas salsi- chas industrializadas.....	218
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	219

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b>	Fluxograma de processamento de embutidos pelo método convencional e modificado com a tecnologia de microondas.....	18
<b>Figura 2-</b>	Esquema de um sistema de microondas para esterilização de alimentos empacotados.....	22
<b>Figura 3-</b>	Guia de onda retangular com modo TE <sub>10</sub> .....	45
<b>Figura 4-</b>	Modelo generalizado eletrofísico para produtos de geometria cilíndrica.....	50
<b>Figura 5-</b>	Extrusora - partes e peças.....	78
<b>Figura 6 -</b>	Sistema de Microondas .....	82
<b>Figura 7-</b>	Sistema de cozimento e pasteurização por microondas.....	83
<b>Figura 8-</b>	Sistema de medidas dielétricas.....	86
<b>Figura 9-</b>	Célula para medidas dielétricas com emulsão cárnea.....	87
<b>Figura 10-</b>	Diagrama de blocos de analisador de rede.....	94
<b>Figura 11-</b>	Célula para medidas dielétrica montada com cabo coaxial.....	96
<b>Figura 12-</b>	Esquema do fluxo de energia através do dielétrico.....	96
<b>Figura 13-</b>	Variações de $\lambda_1 / \lambda_2$ com $a / \lambda_1$ .....	100
<b>Figura 14-</b>	Fluxograma dos processos de calibração e validação para infravermelho próximo.....	108
<b>Figura 15-</b>	Amostras de salsichas processadas por microondas.....	130
<b>Figura 16-</b>	Textura de salsichas industrializadas corte central.....	141
<b>Figura 17-</b>	Textura de salsichas industrializadas corte na extremidade.....	141
<b>Figura18-</b>	Textura de salsichas industrializadas corte a um quarto.....	142

<b>Figura 19-</b> Textura de salsichas processadas por microondas (400W)....	142
<b>Figura 20-</b> Textura de salsichas processadas por microondas (450W)....	143
<b>Figura 21-</b> Textura de salsichas processadas por microondas (500W)	143

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b>	Energia consumida para processamento de salsichas.....	69
<b>Tabela 2-</b>	Composição centesimal da emulsão cárnea.....	91
<b>Tabela 3-</b>	Composição centesimal da emulsão cárnea utilizada para a produção de salsichas à nível industrial e das salsichas processadas por microondas .....	118
<b>Tabela 4-</b>	Parâmetros "S" determinados com o sistema de analisador de circuitos de microondas HP 8702B e HP85047.....	119
<b>Tabela 5-</b>	Estimativa da densidade de potência e eficiência do sistema de microondas para o cozimento de emulsao cárnea.....	123
<b>Tabela 6-</b>	Configurações dos sistemas de microondas e resultados obtidos no processamento de salsichas.....	134
<b>Tabela 7a-</b>	Análise de variância dos dados de força máxima (N) na textura de salsichas industrializadas.....	138
<b>Tabela 7b-</b>	Análise de variância dos dados de distância (mm) até o ponto de força máxima na textura de salsichas industrializadas.....	138
<b>Tabela 7c-</b>	Análise de variância dos dados de força total sobre área(N/m <sup>2</sup> ) na textura de salsichas industrializadas.....	139
<b>Tabela 8a-</b>	Análise de variância dos dados de força máxima (N) na textura de salsichas processadas por microondas.....	139
<b>Tabela 8b-</b>	Análise de variância dos dados de distância (mm) até o ponto de força máxima na textura de salsichas processadas por microondas.....	140
<b>Tabela 8c-</b>	Análise de variância dos dados de força total (N/m <sup>2</sup> ) na textura	

	de salsichas industrializadas.....	140
<b>Tabela 9-</b>	Parâmetros de cor $\underline{L}$ , $\underline{a}$ , e $\underline{b}$ de salsichas industrializadas.....	144
<b>Tabela 10-</b>	Parâmetros de cor $\underline{L}$ , $\underline{a}$ , e $\underline{b}$ de salsichas processadas por microondas.....	144
<b>Tabela 11-</b>	Valor médio das diferenças total de cor ( $\Delta E$ ) e de cromaticidade ( $\Delta C$ ) entre as amostras de salsichas industrializadas e as processadas por microondas.....	145
<b>Tabela 12a-</b>	Análise estatística dos dados $\underline{L}$ dos produtos processados por microondas e dos industrializados.....	146
<b>Tabela 12b-</b>	Análise estatística dos dados $\underline{a}$ dos produtos processados por microondas e dos industrializados.....	146
<b>Tabela 12c-</b>	Análise estatística dos dados $\underline{b}$ dos produtos processados por microondas e dos industrializados.....	147
<b>Tabela 13-</b>	Resultados dos ensaios microbiológicos com emulsão cárnea.....	148
<b>Tabela 14-</b>	Resultados dos ensaios microbiológicos com salsichas industrializadas.....	148
<b>Tabela 15-</b>	Resultados microbiológicos de salsichas processadas por microondas a 400 e 500 W.....	149

## NOMENCLATURA

Símbolo		Unidade
a	Dimensão da cavidade na direção x (largura)	m
ASTM	American Society of Testing and Materials	-
b	Dimensão da cavidade na direção y (altura)	m
$\Delta H$	Calor latente de vaporização	J/kg
c	Velocidade da luz e ondas eletromagnéticas	m/s
c	Dimensão da cavidade na direção z (comprimento)	m
C	Fração de carboidratos na amostra	decimal
$\Delta C$	Cor total	-
$c_p$	Calor específico	kJ/kg°C, cal/g°C
d	distância	m
$d_p$	Profundidade de penetração (36, 8 %)	-
DIN	Deutsch Internationale Normalisiche	-
E	Vetor intensidade de campo elétrico	V/m
$\Delta E$	Cromaticidade	-
$e_{\pi}$	Eficiência do sistema de microondas	percentual
$E_{\pi}$	Eficiência do processo	kg/kWh
f	Frequência	Hz, s <sup>-1</sup>
FCC	Federal Communications Commission (EUA)	-
FDA	Food and Drug Administration	-

Símbolo		Unidade
FD-TD	Diferenças finitas- domínio de tempo	-
F	Fração de gordura na amostra	decimal
Fo	Valor de esterilização em minutos ou equivalente a minutos a 121 °C	-
FEM	Método de elementos finitos	-
H	Vetor intensidade de campo magnético	C/ms, A/m
IMPI	International Microwave Power Institute	-
IEC	International Electrotechnical Commission	-
ISM	Industrial, Scientific and Medical	-
p	perda de peso	percentual
P	Fração de proteína na amostra	decimal
P	Potência	W
Pa	Potência absorvida por uma amostra	W
Pi	Potência incidente sobre uma amostra	W
Pr	Potência refletida de uma amostra	W
Pt	Potência transmitida através de uma amostra	W
Pv	Potência Absorvida por volume unitário	W/m <sup>3</sup>
R	Resistência elétrica	Ω(ohm)
rf , RF	Rádio frequência	-
S <sub>11(w)</sub>	Parâmetro S- fluxo de energia em um ângulo na porta de saída e entrada do analisador de rede	-

Símbolo		Unidade
SI	Scientific International	-
t	Tempo	s
T	Temperatura	°C, °K
T	Coefficiente total Transmissão	-
TE	Transversal Elétrico	-
TM	Transversal Magnético	-
V	Diferença de potencial ( voltagem)	V
V	Volume	m <sup>3</sup>
WG	"Waveguide" (guia de onda)	
WR	Designação de tipo de guia de onda ("waveguide")	-
Z	Impedância elétrica	$\Omega$ (ohm)
Z <sub>0</sub>	Impedância ou resistividade do espaço livre 377 ohms	$\Omega$ (ohm)

## LETRAS GREGAS

Símbolo		Unidade
$\alpha$	Ângulo de incidência de onda	rad
$\alpha$	Constante de atenuação para a onda plana	$m^{-1}$
$\alpha$	Difusividade Térmica	$m^2/s$
$\beta$	Ângulo de refração de onda	rad
$\Delta T$	Variação de temperatura	$^{\circ}C, K$
$\Delta t$	Variação de tempo	s
$\epsilon$	Permissividade complexa ou constante dielétrica	F/m
$\epsilon'$	Permissividade ou constante dielétrica	F/m
$\epsilon''$	Fator de perda dielétrica	F/m
$\epsilon_0$	Permissividade no espaço livre (vácuo) = $8,854 \times 10^{-12}$	F/m
$\Gamma$	Coefficiente total de reflexão	-
$\eta$	Índice de refração, impedância intrínseca do dielétrico	$\Omega$
$\eta$	Viscosidade	Pa.s
$\kappa$	Permissividade	F/m
$\kappa$	Condutividade térmica	Wm/K

Símbolo		Unidade
$\lambda$	Comprimento de onda	m
$\lambda_m$	Comprimento de onda médio	m
$\lambda_o$	Comprimento de onda no espaço livre (vácuo)	m
$\mu$	Permeabilidade complexa = $\mu' - j\mu''$	kgm/C <sup>2</sup>
$\mu'$	Permeabilidade magnética	kgm/C <sup>2</sup>
$\mu''$	Fator de perda magnético	kgm/C <sup>2</sup>
$\rho$	Massa específica	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Condutividade elétrica	S/m

## RESUMO

A maior parte da energia suprida na indústria de carnes é consumida nos processos de aquecimento e resfriamento. Desta energia, menos de 60 % é efetivamente aproveitada para o processamento térmico. Esta demanda provém da baixa eficiência dos equipamentos utilizados e rendimento da produção de embutidos cozidos, além da necessidade de considerável espaço físico para sua instalação. A consequência disto é a agregação de custos com sistemas de isolamento térmico. As indústrias de grande porte existentes no país, que possuem três linhas de processamento, requerem cerca de 64 funcionários operando continuamente para atingir uma produção média diária de 80 toneladas. O objetivo deste trabalho foi simplificar o processo minimizando o dispêndio de energia, aumentando o rendimento e com a melhoria da qualidade nutricional e higiênico-sanitária das salsichas industrializadas, além de reduzir o custo operacional, através do desenvolvimento de um sistema contínuo fechado para o processamento de salsichas com aplicação de microondas. O sistema, construído a nível de bancada no Laboratório de Microondas do Departamento de Engenharia de Alimentos FEA/UNICAMP, constituiu-se de um gerador de microondas de 1,9 kW operando na frequência de 2,45 GHz alimentando um aplicador na forma de guia de onda retangular de alumínio, aonde foi inserido um guia de produto cilíndrico de Teflon. Em uma das extremidades do tubo de teflon foi acoplada uma extrusora construída em aço AISI 304, com desenho apropriado para a co-extrusão contínua de salsichas revestidas de um filme de colágeno/metil-celulose, antes do cozimento e pasteurização por microondas. A emulsão cárnea foi extrudada através de uma bomba positiva. O filme de colágeno/metil-celulose e o agente de coagulação foram administrados por meio de duas bombas peristálticas. Os ensaios de cozimento foram programados com a aplicação de potências de 0,4 kW a 1,8 kW e vazões de

emulsão cárnea variando desde 2,35 até 30 kg/h. Os produtos obtidos foram comparados em cor, aparência, textura, composição e qualidade microbiológica com salsichas de igual formulação porém industrializadas por processos convencionais. Os resultados obtidos demonstraram que as salsichas tratadas à densidade de potência de 170,14 Wh/kg apresentaram melhor aparência, cor e textura do que os demais tratamentos. Em comparação com os produtos industrializados, diferiram quanto à uniformidade da superfície externa pela presença de irregularidades no filme de recobrimento e textura mais rígida. Além disto, sofreram segmentação em função da presença dos vapores gerados durante o cozimento dentro do guia de produto, além da focalização de microondas no centro do produto e concentração de sal no agente coagulante. A qualidade microbiológica do produto processado por microondas foi comparável com os resultados obtidos pelo aquecimento convencional, predominando a flora láctica. O gasto energético estimado com bases no protótipo e extrapolado para escala industrial, para a etapa de cocção, equivale a 18,98 da energia gasta no processo convencional. O sistema necessita ser melhorado quanto ao desenho da extrusora, à dimensão da câmara de aplicação do filme de recobrimento e a exaustão dos vapores de cozimento, para sua otimização.

## SUMMARY

The meat industry expends most of the supplied energy in the heating and cooling processes. Less than 60% of the generated energy are directly useful for the heat process. Such requirements have been originated from the low efficiency of the industrial equipment available and the low yielding of the cooked sausage production rate. Furthermore, the processing lines need a very large installation area bringing about high expenses for the overall systems thermal insulation. The large scale meat industries prevailing in the country, having an average of three processing lines require an operating labor amounting to 64 employee per shift in a continuous way to reach an the average target capacity of 80 ton daily. The objective of this work was to simplifying the plant processes and operations in order to minimize the energy expenses, increasing capacity ratio, improving the nutritional quality and sanitation conditions of industrialized sausages and lowering operation costs throught the application of a continuous microwave and closed system for processing sausages. The type of microwave system setup was bench scale, at the Microwave Laboratory of the Food Engineering Department (FEA/UNICAMP/SP-BR). It consisted of one 1,9 kW high voltage generator and launcher at 2,45 GHz coupled to an aluminum waveguide type applicator internally holding a Teflon cylindrical product tube. An extruder made of AISI 304 stainless steel was designed to be coupled to one end of the Teflon tube, and capable of extruding the meat emulsion with simultaneous coverage of collagen-metylcellulose emulsion, before cooking and pasteurizing into the microwave system. The meat emulsion was pumped by a progressive cavity pump and the collagen emulsion and coagulation solution were pumped by two peristaltic pumps. The cooking stages were programmed with power densities ranging from 0,4 kW to 1,8 kW under the flow rates from 2,35 to 30 kg/h. The final products were compared by color, appearance, texture, composition and

microbiological quality to the sausage of the same formulation obtained by the conventional process. The results showed that sausage treated with 170,4 Wh/kg power density had the best appearance, color and texture as compared to the other treatments. Differences occurred in relation to the industrialized products concerning both to the surface uniformity, due to the rugosity of covering film, and to the segmentation caused by the vapor pressure during the cooking process, in the addition to the problem of focusing energy at the center of the product and salt concentration of the coagulating solution. The microorganism counting of the final microwaved product was similar to the industrialized product heated by the conventional process, with predominance of lactic microorganisms. The supplied energy predicted on the basis of the prototype operation and converted to industrial scale for the cooking step was equal to 18,98 % of the conventional process. The system needs to be improved as regards to the extruder design, the dimension of the film application chamber and the sizing of the exhaustion chamber for the generated vapors. The coagulating salt solution must be eliminated.

# 1 - INTRODUÇÃO

Os custos de energia na indústria de alimentos, envolvidos no funcionamento de equipamentos de processamento, estão entre os que mais oneram o custo final do produto. Este é o caso dos processos convencionais para a fabricação de embutidos cozidos na indústria salsicheira, que se apresentam com equipamentos de elevado consumo energético (elétrico e térmico), sendo necessárias duas ou mais linhas de processamento para atender à produção diária de um frigorífico; além do que, ocupam grande área física na indústria e requerem numerosos funcionários para sua operacionalização (SINGH, 1986). Então, as necessidades de redução dos custos de processamento, de implementar novas tecnologias e de aumentar a produtividade despertaram particular interesse para o estudo e aplicação de um sistema de microondas na tentativa de solucionar esses problemas, à semelhança de uma aplicação industrial bem sucedida desta nova técnica, por exemplo, a do descongelamento de blocos de carne a nível de pré-processamento. Entretanto, o potencial deste recurso não foi ainda desenvolvido para outras etapas como as de cozimento e pasteurização de embutidos. Os resultados obtidos com ensaios de laboratório e de planta piloto, em centros de pesquisa e indústrias do exterior, estão afetos apenas à utilização de aquecimento ôhmico ao processamento da carne, nada se constatando até o presente com relação à aplicação de microondas sugerida

neste estudo, o que caracteriza o seu ineditismo, passível até mesmo de gerar patentes industriais.

O objeto da pesquisa proposta está relacionado com a necessidade de aperfeiçoar o processamento de produtos da indústria de carnes através do desenvolvimento de novos procedimentos que resultem em maior produtividade, com menor custo de produção, beneficiando desta forma a demanda de mercado.

O escopo deste programa de trabalho é a perspectiva de desenvolver uma nova aplicação de microondas na indústria de alimentos no País.

## 2 - OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo implementar a tecnologia convencional da linha de processamento de embutidos da indústria de processamento de carnes, com a aplicação de um sistema contínuo de embutimento, cozimento e pasteurização, adotando-se os recursos das microondas nestas duas últimas etapas.

Para tanto as seguintes metas foram propostas:

- 1- Desenvolvimento de um sistema de microondas a nível de bancada equipado com um guia de ondas contendo um guia de produto que permitisse o tratamento térmico da emulsão cárnea coagulando-a, cozinhando-a e pasteurizando-a,
- 2- desenvolvimento de uma extrusora capaz de permitir o envolvimento do material extrudado com um filme protéico concomitantemente com a sua extrusão e coagulação na forma de embutido,

- 3- adaptação do guia de ondas para conferir uma homogeneidade de campo eletromagnético nas secções radial e axial do produto,
- 4- desenvolvimento de um filme protéico para o revestimento do produto, formando uma película com funções lubrificante durante o processo e ao mesmo tempo estrutural, de acabamento e aparência do produto final,
- 5- desenvolvimento de um sistema de resfriamento do produto embutido posterior ao tratamento térmico por microondas,
- 6- desenvolvimento de uma cavidade de aplicação de microondas para determinação das propriedades dielétricas das emulsões cárnea .

***A programação experimental específica incluiu o seguinte:***

- a) Estudo da adequação do sistema (extrusora/guia de onda) para uma linha de processamento de embutidos cozidos incorporando a aplicação desta tecnologia;
- b) Determinações das características físico-químicas em geral e dielétricas, em particular, das amostras de emulsão cárnea, tendo em vista as formulações dos embutidos cozidos, (especificamente salsichas de 20 mm de

diâmetro) e o efeito da espessura e composição do filme protéico de recobrimento, que substituiu o "casing" de celulose, quanto à aderência deste sobre a emulsão cárnea;

c) Estudo das transformações sofridas pela emulsão, decorrentes de cada etapa do processo (extrusão, cozimento e resfriamento) sob a ação das microondas;

d) Avaliação das modificações decorrentes do processo mediante a determinação das características do produto pré e pós-processamento, comparativamente ao método convencional.

### 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria nacional de processamento de carnes busca incessantemente novas tecnologias para o aumento da sua capacidade de produção e concomitante redução dos custos de processamento, com possível ganho da qualidade do produto acabado, em benefício do consumidor final.

A automação industrial tem, sem dúvida, contribuído para a ampliação da capacidade produtiva das indústrias do setor de carnes, entretanto níveis maiores de aprimoramento são necessários. A velocidade de processamento e a qualidade dos produtos, envolvendo os aspectos sanitários de aparência e vida de prateleira, não são ainda satisfatórios.

Alguns países como EUA, Alemanha, Canadá, Japão, entre outros, utilizam-se de equipamentos a microondas dimensionados em escala industrial para a pasteurização de produtos embutidos (DUNN et alii, 1972) e de cortes industriais de bovinos e aves durante a fase de empacotamento (AYOUB et alii, 1974; BALL et alii, 1993). EDGAR, (1986) e DECAREAU, (1985) relataram estudos econômicos sobre a aplicação de microondas no

aquecimento rápido, abaixo do ponto de descongelamento (têmpera), de blocos de carnes.

No Brasil, esta última aplicação tem sido utilizada apenas pela Frigobrás, do Grupo Sadia.

As tendências das pesquisas para o desenvolvimento tecnológico do processamento de alimentos estão voltadas para a busca de uma técnica que, se empregada, venha acarretar um mínimo de danos à composição dos alimentos e também garantir sua estabilidade em vida de prateleira. Entre estas técnicas, consideradas de processamento mínimo para a preservação dos alimentos, encontra-se o tratamento por microondas dentro do ítem "Novos métodos de processamento térmico" ("Minimal Processing-Preservation Methods of the Future") (OHLSON, 1994).

### **3.1. Evolução da tecnologia de microondas**

O aquecimento por microondas foi desenvolvido em diversos países: Brasil, Canadá, República da China, Egito, Alemanha, Israel, Itália, Japão, Coréia do Sul, Rússia, Suécia, Suíça, Estados Unidos e Iugoslávia. O número de trabalhos relacionados no "Food Science and Technology Abstracts" no período de 1969 a 1984, demonstra claramente a preocupação mundial no desenvolvimento de novas tecnologias neste campo. Entretanto, diante destas

pesquisas, não são vistos relatórios sobre o sucesso alcançado comercialmente com a aplicação desta nova técnica, por três razões básicas: problemas contratuais na transferência de tecnologia para terceiros, falta de atualização dos técnicos e profissionais envolvidos na utilização dos recursos dos equipamentos e operações de produção, ausência de informações precisas quanto aos custos de industrialização e os benefícios tecnológicos do processo (GERLING, 1986).

Os primeiros ensaios feitos a nível de laboratório foram dirigidos para a eliminação de microorganismos nos alimentos, com o objetivo de aumentar a qualidade sanitária dos mesmos e avaliar a eficácia desta nova tecnologia.

GOLDBLITH e WANG (1967) estudaram o efeito de microondas sobre *Escherichia coli* e esporos de *Bacillus subtilis*, dois microorganismos cuja presença em alimentos indicam falta de higiene durante manipulação e controle de qualidade de esterilização respectivamente. Os pesquisadores constataram que, em temperaturas inferiores a 51 °C os microorganismos em meio de cultura não são destruídos quando submetidos ao aquecimento por microondas.

VELA e WU (1979) estudaram a eficiência de esterilização do calor gerado por microondas e conseguiram a destruição de actinomicetos, fungos e bacteriófagos de *Escherichia coli* K-12 desenvolvidos em meio de cultura

submetido à ação de microondas numa frequência de 2450 MHz, com variação de 20 MHz e potência aplicada de 1 kW, mantendo a temperatura do ar e seu fluxo constantes dentro de uma cavidade de secção de 66 x 46 cm. A inativação se deu em presença de água demonstrando que a morte de microorganismos não ocorre por efeito térmico na ausência de meio hídrico.

A carga microbiana de pizzas formuladas com vários tipos de carne, carnes ovina e bovina grelhadas, pratos asiáticos (teriyuki) entre outros pratos mantidos a -15°C por 1 a 2 dias, foi avaliada antes e após tratamento térmico em forno de microondas com 650 W de potência e na frequência de 2,45 GHz. Não foi detectada a presença de lactobacilos em oito das nove observações efetuadas nos pratos contendo pizzas de carne e a contagem total de microorganismos variou entre  $3 \times 10^2$  a  $8 \times 10^2$ , além da ausência de fungos, leveduras e *Clostridium perfringens* ( HOLLYWOOD et alii, 1991).

Túneis de esterilização por microondas de grande porte são capazes de produzir cerca de 2700 kg/h de produto, enquanto que os de médio porte produzem 900 a 1800 kg/h, sendo necessário o rápido resfriamento do alimento para 21 a 35 °C, que é favorável a morte dos microorganismos.

Comparando-se os sistemas de pasteurização de aquecimento por condução onde o tempo é de 30 a 45 minutos em média, para alcançar a temperatura de pasteurização, nos sistemas de microondas são requeridos

apenas 3 a 5 minutos. Abreviando-se o tempo de tratamento do produto consegue-se manter a cor e aroma e sabor dos alimentos sem grandes alterações (SCHLEGEL, 1992).

A esterilização por microondas oferece alguns benefícios sobre o método convencional, principalmente na redução dos ciclos de aquecimento devido a excitação das moléculas polares (água) existentes nos alimentos. Em geral, a fase de aquecimento dos ciclos de esterilização ocorre entre 8 a 12 minutos, dependendo da composição do alimento, temperatura inicial, volume do produto e dimensões e peso da embalagem. A fase de equilíbrio se dá entre 2 e 3 minutos após a rampa de aquecimento e o tempo de permanência do alimento no aplicador de microondas é então atingido, sendo seu valor dependente de  $F_0$  (comumente entre 5 a 8 minutos). O tempo de resfriamento deve ser maior ou igual ao tempo de aquecimento até que o alimento alcance temperaturas aproximadas de 65 a 49 °C. Opcionalmente requer-se um resfriamento adicional. O produto tratado por microondas é submetido a elevadas temperaturas durante pouco tempo, então o alimento terá melhor sabor, cor, textura e aparência que os produtos esterilizados por outros métodos.

A vantagem da esterilização por microondas está na produção contínua de alimentos, onde o produto sai diretamente na linha de empacotamento, aumentando a automação (HARLFINGER, 1992).

O aquecimento por microondas é mais rápido que pelo efeito ôhmico e inclui fenômenos de condutividade e dielétricos. No aquecimento ôhmico, apenas a condutividade é a característica do sistema de aquecimento. O aquecimento por microondas é geralmente menos homogêneo que o aquecimento ôhmico e isto está associado com a qualidade e problemas de degradação dos alimentos (DATTA e HU, 1992).

Uma maneira de medir o efeito do tratamento térmico sobre um constituinte dos alimentos em particular é a integração do perfil tempo-temperatura através da determinação de  $F_0$  dado por:

$$F_0 = \int_0^t 10^{\frac{T-T_R}{z}} dt \quad (1)$$

onde  $T$  é a temperatura a um ponto determinado e  $T_R$  é a temperatura de referência,  $t$  é o tempo e  $z$  descreve a dependência de temperatura em função da velocidade de reação.

Características como cor, sabor, aroma, textura podem ser avaliadas sob o efeito térmico utilizando-se  $F_0$  como indicador de variação. Se o valor de  $F_0$  para um determinado nutriente no alimento é maior que o  $F_0$ , para um determinado microorganismo e no aquecimento convencional, o tempo necessário para atingir o valor de  $F_0$ , para o mesmo contaminante é maior que

o tempo do aquecimento do alimento em um forno de microondas, através da equação acima, é fácil perceber que para altos valores de  $z$  dos nutrientes, as temperaturas mais elevadas resultam em maior destruição de microorganismos, sem prejuízo na retenção de nutrientes. Combinando-se este fato com o maior período de aquecimento convencional, conclui-se que há maior destruição de nutrientes (maiores valores de  $F_0$ ) com o aquecimento convencional. A afirmação de que a retenção de nutrientes no tratamento por microondas é sempre superior ao tratamento por métodos convencionais nem sempre é verdadeira. Basicamente três fatores são responsáveis pelas variações da qualidade do produto submetido ao aquecimento por microondas:

a- Variação espacial e qualidade - o aquecimento por microondas em pontos diferentes do alimento se dá à velocidades variáveis e o perfil de temperatura do alimento é irregular, embora a distribuição de temperatura ocorra de maneira mais uniforme do que no aquecimento convencional. A distribuição de temperatura pode ser praticamente na mesma faixa para dois alimentos distintos, e a distribuição de  $F_0$  consideravelmente diferente. Isto se deve ao fato que no aquecimento por microondas as temperaturas são alcançadas mais rapidamente e ocorre menor acumulação de  $F_0$ . Esta é a principal vantagem do aquecimento por microondas, porque uma vez alcançada a temperatura de esterilização, o alimento pode ser mantido nesta para acumulação da letalidade ao invés do contínuo aumento de temperatura. Deve-se ressaltar que a retenção de nutrientes no aquecimento por

microondas não pode ser generalizada, depende especificamente das combinações de geometria, taxa de aquecimento, propriedades termofísicas, entre outros fatores.

b- Efeito de duração do aquecimento: - Em sistemas líquidos, a medida que o aquecimento continua, a velocidade de variação espacial de aquecimento causa a elevação da temperatura em diferentes locais, e à diferentes velocidades elevando a faixa de variação de temperatura. Em contraste, no aquecimento convencional, a temperatura em todo alimento desenvolve-se próxima da temperatura da superfície e em relação com o tempo, diminuindo a faixa de variação temperatura com o tempo.

c- Efeito da velocidade de aquecimento- Como a velocidade de aquecimento é aumentada pelo aumento da potência das microondas aplicadas, a diferença absoluta aumenta entre as velocidades de aquecimento em dois locais distintos no alimento. Então, a vantagem do aquecimento rápido por microondas pode ser anulada pelo aquecimento não uniforme e como consequência, maiores médias de tratamento térmico são alcançadas. Isto é análogo ao aquecimento convencional onde maiores temperaturas alcançadas em busca de um aquecimento mais rápido poderão também aumentar a desuniformidade do aquecimento resultando em menor qualidade do produto (DATA e HU, 1992).

A perda de água dos alimentos pelo cozimento em forno de microondas foi comparada com aquela do aquecimento convencional por CULOTTA e CHEN (1973). Os pesquisadores encontraram uma relação linear entre perda por cozimento e o tempo de cozimento, para vários volumes de alimentos, no forno de microondas. Detectaram que peças de frango que não estavam cozidas ou que haviam ultrapassado o ponto de cozimento não mostraram esta relação, e atribuíram ao posicionamento dos termopares. Evidenciaram que as carnes escuras em termos de sabor e as carnes claras em relação ao aroma, suculência e maciez, cozidas com água tiveram maior aceitabilidade que aquelas que foram cozidas no forno de microondas. Além disso, as carnes escuras cozidas em microondas foram mais bem aceitas que as carnes claras no mesmo tratamento. Isto pode estar associado ao teor de gordura e pigmentos hemoglobínicos nas carnes e suas respectivas permissividades dielétricas.

O processo convencional de produção de embutidos exige tratamento térmico a temperaturas próximas de 68°C, realizado em estufas contínuas ou em bateladas, podendo em etapa subsequente serem defumadas a temperaturas de 72°C. Alternativamente são tratados com fumaça química através da mistura deste aditivo à formulação do produto, tornando-se uma solução para redução do tempo de processamento, que oscila de 90 a 60 minutos em média. Dois grandes gargalos da indústria de carnes no processamento de embutidos cárneos são a fase de cozimento do produto em

embalagem de celulose e sua posterior retirada ("peeling"). Ambos envolvem o emprego de equipamentos caros e mão de obra treinada e dispendiosa, pois são necessários de 4 a 6 funcionários para cada equipamento.

O processamento de salsichas foi estudado na tentativa de ser melhorada a sua rapidez, com a realização de ensaios de processos alternativos a nível de laboratório, empregando-se microondas nas frequências permitidas para o uso industrial (2450 MHz e 915 MHz), como um substitutivo da etapa de cozimento. Os resultados alcançados nos ensaios realizados em forno de microondas não são extrapoláveis para a escala industrial. O sistema de grande porte constitui-se de um guia de onda acoplado a um túnel ou a uma cavidade especialmente desenhada, com um campo homogêneo de aquecimento por onde o produto a ser cozido é introduzido, enquanto que no forno de microondas tem-se um campo heterogêneo de aquecimento, (DECAREAU, 1985; DUNN et alii, 1972).

WATANABE & TAPE (1969) desenvolveram um sistema laboratorial de cozimento de salsichas defumadas com aplicador de microondas na frequência de 2450 MHz e potência de 2kW, utilizando-se um túnel de microondas dotado de cinta transportadora, baseados no modelo descrito por AREF et alii, (1968). O aquecimento das salsichas foi uniforme com a aplicação de um jato de ar a 13,2 cm<sup>3</sup>/min à temperatura de 77 °C, no túnel. Entretanto, neste experimento os autores só aplicaram as microondas sobre as salsichas já

embutidas em membranas de celulose, diferentemente de HOUBEN et alii, (1991) que desenvolveram uma cavidade de aplicação na faixa de rádio frequência, e introduziram a emulsão cárnea em um tubo de vidro imerso em água.

Nas décadas de 60 e 70 a indústria de alimentos não obteve êxito com a tecnologia de microondas aplicada aos processos de secagem. Inicialmente havia aproximadamente 100 unidades operantes nos EUA e outros países para a secagem de batata "chips", as quais foram reduzindo-se posteriormente para quase zero. A causa deste fracasso foi a variação do conteúdo original de açúcar na matéria prima, que por sua vez influenciava a umidade e cor do produto final. Outro problema apontado foi a queima dos "chips" devido a variações constantes de perda dielétrica na proximidade do ponto de secagem. Além disto, o desenvolvimento de tecnologias que permitiram controlar o sistema de armazenamento e o conteúdo de açúcar eliminaram por completo a necessidade da etapa de secagem por microondas (SCHIFFMANN, 1992).

A utilização de guias de ondas retangulares permite a "focalização" de um campo de onda elétrico sobre os produtos, porque nos guias de onda o campo elétrico se comporta segundo padrões de propagação que direcionam as linhas de campo para o centro do guia. Os padrões são bem definidos quando o meio é o vácuo e, sofrem interferências quando na presença de um dielétrico DECAREAU (1986); VELEY (1987). DUNN et alii (1972) eliminaram

vários problemas, como o aquecimento desigual em zonas do material, que causava manchas escuras em salsichas e a formação de vapor. Um melhoramento dos guias de onda retangulares foi conseguido com a inserção de quatro barras opostas, fundidas internamente à um guia convencional. Desta maneira, o campo elétrico ficou concentrado entre as barras e reduzido na região central do guia. Nesta configuração de guia com as barras, a ligação do "casing" (envólucro de celulose) entre as salsichas reduziu-se dez vezes mais que as ligações das salsichas submetidas ao aquecimento em um guia de onda sem as barras internas. Os pesquisadores relataram que o aquecimento mais intenso se dava em apenas uma das faces das salsichas, ocasionado pelo deslocamento do centro axial do guia de produto em relação ao eixo do guia de onda, posteriormente corrigido. Além disto, foi constatado o aquecimento deficiente do centro e das extremidades das salsichas, em consequência do fator de penetração da onda com frequência de 2450 MHz. Mesmo assim, o cozimento de salsichas se deu num tempo médio de 12 minutos, ocorrendo alterações inexpressivas na uniformidade da cor. Frequências de 915 MHz mostraram melhor eficiência no cozimento do que 2450 MHz quando aplicadas a um mesmo desenho de sistema. A eficiência da primeira (acima de 90 %) permitiu reduzir o tempo de cocção para 4 minutos. Constata-se que embora o emprego de microondas a este nível tenha obtido algum sucesso, a etapa de processamento da forma cilíndrica das salsichas ainda era realizada nos moldes tradicionais da indústria; ou seja, na

dependência de uma embutideira e dos "casings". Efetivamente, com a aplicação de microondas nestas circunstâncias não se conseguiu eliminar a etapa de embutimento com "casings" e posterior peeling (Figura 1).

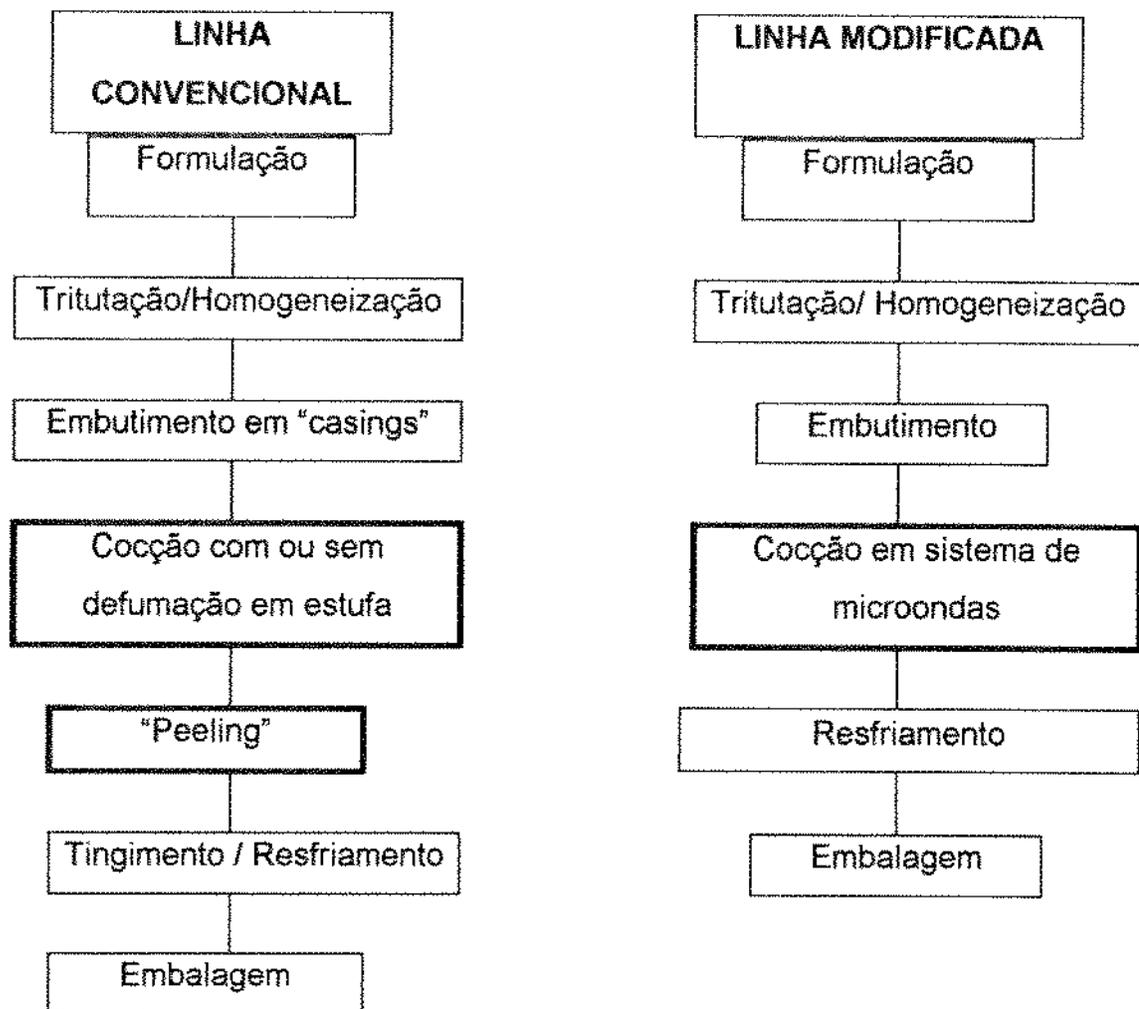


FIGURA 1- Fluxograma de processamento de embutidos pelo método convencional e modificado com a tecnologia de microondas proposta.

Ainda nos anos 70 o pré-cozimento do toucinho teve sua qualidade melhorada com a utilização de microondas e esta tecnologia foi desenvolvida

inicialmente por duas empresas a Microdry e a Raytheon. Já na década de 80, o desenvolvimento de tecnologias para o pré-cozimento de bolinhos de carne propiciou o retorno dos investimentos em menos de seis meses contudo o inventor do equipamento não difundiu sua idéia e propriedade industrial.

Os sistemas de descongelamento foram amplamente difundidos e industrializados pela empresa Raytheon na década de 80, atingindo a cota de mais de 200 sistemas instalados com aplicação no descongelamento de peixes, carnes, frutas e gordura. A secagem de massas que dispndia cerca de 8 horas em média ficou reduzida a 30 minutos, elevando a qualidade e higiene do produto acabado. Paralelamente, os produtos de panificação tiveram o tempo de cozimento reduzido de 18 a 22 minutos para 6 a 8 minutos. Em termos energéticos isto equivale a 138,89 kcal para cada kg, enquanto que em fogões a gás são gastos 388,89 a 777,78 kcal (SCHIFFMAN, 1992). Esta aceleração na etapa de cozimento exigiu da indústria de panificação o melhoramento também das demais etapas para não estrangular a linha de panificação. A aplicação de microondas no cozimento de frangos a princípio teve problemas quanto ao excesso de vapor formado, o número e o tamanho de peças processadas não padronizadas. Isto alterava de maneira significativa a homogeneidade do campo elétrico gerado por microondas, especialmente com uma fonte geradora de 30 kW. A substituição por fontes de 2,5 kW num total de 20 unidades, na cavidade de aplicação,

apresentou resultado satisfatório, entretanto o vapor voltava a se formar com a falha de uma ou duas fontes.

A distribuição de alimentos para locais distantes da sua linha de produção, na Europa e nos Estados Unidos, fez com que outra aplicação da energia de microondas tivesse êxito, ou seja, na pasteurização destes alimentos e conseqüente incremento da vida de prateleira, especialmente para farinhas, massas, produtos de panificação, cuja vida de prateleira se estendeu para mais de 60 a 90 dias. A Delta Dailyfood instalada no Canadá e também na Holanda, possui uma planta de pasteurização em cada uma de suas unidades industriais e opera com sucesso (SCHIFFMANN, 1992).

Um exemplo de equipamento industrial básico para um sistema de pasteurização por microondas compreende um gerador de microondas dotado de um conjunto de válvulas magnetrons com potência 1,2 kW cada, o qual deve ser ajustado para o tipo de material a ser pasteurizado. Estas ondas são direcionadas por um sistema de guia de ondas constituído também de um acoplador direcional e um sintonizador para ajustar o foco de microondas ao produto. Com isto se consegue operar com o tempo de vida útil máximo dos magnetrons entre 10.000 a 12.000 h. ou equivalente a 3.600 h/ano ou 3 anos de uso. O produto empacotado é introduzido na câmara de secção retangular para tratamento, localizado após o guia de onda e centrado no foco de energia. O tratamento é dividido em etapas que ocorrem em compartimentos

isolados, sendo o primeiro deles a fase de aquecimento inicial onde o produto recebe a radiação na parte superior e inferior durante o transporte na esteira, e o aquecimento é rápido. Em seguida, na secção de equilíbrio onde a temperatura correta é atingida, permanecerá durante pouco tempo evitando-se qualquer variação de temperatura e na etapa posterior é transportado para um compartimento cuja temperatura é de 126,7 °C onde o tempo de permanência será dependente do tipo de produto e do valor de  $F_0$  desejado, efetivando-se o tratamento. Normalmente este tempo é superior ao tempo de aquecimento. A maioria dos fungos, leveduras e bactérias lácticas são destruídos, mas os esporos permanecem viáveis à temperatura de 85 °C e a esterilização só ocorre a temperaturas entre 110 e 130 °C, sob pressão de  $1,37 \times 10^5$  a  $20,6 \times 10^5$  Pa (HARLFINGER, 1992)(Figura 2). Na etapa final, o produto segue para o compartimento de resfriamento recebendo um jato de ar frio e a temperatura alcançada pelo alimento será de 66 a 48 °C, podendo suportar a pressão atmosférica sem dano para a embalagem durante a descompressão da câmara. Como a secção de equilíbrio está localizada na parte superior do sistema de microondas e o compartimento para o tratamento efetivo está na parte inferior, e a movimentação de produto é realizada por elevador, esta secção dispõe-se verticalmente comunicando-se também a secção de resfriamento. (HARLFINGER, 1992; SCHLEGEL, 1992).

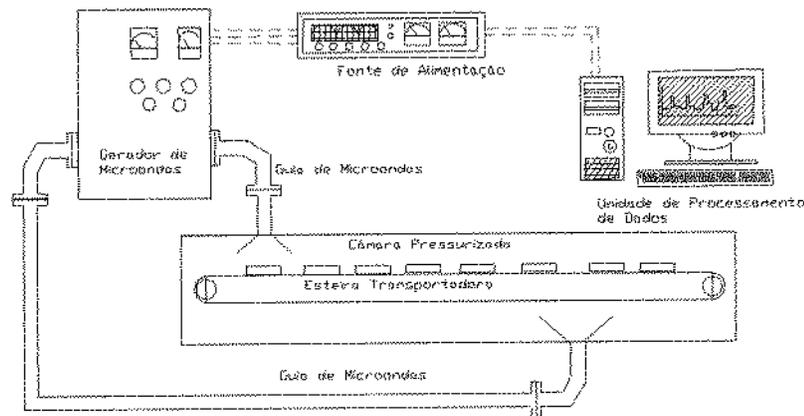


FIGURA 2- Esquema de um sistema de microondas para esterilização de alimentos empacotados.

As pesquisas realizadas por GOLDBLITH e WANG (1967), VELA E WU (1979) inspiraram outros pesquisadores à realização de testes de esterilização em dezenove tipos de alimentos, obedecendo a forma de preparo recomendada pelo fabricante. Entre eles, carnes, massas, pratos asiáticos e italianos e bolinhos de carne e pastéis congelados, através do aquecimento com um forno de microondas doméstico. Os ensaios foram satisfatórios, principalmente quanto à eliminação de quase a totalidade de espécies viáveis de *Clostridium perfringens*, estafilococos coagulase positivo, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, e a totalidade de espécies viáveis de *Aeromonas hydrophila* e *Salmonella sp.* (HOLLYWOOD et alii, 1991). Igualmente, HEDDLESON et alii (1994) obtiveram a destruição de *Salmonella newport* ATCC 6962, *Salmonella heidelberg* ATCC 8326, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Salmonella enteritidis* PSU 31, e *Salmonella montevideo* PSU 34 em meio lácteo diluído com peptona em forno de microondas com 700 W de

potência variável nos níveis alto, médio e baixo na frequência de 2450 MHz, por um tempo de 32 a 48 s . As comparações feitas com diferentes volumes de cargas e condições do recipiente (coberto e aberto) não apresentaram diferenças significativas embora tenham demonstrado que, com potências inferiores a 450 W, a destruição dos microorganismos foi menor.

Até o ano de 1992 haviam sido estimados nos E.U.A. cerca de 200 sistemas de processamento de alimentos por microondas operando no descongelamento de carnes, 25 para cozimento de toucinho, 10 a 20 na secagem de massas, 5 no cozimento de carne, salsichas e frangos, 5 na secagem de legumes e "snacks" e 2 na pasteurização (SCHIFFMANN, 1992). Embora esta tecnologia estivesse avançando na área de processamento de alimentos, ainda houve estudos comparativos quanto a outros métodos convencionais.

No processo de aquecimento elétrico do tipo ôhmico deve-se considerar os seguintes aspectos: a condutividade térmica da fase sólida e líquida e os seus coeficientes de transferência de calor; pelo fato de que será mais rapidamente aquecida a fase de maior condutividade térmica; a orientação, a concentração e o tamanho das partículas no sistema e finalmente o teor de gordura (SASTRY & PALANIAPPAN, 1992). Em contra-partida, no processo de aquecimento por microondas, o fator principal para a elevação de temperatura é a polaridade das moléculas e a homogeneidade do sistema, sendo a condutividade térmica pouco relevante, porém considerável.

DATA & HU (1992) demonstraram que nem sempre o aquecimento por microondas causa menor grau de degradação dos nutrientes, comparado ao aquecimento do tipo ôhmico; isto porque os parâmetros dependentes são as combinações da geometria, taxa de aquecimento, propriedades termofísicas e outros fatores inerentes ao alimento. A principal constatação dos autores é que, no aquecimento contínuo de sistemas líquidos, as taxas de aquecimento variam espacialmente devido à elevação em diferentes taxas e faixas de temperatura. Em contra-partida, no aquecimento do tipo ôhmico, a elevação de temperatura no alimento é de acordo com a temperatura limite e com o tempo. Como consequência, a diferença entre o tratamento térmico mínimo adequado e a média de temperatura alcançada aumenta com o tempo. Logo, a destruição de nutrientes e a perda da qualidade são identificadas pelo tratamento térmico excessivo ou desnecessário. Ainda no estudo do aquecimento de sistemas líquidos foi constatado que, num sistema cilíndrico vertical, o perfil de temperatura axial aumenta em direção à superfície superior. Em regiões da parte inferior do recipiente as temperaturas eram menores (PROSETYA e DATTA, 1991).

Conforme PARROT (1992), os maiores benefícios do aquecimento ôhmico para processamento de alimentos particulados são: produção contínua sem superfícies de transferência de calor; rapidez para qualquer tratamento de líquidos e partículas, com o mínimo dano causado pelo calor e diferenças do

tempo de residência; processo ideal para produtos alimentícios sensíveis ao cisalhamento, devido à baixa velocidade de escoamento; aumento da retenção de nutrientes combinado com a diminuição de danos às partículas; conservação do sabor fresco mantendo maior qualidade do produto que os outros métodos alternativos de preservação pelo calor.

### **3.2. Microondas na indústria de carnes - Tecnologias desenvolvidas**

A aplicação de microondas na indústria de carnes assegurou uma melhora no processamento de carnes no que se refere ao aquecimento de blocos de carnes congelados de  $-15$  até  $+2,5$  °C com uma gerador de 75 kW atingindo a quantia de 3350 kg/h. Esta tecnologia substituiu o procedimento convencional de descongelar os blocos de carne a temperatura ambiente pernitando na área de processamento (NOTT, 1980). O tratamento convencional é ineficaz porque a temperatura na superfície do bloco é próxima do equilíbrio com ambiente, mas no centro, o bloco ainda permanece congelado. Opostamente ao que acontece no processamento por microondas em que o aquecimento do bloco de carne é homogêneo e rápido; em cerca de 2 minutos 25 kg de carne são aquecidos de  $-15$  °C para  $-5$  °C ou  $-6$  °C . A indústria de equipamentos dispõe de túneis de microondas destinados para este fim com potências que variam desde 25 a 75 kW. Entre os fabricantes

destacam-se a ABR Food Machinery do grupo Thorn Elétrical, a COBER, a GERLING e a APV. Na busca do processamento contínuo com a aplicação da tecnologia de microondas, uma empresa construiu um equipamento capaz de cozinhar cubos de carne como uma salsicha sem pele. Isto era feito através de bombeamento por meio de um tubo de secção de circular ou retangular de 3,18 cm, que dava o formato do produto sendo posteriormente cortados no tamanho desejado, a um nível de produção que atingiu a 300 kg/h. A partir da utilização dos túneis de microondas, que evoluíram a partir de ensaios laboratoriais de fornos adaptados com esteiras, foram pesquisados e construídos outros equipamentos na tentativa de se obter um processamento contínuo, de maior rendimento e eficiência na produção de salsichas. Os primeiros pesquisadores que experimentaram este processo foram WATANABE e TAPE (1969) que utilizaram um gerador de microondas de 2 kW de potência na frequência de 2450 MHz com um sistema de ventilação a 1,13 m<sup>3</sup>/min. à temperaturas de 71 °C a 93 °C e obtiveram o cozimento de salsichas pré formadas e embutidas em embalagem de celulose em temperaturas de 60 °C a 70 °C internamente, com tempo de residência de 42 e 16 segundos subsequentes. Os resultados foram satisfatórios comparados ao processamento convencional em se tratando do aspecto e aceitabilidade do produto final. Embora não se tenha verificado qualquer aprimoramento especificamente deste invento para o segmento industrial, a importância deste trabalho é o primeiro passo no avanço de uma tecnologia tão desejada pela

indústria de processamento de carnes. Uma pesquisa encomendada ao "National Research Council of Canada", Radio and Electrical Engineering Division, pelo Instituto de Pesquisas de Alimentos do Departamento de Agricultura resultou em dois equipamentos operando na frequência de 2,45 GHz com potência de 2,5 kW e 0,915 GHz 1 kW, destinados a produção de salsichas com a aplicação direta de microondas na linha de processamento. Os estudos foram pioneiros na utilização do guia de onda como cavidade de aplicação de microondas, diferenciando-se dos fornos e túneis de microondas adaptados com esteiras. O aplicador na frequência de 2,45 GHz operava no modo  $TM_{01}$  (com meio comprimento de onda no sentido do eixo  $z$  do guia) consequentemente as salsichas introduzidas no sistema através de uma tubulação de teflon de 3,5 cm de diâmetro estavam sob a ação do campo elétrico no sentido ao vetor  $E$  do campo. Em um segundo experimento o tubo atravessava o guia obliquamente num ângulo entre  $15^\circ$  a  $20^\circ$ . A localização de quatro barramentos internos opostos entre si e as laterais do tubo de produto concentraram as linhas de campo paralelamente ao eixo deste. Esta distribuição do campo causou o super aquecimento nas extremidades e na parte inferior das salsichas. No aplicador retangular cuja frequência era de 0,915 GHz havia dois barramentos internos porém colocados axialmente ao tubo de teflon e opostos entre si, centralizando o campo elétrico sobre o tubo, na tentativa de melhorar a profundidade de penetração insatisfatória no experimento anterior. O sistema limitou-se devido à baixa produtividade,

embora quanto ao aspecto de distribuição de calor fosse melhor que o modelo a 2,45 GHz e suportasse unidades de 30 kW que, em escala industrial, poderiam produzir cerca de 1400 kg/h. Ainda nesta década havia sido patenteado o invento de PUSCHNER (1970) que descreve a obtenção de salsichas enformadas dentro de uma tubulação concêntrica ao guia de onda conectada a um gerador de microondas por um guia de onda coaxial com modo  $TE_{01}$  (transversal elétrico com meio comprimento de onda no sentido do eixo  $a$  do guia). A admissão de emulsão cárnea e dos módulos bicôncavos de Teflon são independentes e perpendiculares ao guia de onda cilíndrico. Nove anos mais tarde, um novo invento de autoria de RISMAN e BENGTTSSON (1980), colocava à disposição das indústrias um processo contínuo de coagulação de proteínas e substâncias alimentícias pastosas, por microondas. O modo do guia utilizado foi  $TM_{021}$  (transversal magnético com um comprimento de onda no sentido do eixo  $a$  e meio comprimento de onda no eixo  $z$  do guia) e consistia de um tubo transparente às microondas inserido obliquamente em outro e ambos adentrando uma cavidade de aplicação. A vantagem deste modo é permitir a formação de um campo mais intenso na região central da cavidade de aplicação e dois sub campos nas laterais entre as paredes e o tubo central. Este método exige uma constante lubrificação da parede interior do tubo para evitar o superaquecimento localizado dentro do mesmo e o estancamento da massa coagulada. Por esta razão a coagulação

deve começar do centro para a periferia do tubo central, o que ocorre dada a geometria e modo do guia de onda.

### **3.3. “Casings” e microondas**

A escolha de uma embalagem para alimentos, apropriada para tratamento por microondas, depende da quantidade de energia que será, emitida, transmitida e refletida pelo alimento.

A fim de determinar a perda de água e gorduras durante o cozimento de almondegas e toucinho por ação de microondas em forno doméstico, os pesquisadores COSTELLO et alii (1990) utilizaram embalagens de polipropileno e de papel toalha para desenvolver seus ensaios. Como resultados, obtiveram maior perda de umidade nas amostras envoltas em papel toalha e maior perda de gordura em embalagens de polipropileno. A menor perda de umidade foi constatada nos produtos embalados com polipropileno. Isto parece ter utilidade para a redução do teor de gordura em alimentos para determinadas dietas conforme concluído pelos autores.

A seleção de um filme metalizado para o desenvolvimento de “susceptors” (metal: níquel-cromo ou nitrato de titânio, propagador de energia) requer a combinação de três fatores: espessura do filme, resistência à ignição e resistividade inferior ao ponto de absorção máxima ou ponto de aquecimento. A principal função de um “susceptor” é gerar uma temperatura

suficientemente alta próxima à superfície do alimento para produzir o escurecimento (reação de Maillard e caramelização) ou tostado, característica atrativa na aparência dos alimentos (BALL et alii, 1993; LEFEUVRE e AUDHY-PEAUDECERF, 1993; GEORGE, 1993).

Outra função de uma embalagem para microondas é garantir que a energia possa atravessar, pelo obstáculo que esta representa, e atingir o alimento, sem causar grande perda. Uma das características importantes para este fim é a baixa permissividade dielétrica, ou seja, quanto menor energia for absorvida pela embalagem, maior será a eficiência de aquecimento sobre o produto que também possui sua constante dielétrica própria. Um exemplo desta aplicação foi o desenvolvimento de embalagens "cook in" seladas a vácuo para o recozimento de salsichas, conseqüentemente diminuindo a contaminação microbiológica, com o intuito de aumentar sua vida de prateleira (SCHALCH e EISGRUBER, 1994).

As alterações de produtos cárneos provenientes do armazenamento, seja por origem microbiológica ou pela perda do vácuo nas embalagens, são uma constante preocupação das indústrias, pois isto se reflete não somente no aspecto higiênico do produto mas também na sua qualidade organoléptica. Entretanto as causas não se resumem a estes fatores: pesquisadores têm constatado que o aquecimento por microondas pode ser benéfico ao produto e do mesmo modo provocar alterações nas características organolépticas

decorrentes da perda de água, proteínas, substâncias minerais, alteração de gorduras por oxidação de ácidos graxos. Entretanto, carnes de aves, peixes, toucinho, ovelhas, presunto e pastéis de carne bovina tem sido bem aceitas quando submetida a este tratamento. Os benefícios ou danos causados pela utilização de fornos de microondas domésticos ainda são polêmicos, e as justificativas existentes estão fundamentadas na metodologia empregada nos ensaios (ZAGON et alii, 1991).

O descongelamento de embalagens contendo plasma sangüíneo a nível hospitalar também é obtido através de microondas, mantendo-se todas as características próprias desta substância (ADAMS, 1991). Os sistemas de microondas empregados para descongelamento a nível industrial vêm sendo diversificados com o desenvolvimento de novas tecnologias que visam preservar, entre outras características, as qualidades nutritivas dos produtos (FRIGOR et alii, 1992).

A viscosidade de alguns hidrocolóides é próxima ao do plasma sangüíneo, entretanto suas permissividades dielétricas, ou seja, a interação entre o material e o campo elétrico, são diferentes. Hidrocolóides como amido de batata, goma locusta, goma arábica, carragenas e carboximetilcelulose mostraram relações de dependência entre a constante dielétrica e aumento do teor de umidade e temperatura, quando submetidas ao aquecimento na freqüência de 2450 MHz, sendo que o amido de batata apresentou pouca

dependência nesta relação, e menor ainda a goma locusta (NELSON et alii, 1991). O comportamento dielétrico destas substâncias é semelhante ao dos compostos utilizados na fabricação de envoltórios ("casings") de celulose para embutidos.

Os "casings" de celulose são fabricados a partir de celulose ou carboximetil celulose como matéria básica associados a outros produtos (alginatos, polivinilpirrolidona, ácidos orgânicos) que lhe conferem o aumento de viscosidade e garantem a maleabilidade, impermeabilidade, durabilidade, e outras características próprias para o fim a que se destinam. As indústrias do setor têm utilizado fibra de colágeno reconstituído e carboximetil celulose para a produção de "casings" digeríveis, e para os produtos cuja embalagem é descartável, servindo apenas para dar o formato e proteção até ser consumido, são utilizados os termoplásticos (KARMAS, 1974). O desenvolvimento de uma embalagem tipo "cook in" requer planejamento e testes intensivos não somente quanto à sua transparência às microondas, à aparência pós tratamento, à interferência no sabor do alimento, mas principalmente quanto à barreira que ela representa frente as contaminações microrgânicas (RICHARDSON e BOWS, 1990).

Filmes protéicos para serem co-extrudados à produção de embutidos foram desenvolvidos pela PROTECON, entretanto esta tecnologia é de

elevado custo e pouco difundida devido à baixa aceitação do produto, cuja forma das extremidades é determinada por um corte chanfrado.

### **3.4. Estudos matemáticos dos fenômenos em microondas**

Os modelos matemáticos representam o fenômeno real em termos de expressões matemáticas numéricas. Através destes dados é possível estudar o comportamento dos alimentos frente às várias condições. Entre estas podem ser citadas: a tridimensionalidade de uma cavidade de forno de microondas, ou a variação de campo elétrico, as condições limites do comportamento da onda, a formação ou não de ondas estacionárias pela ação de ondas emitidas e refletidas, a distribuição das linhas de campo nos modos, a energia absorvida pelas características dielétricas dos materiais ou o tipo de guia de onda (LORENSON, 1990). Adimensionais do aquecimento por microondas foram resolvidos para um campo não linear através do método das diferenças finitas aplicável em material de várias camadas, bem como o estudo das propriedades dielétricas dos materiais e sua interferência na cinética de secagem (JOLLY e TURNER, 1990; TURNER e JOLLY, 1990), como o caso de embalagens por exemplo. Igualmente o aquecimento de sólidos foi analisado determinando-se três perfis de temperatura característicos na ausência de evaporação e concentração de energia, onde foram verificados: um estado de equilíbrio em materiais com grande profundidade de penetração, a nulidade do efeito de difusão no estágio inicial do aquecimento e o aumento

da temperatura média com o aumento da profundidade de penetração para uma dada amplitude de energia (DOLANDE e DATTA, 1993). O modelo matemático do aquecimento por microondas em uma geometria cilíndrica foi discutido e relatado, com relação ao comportamento de alimentos líquidos e pastosos (MUDGETT, 1986). Estas teorias são válidas para um aplicador com tubo de produto inserido em guia de onda, visto que a emulsão cárnea é uma forma pastosa, porém apresenta pequenas diferenças quando a homogeneidade depender da formulação utilizada. Por exemplo, é o que acontece com mortadelas, pela presença de pedaços de toucinho, fragmentos de pimenta verde e outros condimentos, o que não ocorre macroscopicamente nas salsichas em virtude do trabalho do "cutter" que dá homogeneidade ao produto, embora os ingredientes (temperos, carne, gordura e aditivos) sejam de características dielétricas completamente diferentes. O formato e tamanho do alimento ou de seus constituintes, no caso os pedaços de toucinho podem afetar o comportamento do sistema entre outros (umidade, massa, densidade, temperatura, calor específico, condutividades térmica e elétrica). De uma maneira geral quanto maior a umidade maior será a constante dielétrica. A constante de perda dielétrica geralmente aumenta com o aumento do teor de umidade. O valor da constante dielétrica de uma mistura estará entre os valores de seus constituintes. Tanto a massa total do alimento na produção em batelada quanto a massa individual devem ser consideradas. A massa individual é analisada sobre suas características de geometria e densidade,

enquanto que a massa total está relacionada diretamente com a potência a ser aplicada. A densidade do produto tem um efeito direto sobre a constante dielétrica. Materiais porosos onde ocorre inclusão de ar a constante dielétrica será reduzida. Quanto maior a densidade do alimento tanto maior será sua constante dielétrica. A constante de perda dielétrica pode diminuir ou aumentar com a temperatura dependendo do alimento. Se a temperatura e umidade mudam com o aquecimento pode haver alterações significativas na constante dielétrica, no fator de perda dielétrica e na tangente de perda. Por exemplo no aquecimento de blocos de carne de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  as propriedades dielétricas da água e do gelo na frequência de 2,45 GHz mudam drasticamente. Na fase de aquecimento por microondas a transição de gelo para água no produto causa um fenômeno denominado de aquecimento descontrolado. Outro aspecto é a temperatura inicial do alimento que deve ser considerada para o estabelecer a potência de aplicação das microondas a fim de atingir-se a temperatura final desejada no produto. O calor específico é uma característica importante dos alimentos desenvolvidos para serem tratados por microondas. Materiais com valor da constante dielétrica baixa podem ter excelente comportamento no tratamento por microondas a citar o aquecimento de óleos comestíveis cujo calor específico seja  $2\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$  comparados com a água que possui  $c_p$  igual a  $4,2\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ . A condutividade elétrica dos alimentos afeta o aquecimento por microondas na presença de substâncias iônicas. O sal aumenta a velocidade de aquecimento afetando também a profundidade de

penetração, causando maior aquecimento na superfície do alimento que no centro do mesmo, além de causar sinerese e encurtamento da carne. A condutividade térmica é considerada quando materiais que grande espessura são aquecidos e a profundidade de penetração não é suficiente para obter-se um aquecimento homogêneo no centro do produto. Nos casos onde o tempo de aquecimento é pequeno há necessidade de estender-se o período de aquecimento para atingir-se os efeitos desejados no alimento (SCHIFFMANN, 1986).

#### **3.4.1. Descrição matemática do fenômeno de aquecimento por microondas**

O comportamento do campo elétrico no interior do guia de onda, na presença do guia de produto, pode ser demonstrado através da interpretação matemática das linhas de campo de onda: toma-se por base um sistema no vácuo e então introduz-se as variáveis relacionadas com os materiais interferentes através de suas propriedades dielétricas. O modelo matemático, descrito por METAXAS e MEREDITH (1986), facilita a teorização do estudo do comportamento das linhas de onda no interior do guia, no guia de produto e no produto em si. Também as propriedades térmicas dos produtos podem ser estimadas através da equação proposta por CHOI e OKOS (1986), que prevê cálculos de  $K$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$ , e  $C_p$ , cujas constantes integram as fórmulas que descrevem a transferência de calor e geração de potência.

As condições de contorno para o guia de onda retangular:

Os parâmetros que se modificam ao atravessar de um dielétrico para o outro são  $\epsilon'$ ,  $\mu$  e  $\sigma$  respectivamente permissividade, permeabilidade magnética e condutividade. A componente normal de indução magnética  $\vec{B}$  e componente tangencial de campo elétrico  $\vec{E}$  são contínuas na interface, e portanto são a componente normal de indução elétrica  $\vec{D}$  e a componente normal tangencial de campo magnético  $\vec{H}$ .

$$\begin{aligned} (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) \cdot \hat{n} &= 0, & (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) \cdot \hat{n} &= \rho_s, \\ (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \times \hat{n} &= 0, & (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) \times \hat{n} &= -\vec{J}_s \end{aligned} \quad (2)$$

onde  $\hat{n}$  é o vetor unitário normal à interface e  $\rho_s$  e  $-\vec{J}_s$  são respectivamente, a densidade de carga e a densidade de corrente na descontinuidade. Quando o meio 1 é um dielétrico ( $\epsilon'$ ,  $\mu$ ) e o meio 2 é um metal ( $\sigma$ ), e desde que se saiba que os campos não se propagam em um metal, tem-se:

$$\begin{aligned} \vec{H} \cdot \hat{n} &= 0, & \vec{E} \cdot \hat{n} &= \frac{\rho_s}{\epsilon'} \\ \vec{E} \times \hat{n} &= 0, & \vec{H} \times \hat{n} &= -\vec{J}_s \end{aligned} \quad (3)$$

O qual mostra que o campo elétrico ( $\vec{E}$ ) é normal à superfície metálica e que o campo magnético ( $\vec{H}$ ) é tangencial a ele. O campo magnético e a corrente que flui na interface tem o mesmo valor absoluto (THUÉRY, 1992).

- Para o Teflon (material que constitui o guia de produto e possui baixa perda dielétrica), as seguintes considerações são válidas:

1- Na paredes internas do guia ocorre baixa reflexão e elevada transmissão. O tubo de Teflon é o segundo dielétrico em relação ao ar dentro do guia de onda e possui baixa perda dielétrica  $\epsilon''/\epsilon' = 0,00014$  (em  $3 \times 10^9$  Hz e a  $22^\circ\text{C}$ ). Ao incidir a onda no dielétrico, parte desta é transmitida e outra é refletida, então as componentes que tangenciam o campo dadas pela equação de impedância de onda (4) e as equações (2) podem ser escritas da seguinte forma:

$$\frac{E_o}{E_i} = \eta = \sqrt{\frac{E_x^2 + E_y^2}{H_x^2 + H_y^2}} \quad (4)$$

$$E_i = \eta_1 H_i \quad (5)$$

$$E_r = -\eta_1 H_r \quad (6)$$

$$E_t = \eta_2 H_t \quad (7)$$

$$E_i + E_r = E_t \quad (8)$$

$$H_i + H_r = H_t \quad (9)$$

Da combinação destas expressões resulta:

$$H_i + H_r = \frac{1}{\eta_1}(E_i - E_r) = H_t = \frac{1}{\eta_2}(E_i + E_r) \quad (10)$$

$$\text{onde: } \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \Gamma \quad (11)$$

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} = T \quad (12)$$

$$\frac{H_r}{H_i} = -\frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = -\Gamma \quad (13)$$

$$\frac{H_r}{H_i} = \frac{h_1 E_i}{h_2 E_i} = \frac{2h_1}{h_1 + h_2} = \frac{h_1}{h_2} T \quad (14)$$

Se a permeabilidade magnética ( $\mu$ ) dos dielétricos utilizados não é significativamente diferente daquela do espaço livre ( $\mu_1 \cong \mu_2 \cong \mu_0$ ) onde  $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-7}$  H/m, então as equações anteriores podem ser reescritas em termos de permissividade apenas ( $\epsilon'$ ):

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\sqrt{\epsilon'_1} - \sqrt{\epsilon'_2}}{\sqrt{\epsilon'_1} + \sqrt{\epsilon'_2}} \quad (15) \quad \frac{E_t}{E_i} = \frac{2\sqrt{\epsilon'_1}}{\sqrt{\epsilon'_1} + \sqrt{\epsilon'_2}} \quad (16)$$

$$\frac{H_r}{H_i} = \frac{\sqrt{\epsilon'_2} - \sqrt{\epsilon'_1}}{\sqrt{\epsilon'_1} + \sqrt{\epsilon'_2}} \quad (17) \quad \frac{H_t}{H_i} = \frac{2\sqrt{\epsilon'_2}}{\sqrt{\epsilon'_1} + \sqrt{\epsilon'_2}} \quad (18)$$

Em um guia de onda torcido de  $180^\circ$  (duas secções de  $90^\circ$ ) em relação ao plano de incidência inicial no guia de produto, pode-se considerar que haverá ângulos de incidência. Então neste caso as relações entre o meio 1 e 2 têm o comportamento da Lei de Snell - Descartes:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon'_2}{\epsilon'_1}} \quad (19) \quad \theta_3 = \theta_1 \quad (20)$$

- onde  $\theta_1$  é o ângulo de incidência e  $\theta_2$  e  $\theta_3$  são os ângulos de transmissão e reflexão respectivamente.

Os campos magnético e elétrico são perpendiculares entre si, logo um destes será paralelo à interface onde incide a onda. O resultado disto é a polarização horizontal (PH) e a polarização vertical (PV) se o campo elétrico ou magnético é paralelo ao plano. As equações que demonstram o fenômeno são:

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\cos\theta_1 - \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1)\text{sen}^2\theta_1}}{\cos\theta_1 + \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1) - \text{sen}^2\theta_1}} \quad (\text{Polarização Horizontal}) \quad (21)$$

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{(\epsilon'_2/\epsilon'_1)\cos\theta_1 - \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1) - \text{sen}^2\theta_1}}{(\epsilon'_2/\epsilon'_1)\cos\theta_1 + \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1) - \text{sen}^2\theta_1}} \quad (\text{Polarização Vertical}) \quad (22)$$

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{2\cos\theta_1}{\cos\theta_1 + \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1) - \text{sen}^2\theta_1}} \quad (\text{Polarização Horizontal}) \quad (23)$$

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{2\sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1) - \cos\theta_1}}{(\epsilon'_2/\epsilon'_1)\cos\theta_1 + \sqrt{(\epsilon'_2/\epsilon'_1)\cos\theta_1 - \text{sen}^2\theta_1}} \quad (\text{Polarização Vertical}) \quad (24)$$

Na polarização vertical não ocorre reflexão quando  $\theta_1$  é igual ao ângulo de Brewster o qual pode ser obtido igualando o numerador a zero:

$$\theta_{1B} = \tan^{-1} \sqrt{\epsilon'_2/\epsilon'_1} \quad (25)$$

Se a incidência é normal, a reflexão pode ser minimizada pela interface de dois meios com a camada intermediária de espessura  $\lambda/4$  com  $\lambda_1 = \frac{1}{f\sqrt{\epsilon'}}$  e impedância  $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}}$ .

O coeficiente de reflexão total fica  $\Gamma = \Gamma_1\Gamma_2 = \frac{(\eta - \eta_1)(\eta_2 - \eta)}{(\eta + \eta_1)(\eta_2 + \eta)}$  cujo

valor mínimo é obtido por:

$$\eta = \sqrt{\eta_1\eta_2} \quad (26)$$

#### Propagação no guia:

No guia de onda retangular em uso o modo predominante é  $TE_{10}$  porque o modo de aplicação de onda tem o campo elétrico transversal ao sentido de fluxo de corrente e paralela a este o campo magnético.

Então a equação geral fica:

$$\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + (\beta^2_0 - \beta^2_g)V_z = 0 \quad (27)$$

onde  $V_z$  representa  $E_z$  no modo TM e  $H_z$  no modo TE,  $\beta_0$  a constante de propagação no espaço livre, e  $\beta_g$  a constante de propagação no guia de onda na direção z.

$$\beta^2_0 - \beta^2_g = \beta^2_c \quad (28)$$

onde  $\beta_c^2$  é a constante de propagação no plano  $xOy$ . O correspondente comprimento de onda é definido por:

$$\lambda_o = c/f = 2\pi/\beta_o, \quad \lambda_g = 2\pi/\beta_g, \quad \lambda_c = 2\pi/\beta_c \quad (29)$$

e  $\lambda_c$  é o comprimento de onda de corte.

Se  $\lambda_o < \lambda_c$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o \lambda_c}{\sqrt{\lambda_o^2 - \lambda_c^2}} > \lambda_o \quad (30)$$

A onda propaga-se sem atenuação (exceto para perdas resistivas na parede) com velocidade de fase:

$$v_g = \frac{\omega}{\beta_g} = f\lambda_g > c \quad (31)$$

Quando  $\lambda_o = \lambda_c$ , o comprimento de onda é de corte,  $\lambda_g$  é infinito, e a propagação ocorre apenas na seção transversal com uma velocidade:

$$\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon'}} \quad (32)$$

Quando  $\lambda_o > \lambda_c$ , as quantidades  $\lambda_g$ ,  $\beta_g$  e  $v_g$  são imaginárias, a onda é dita evanescente e sofre atenuação exponencial rapidamente.

A frequência de comprimento de onda de corte será  $f_c = c/\lambda_c$  e a propagação não é possível para  $f_o < f_c$ .

Então aplicando as condições de contorno na parede do guia de onda na equação de propagação geral para o guia de onda retangular de secção  $a$  x  $b$  no plano  $Oxy$  tem-se respectivamente:

Modo TE:

$$\frac{\partial H_z}{\partial x}(0, y) = \frac{\partial H_z}{\partial x}(a, y) = \frac{\partial H_z}{\partial y}(x, 0) = \frac{\partial H_z}{\partial y}(x, b) = 0 \quad (33)$$

Modo TM:

$$E_z(0, y) = E_z(a, y) = E_x(x, 0) = E_x(x, b) = 0 \quad (34)$$

As soluções têm uma forma discreta, na qual cada par de integrador  $(m, n)$  gera uma solução,  $TE_{m,n}$  ou  $TM_{m,n}$ , originando as seguintes expressões.

Modo  $TE_{m,n}$ :

$$E_x = j \frac{\omega \mu}{\beta^2 c} \frac{n\pi}{b} H_0 \cos \frac{m\pi x}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi y}{b} \quad (35)$$

$$E_y = -j \frac{\omega \mu}{\beta^2 c} \frac{m\pi}{a} H_0 \operatorname{sen} \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \quad (36) \quad E_z = 0 \quad (37)$$

$$H_x = j \frac{\beta_g}{\beta^2 c} \frac{m\pi}{a} H_0 \operatorname{sen} \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \quad (38)$$

$$H_y = j \frac{\beta_g}{\beta^2 c} \frac{n\pi}{b} H_0 \cos \frac{m\pi x}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi y}{b} \quad (39)$$

$$H_z = H_0 \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \quad (40)$$

A expressão geral para os campos são:

$$\vec{E}(x, y, z) = (E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z}) e^{-j\beta_c z} \quad (41)$$

$$\vec{H}(x, y, z) = (H_x \hat{x} + H_y \hat{y} + H_z \hat{z}) e^{-j\beta_c z} \quad (42)$$

Para o modo m,n:

$$\beta_c = \frac{2\pi}{\lambda_c} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (43)$$

no qual

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (44)$$

No modo TE<sub>10</sub> m=1 e n=0, portanto

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{0}{b}\right)^2}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2}} = 2a \quad (45)$$

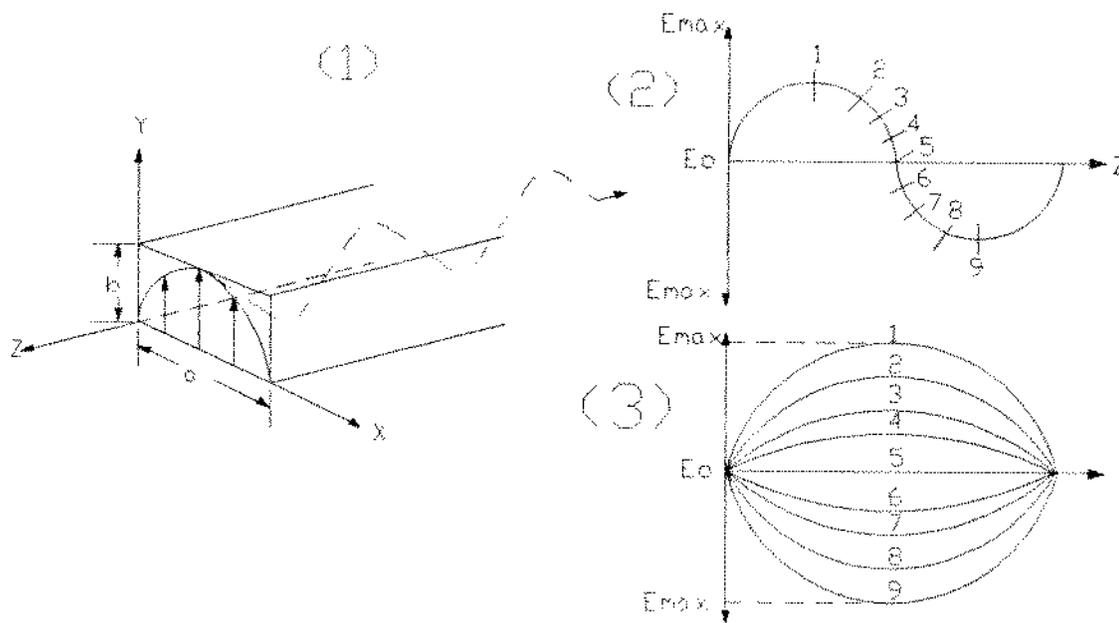


Figura -3 Secção de guia de onda retangular com modo  $TE_{10}$  mostrando a propagação de energia. Neste modo o campo elétrico é máximo ao longo do centro do guia (1). Representação do campo elétrico no modo  $TE_{10}$  com propagação na direção de  $z$  (2). Vista superior da representação das linhas de campo elétrico ( $E$ ), onde o campo é máximo na linha 1 e diminui progressivamente para zero (linha 5) e novamente aumenta ao máximo (linha 9) (3) Fonte: DECAREAU, 1985

O perfil da temperatura em amostras de carne de forma cilíndrica, submetidas ao aquecimento foi descrita por TAOUKIS et alii (1987). Uma faixa de temperatura mais elevada foi estudada nesta mesma forma geométrica durante a grelhagem da carne (NYKVIST E DECAREAU , 1976). Fatias de carne submetidas ao cozimento tiveram seu perfil de temperatura estudado por HUNG, (1980), definindo-se o modelo de uma placa semi-infinita.

Destes modelos o que se indentifica com o estudo aqui desenvolvido é a análise de produtos cárneos de geometria cilíndrica submetidos a uma faixa de temperatura que inicia em  $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e chega aos  $72\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Como o tempo de aquecimento máximo neste sistema é de 9,15 minutos devem ser considerados os fenômenos de evaporação, convecção, enfatizando a condução e a rotação dipolar como principais fatores de aquecimento. Isto é reforçado pelo fato de que  $\lambda_0 \gg \lambda_c$  e a seção transversal do produto (22 mm) é muito pequena em relação ao comprimento de onda (12,245 cm) que se aplica ao sistema sendo exclusivamente então dependentes da potência de penetração e conseqüentemente da permissividade do produto. Através de medidas dielétricas se encontra o valor  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  e a tangente de perda dada por  $\epsilon''/\epsilon' = \text{tang } \delta$ . Sabe-se que o aquecimento ótimo é dado quando  $\epsilon''$  é máximo e não quando a  $\text{tang } \delta$  é máxima em razão de que  $\epsilon'$  diminui com a ressonância. Então para a equação da densidade de potência num sistema geométrico de secção transversal cilíndrica com raio unitário e altura  $d_1$  fica:

$$\frac{Pd(d_1)}{V} = 55,6325 \times 10^{-12} f \epsilon'' E_0^2 \frac{1}{2\alpha}(1-e^{-2\alpha d_1}) \quad (46)$$

Desprezando-se o calor gerado no meio e transmitido por convecção e analisando o calor que foi obtido por radiação tem-se:

$$q_r = \sigma_s e S T^4 \quad (47)$$

onde:  $\sigma_s$  = constante de Stefans =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$e$  = coeficiente de emissividade

$S$  = área irradiada

O calor transmitido por condução na direção de  $x$  é expresso por:

$$q_\Lambda = -\Lambda s \frac{dT}{dx} \quad (48)$$

onde:  $\Lambda$  = condutividade térmica ( $\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ )

$s$  = fluxo através da área da secção do material

O calor transmitido por convecção (ocorre em meio líquido apenas) para a geometria cilíndrica do produto:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{q(z,r)}{\Lambda} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (49)$$

$\Lambda$  = condutividade térmica

$r$  = raio do produto

$Z$  = deslocamento no eixo de fluxo de corrente

$\alpha$  = difusividade térmica ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

O fluxo de calor corresponde à:

$$q_c = \alpha_c S \Delta T \quad (50)$$

em que:  $\Delta T$  = diferencial de temperatura

$S$  = área da secção

$\alpha_c$  = coeficiente de transferência de calor ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

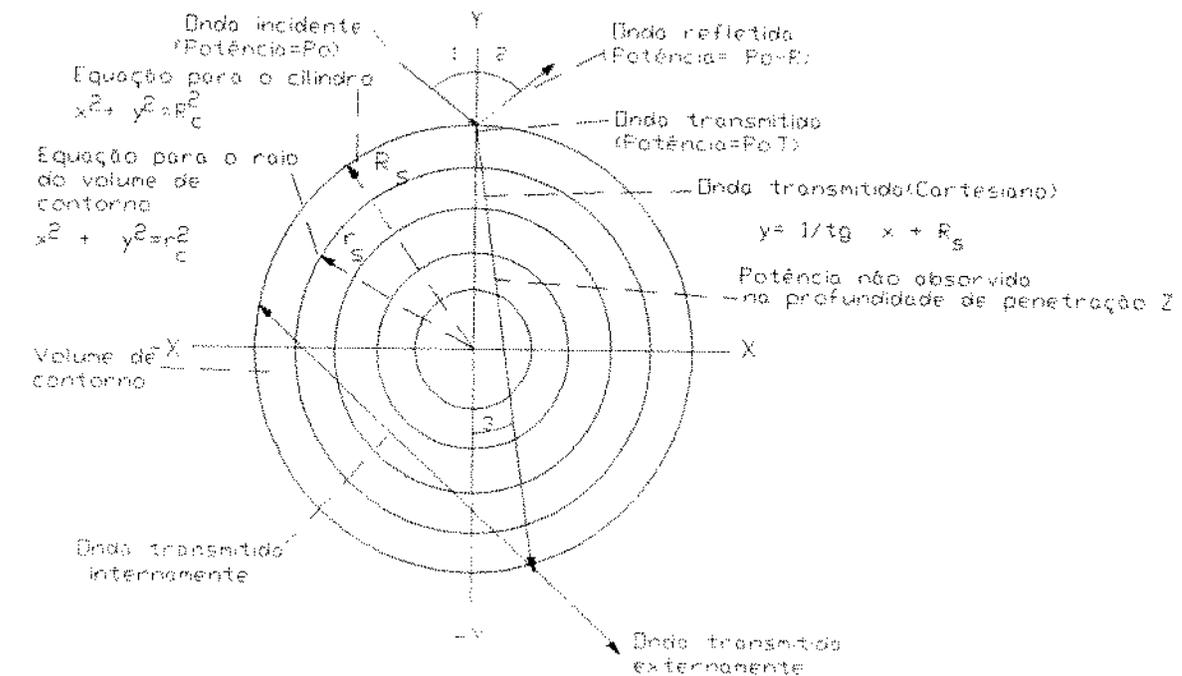
Existem teorizações de que se o material não é homogêneo ou seja, meios diferentes separados por uma interface, com diferentes dielétricos, ou se o material é anisotrópico (onde a permissividade é uma função da direção) e quando a permissividade varia significativamente com a temperatura a solução do problema é muito mais complexa (THUERY, 1992). Em produtos de baixa perda dielétrica ( $\epsilon''$ ) a permissividade varia concomitantemente com o aumento da temperatura. Se a tangente de  $\delta$  ou fator de dissipação do material, aumenta rapidamente com a temperatura, o fenômeno assume um carácter de avalanche. Nestes casos, a estabilização da temperatura é possível somente com a retirada de calor em elevadas taxas ou pela limitação da potência de microondas aplicada. Em sólidos e materiais compactos o equilíbrio térmico é estabelecido por condução. Dependendo da profundidade de penetração da onda, o comportamento térmico pode ser estável em partes do material e instável em outras, particularmente próximo do centro (ROUSSY et alii apud THUERY, 1992).

O mecanismo de cozimento:

Alimentos com pouco teor de gordura possuem altos valores de permissividade, em temperaturas positivas. Opostamente, alimentos gordurosos tem baixa permissividade e absorvem baixa energia eletromagnética. O fator de perda  $\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$  varia suavemente com a temperatura.

Para muitos produtos a perda de água durante o aquecimento provoca uma leve redução no fator de perda como uma função da temperatura. As propriedades dielétricas dos alimentos não são apenas função do seu conteúdo de água, mas também do estado físico e químico da água.

A geração de modos de onda estacionária é resultante da interação interna entre as potências transmitida e refletida. Em produtos de umidade intermediária praticamente a potência incidente é atenuada antes de atingir o outro lado do produto. Em produtos de baixa umidade as ondas estacionárias podem atingir a outra face e refletir fora da fase da potência incidente. As diferenças entre os nodos de ondas estacionárias em produtos de baixa umidade são razoavelmente pequenas e resultam em diferenças de temperatura entre nodo e antinodo, as quais são compensadas pela condução térmica.



INCIDENTE	$\eta$	$\Psi^*$
NORMAL	$0^\circ$	$0^\circ$
DESVIO	$45^\circ$	$4.1^\circ$
TANGENCIAL	$90^\circ$	$5.7^\circ$

(\*)  $\eta = 37.7$  ohms

FIGURA 4 - Modelo generalizado eletrofísico para produtos de geometria cilíndrica. Ângulo de incidência (1) e reflexão (2). Ângulo  $\psi$  onde  $\psi = \text{sen}^{-1}(\eta/\eta_0 \text{ sen } \phi)$  (3). Equação para volume de contorno  $v = \pi(r_o^2 - r_i^2)z$ . Equação da onda transmitida  $y = (1/\text{tg } \psi)x + R_s$ . Equação para potência não absorvida na profundidade  $= z$   $P_z = P_0 e^{-2\alpha z}$  (Fonte: DECAREU, 1985)

### 3.5. Desenvolvimento de aplicadores para microondas

Os aplicadores para microondas são cavidades com dimensões adequadas para cada tipo de produto, podendo ser dimensionadas para

tratamento de materiais em bateladas ou em sistemas de fluxo contínuo. Aqueles destinados ao tratamento em bateladas de materiais inclusive alimentos, geralmente têm formato retangular e de tamanho variado, por exemplo os fornos de microondas domésticos e os sistemas empregados para a têmpera de carnes. Os aplicadores empregados para o tratamento contínuo podem ser túneis retangulares, onde a fonte de energia é múltipla e os materiais são conduzidos através deste por uma esteira móvel (DECAREAU, 1986).

As cavidades ressonantes são estruturas metálicas fechadas onde um sinal emitido de microonda, com campo eletromagnético polarizado, poderá sofrer reflexões múltiplas em direções pré-determinadas. A superposição da onda emitida e refletida origina uma configuração de onda estacionária, que em algumas estruturas ocupam uma região definida no espaço. O máximo aproveitamento de transferência de energia pode ser obtido se o alimento ou material em estudo for colocado na região de maior intensidade de campo (METAXAS e MEREDITH 1988).

Os alimentos contém na sua composição água de hidratação, de solvatação e água ligada. Durante o processo de aquecimento por ação de microondas, estas contribuem efetivamente para o efeito de aquecimento por rotação polar da molécula de acordo com a frequência do campo aplicado. Os fenômenos de excitação, relaxação, seus mecanismos em meio aquoso

destilado e soluções salinas foram estudados por ROBERTS e WANG (1993), num ensaio com uma cavidade ressonante operando no modo transverso-elétrico ( $TE_{01}$ ), provando a interação ressonante das moléculas de água no estado líquido e vapor com a direção do campo de microondas.

Os aplicadores empregados nos sistemas de aquecimento de substâncias líquidas e pastosas podem ser estudados em escala de planta piloto, obtendo-se resultados semelhantes aos da escala industrial. Um experimento realizado no país, em escala piloto, destaca-se pela adequação de recursos simples à tecnologia de microondas, com a vantagem de associar-se múltiplos aplicadores conforme as características do produtos ou o tratamento a que se destina (SENISE et alii, 1985). Na área de secagem de produtos granulados por microondas foi desenvolvido um sistema em escala de planta piloto. Suas aplicações se diversificam na secagem de "chips" de polímeros para embalagens sopradas (PET), soja e café cereja descascado (MARSAIOLI, Jr. 1991, CONFORTI et alii, 1987, 1989, 1990, 1991a,b,c; CUNHA, et alii, 1995 e 96; ANJOS et alii, 1994a,b).

Em escala de laboratório, os aplicadores sofrem modificações para abranger o maior número possível de modos (TE, TM, TEM) na tentativa de minimizar as distorções sofridas pelo campo na presença do material de ensaio. Os aplicadores de geometria circular cilíndrica de parede móvel permitem manter constante a impedância, concomitantemente à variação de

volume da cavidade, além de ser ajustada à diferentes cargas. Comparado aos aplicadores retangulares se mostram menos sensíveis ao tamanho da carga devido a faixa de modos abrangidos. (CHANG e BRODWIN, 1993; POUUNET et alii, 1993).

Os equipamentos industriais a microondas desenvolvidos para o processamento de alimentos evoluíram desde os túneis de descongelamento (GERLING, 1968), sistemas de secagem (ROCKWELL et alii, 1967), sistemas de pasteurização para alimentos embalados em processamento contínuo ou batelada e atingiram o estágio de cozimento para a indústria de carnes para presunto, peças de aves, toucinho fatiado, pastéis e bolinhos de carne, pizzas, e outros produtos principalmente para embutidos cárneos (DECAREAU, 1986; SMITH, 1986; AYOUB et alii, 1974; KENYON et alii, 1971).

Paralelamente à aplicação de microondas na pasteurização de emulsões de salsichas, outros estudos têm sido feitos na aplicação de radio-freqüência (27MHz) para o mesmo processo. Os ensaios mostraram que é possível aquecer salsichas a uma taxa de 40 °C/min com uma eficiência de 30% de energia sobre produtos de 50 mm de diâmetro. Comparado aos sistemas convencionais que praticamente são inviáveis para serem aplicados em produtos com diâmetro de 90 a 100 mm em processo contínuo este sistema tem suas vantagens. O equipamento utilizado é semelhante ao tubo de produto em guia de onda retangular, construído pela Cober e Gerling,

sendo que no seu interior o tubo de suporte para emulsão de salsicha é de vidro PYREX. Os produtos obtidos apresentaram boa aparência, sem sinais de perda ou acúmulo de gordura ou geleificação após tratados a 80 °C (HOUBEN et alii, 1991).

URBAIN e colaboradores (1963) projetaram uma planta industrial com aquecimento convencional, para o processamento contínuo de salsichas em que as mesmas eram moldadas sob pressão entre 50 a 250 psi, dependendo do diâmetro, e seus tamanhos delimitados pelo percurso do pistão. Algumas das vantagens apresentadas por este processo são a eliminação do "casing", o tempo de processamento desde a emulsão até a embalagem em torno de 90 minutos e a produção média de 1000 kg por hora.

PÜSCHNER (1970) descreve em sua patente um sistema de alimentação contínuo para moldagem de salsichas através da inserção de módulos de Teflon, com pequenos orifícios para passagem de ar, em um tubo de produto que alimenta o guia de microondas. Os produtos obtidos desta maneira geralmente apresentam-se rugosos com aparência desagradável. Outra patente apresenta a descrição de um sistema tubular coaxial e em "Y" com diferentes diâmetros, para a coagulação de proteínas (clara ou gema de ovos) em um tubo transparente à microondas com aplicador em modo  $TM_{021}$  (RISMAN e BENGTTSSON, 1980). Estas tecnologias prenunciaram uma nova etapa no desenvolvimento industrial da área de carnes em que o objetivo

principal é diminuir senão eliminar os gargalos existentes, aumentando a produção, baixando custos e ganhando rentabilidade.

Até o presente, a tecnologia aplicada à produção de embutidos industriais dispõe de equipamentos para processamento em bateladas ou contínuos com "casing" descartável ou digerível. A Protecon possui uma planta completa para produção de salsichas, constituída de um sistema extrusor contínuo que alimenta uma unidade moldadora de diferentes tamanhos. As salsichas em forma de um cilindro contínuo, revestidas de colágeno, são imersas em um banho de ácido láctico para a coagulação do colágeno e em seguida são moldadas em tamanho padronizado, sendo subseqüentemente transportadas por esteira à um pré-secador, com um estágio de defumação, seguido de um secador acoplados. Após, são então levadas por uma esteira à máquina de embalagem e posteriormente à pasteurização (VINK, 1987).

### **3.6. Medidas físicas dos fenômenos de microondas**

A fim de se conhecer os fenômenos de microondas nos experimentos a nível de laboratório, planta piloto ou planta industrial, os parâmetros físicos e químicos do produto devem ser monitorados em conformidade com os

procedimentos padrões de produção ("GMP"s-Good Manufacturing Practices). Conforme recomendado pelo "IMPI Standards Committee" a calibração de um sistema de microondas deve seguir nove itens de segurança, onde se inclui o tamanho das amostras, temperatura da carga inicial, duplicidade de ensaios, manutenção da diferença de tensão e recalibração freqüente (DREIER, 1989). Para a medida da distribuição do campo elétrico em fornos de microondas em laboratório, pode ser empregado um papel especial de marca Thermofax. Este papel quando submetido ao campo elétrico mostra manchas na região de concentração, permitindo o mapeamento da distribuição do campo, porém resultados melhores foram obtidos com a utilização de uma matriz de fibra de vidro impregnada com uma solução de glicose-glicina, que por ação do calor desencadeia o escurecimento não enzimático denominado reação de Maillard (RINGLE e DAVID, 1975). Este procedimento é inviável em guias de microonda, sendo necessário sensores de fibra óptica acoplados em um sistema de aquisição de dados como por exemplo o modelo da Hewlett Packard empregado no estudo da distribuição de campo de elétrico num aplicador de microondas por JIA (1993), cujo funcionamento está descrito no trabalho de ENGELDER e BUFFLER (1991) útil na determinação das propriedades dielétricas de alimentos na freqüência de microondas.

A permissividade ou comumente denominada constante dielétrica é uma característica de cada material, cujo símbolo é  $\epsilon$ , e representa a sua capacidade em absorver, transmitir e refletir a energia elétrica de um campo de

microondas. Este parâmetro está associado às características físicas e químicas dos materiais, inclusive alimentos. Um método de determinação da permissividade é a geração de um sinal de microondas numa frequência desejada sobre o material a ser testado e após, medir as mudanças deste sinal com um analisador de rede de microondas. O resultado é calculado a partir da diferença entre as equações de potência transmitida e refletida com um computador e software programado para eliminar os efeitos dos instrumentos. Os equipamentos mais utilizados são as sondas coaxiais de terminação aberta, as linhas de transmissão e as cavidades ressonantes. As sondas coaxiais são colocadas diretamente com o material em teste, abrangem uma ampla faixa de frequências inclusive 2450 MHz, possuem uma limitada exatidão mas, com precisão bastante adequada para trabalhos de aquecimento por microondas. Sua limitação é na determinação de baixos valores de permissividade como em óleos e gorduras. Nas linhas de transmissão o material em teste é colocado no interior de guias retangulares ou coaxiais, neste caso a amostra em teste deve preencher completamente o volume da linha. Um computador interpreta o sinal da determinação da energia refletida, transmitida e absorvida. Este método é mais sensível e exato que o das sondas de prova anteriormente mencionadas, porém numa faixa mais estreita de frequências e não tão baixas. As determinações estão sujeitas a erros no preenchimento incompleto do guia. Por fim, as cavidades ressonantes são câmaras em túnel que ressoam como um sino na frequência

ideal. É um método mais sensível e exato para baixos valores de permissividade, como os materiais que não absorvem bem a energia de microondas, por exemplo óleo, vidro, plásticos, etc. Sua limitação é a determinação em uma única frequência, além da dificuldade de ser projetada e usada (ENGELDER e BUFFLER, 1991).

As alterações provenientes do tratamento de microondas nos produtos podem ser também verificadas através da análise de sua textura. Os instrumentos comercialmente disponíveis que podem avaliar a textura dos alimentos são: Instron, Texture Texturometer, Fruit Pressure Tester e Stevens Texture Analyser. A textura é uma propriedade sensorial e somente o ser humano é capaz de perceber, descrever e quantificá-la, entretanto os estudos que correlacionam estas avaliações subjetivas com dados físicos exatos podem ser estabelecidos (SZCZESNIAK, 1987).

As razões para correlacionar a análise sensorial com medidas instrumentais são: 1) a necessidade dos instrumentos de Controle de Qualidade 2) o desejo de predizer a resposta do consumidor 3) o desejo de compreender o que está sendo percebido na determinação da textura 4) a necessidade de desenvolver e melhorar/otimizar os instrumentos e métodos de teste e construir um equipamento que possa reproduzir a avaliação sensorial (SZCZESNIAK, 1987).

Em muitos alimentos viscoelásticos (dependente do tempo) em sua natureza reológica, a taxa de deformação tem importante efeito na resposta do instrumento. A mudança dos resultados depende da velocidade na qual a força é aplicada, mas esta mudança está sujeita à amostra em teste, sua temperatura, bem como o tipo de alimento. Nos testes sensoriais as forças de cisalhamento, compressão, modificam-se a cada movimento da mastigação em virtude da adição de saliva (cujas temperatura é de 36,6 °C), do deslocamento do alimento entre dentes com diferentes formatos. Isto, sem dúvida, é difícil de ser reproduzido concomitantemente no mesmo equipamento, havendo necessidade de vários acessórios que reproduzam estas superfícies e diferentes taxas de cisalhamento (SZCZESNIACK e BOURNE, 1969 apud SZCZESNIACK, 1987).

LEE e PATEL (1984) apud SZCZESNIECK (1987) correlacionaram a suculência avaliada sensorialmente em salsichas com a medida do fluido obtido por compressão e encontraram valores de correlação igual a 0,92, quando a força aplicada foi de 2 - 3 kg por 17s, melhor que ao aplicar 40 kg por 10s que resultou uma correlação igual a 0,27.

Outro fator que pode influir nos resultados da análise instrumental é a heterogeneidade da amostra culminando com baixos coeficientes de correlação. No caso de painéis sensoriais o treinamento é fundamental no que diz respeito à terminologia empregada subjetivamente e a avaliação dos

resultados por métodos matemáticos os quais podem ser tendenciosos ou induzir a erros de interpretação (MOSKOWITZ et alii, 1981; 1981; CARDELO et alii, 1982).

As informações sobre percepção sensorial e testes mecânicos podem ser diferentes tanto em tamanho quanto na magnitude devido as características reológicas dos alimentos, tempo de relaxação, perda de extensão, regime de deformação. PELEG e NORMAND, (1982) sugerem que para uma melhor correlação com a avaliação sensorial, cada tipo de alimento deve ser testado instrumentalmente sob diferentes condições.

### **3.7. Segurança na utilização de sistemas à microondas**

As normas construtivas regulamentadas pela legislação americana, para fornos de microondas, limita o vazamento máximo permitido em  $1,0 \text{ mW/cm}^2$  para uma medição efetuada a 5 cm da superfície do forno e outro nível de  $5,0 \text{ mW/cm}^2$  durante seu tempo de vida útil (BUFFLER, 1993). Além disto é obrigatório um sistema de chaveamento automático de três a quatro fases de interrupção para a abertura da porta do forno, digitação dos valores de potência e tempo aplicados e rompimento de circuito. Soma-se a isto ainda as etiquetas de advertência sobre o mau uso do aparelho. Comparativamente à

radiação solar sobre o corpo humano isto parece insignificante, pois diariamente recebemos cerca de 60 a 100 mW/cm<sup>2</sup>. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através do COBEI - Comitê Brasileiro de Eletricidade vem elaborando normas desde 1983 para serem aplicadas à utilização de sistemas de microondas industriais (MARSAIOLI, 1991). Não há evidências científicas até o presente de que aparelhos de microondas causaram danos à saúde humana (ANDREWS, 1993; RISMAN, 1993)

### **3.8. Avaliação econômica dos investimentos em microondas**

O enfoque econômico, para o desenvolvimento e aplicação de uma tecnologia de ponta ao processamento de carnes, pode ser exemplificado através de estudos já efetuados:

*Descongelamento:* este processo utiliza túneis com aplicadores de microondas alimentados por uma rede de guias, a partir de geradores de potência múltiplos. Estes são distribuídos equidistantemente em relação ao eixo do túnel, sendo que a potência aplicada varia de 25 kW a 120 kW. As frequências utilizadas são de 2,45 GHz ou de 0,915 GHz. Tal processo vem sendo utilizado desde os anos 70, tendo na década de 80 sido distribuído por toda a Europa (Inglaterra, Holanda, Irlanda, França), Nova Zelândia; Japão; Austrália; África do Sul; e, recentemente, no Brasil (EDGAR, 1986).

SWIFT e TUOMY(1977) sugerem que, para o investimento inicial de US\$ 100.000,00, referente à produção de 907 kg/h, com um consumo de 36 kW a US\$0,025/kWh, o custo unitário do produto será de 4,08 centavos de dolar por kg. Por outro lado, a ABR Food Machinery Ltd., em Bletchley, desenvolveu um processo que atinge a 3350 kg/h, utilizando potências variáveis de 25, 50 e 75 kW.

Algumas empresas do setor de equipamentos que podem ser destacadas para este processo são : Colorex AB, Dandry, na Suíça; Microdry Corp., San Ramón, California; Raytheon Corp., Chicago; Litton Microwave Cooking, Minneapolis.

EDGAR(1986) ilustra, através da análise de fluxo de caixa de um investimento de US\$ 100.000,00 em equipamentos, que o retorno do investimento pode acontecer em 10 anos, incluindo a depreciação. Um equipamento de microondas, com dois geradores de 100 kW cada, custa aproximadamente US\$ 200.000,00, e um sistema com quatro geradores de 200 kW tem o preço aproximado de US\$ 365.000,00. O custo de instalação é variável, dependendo das necessidades industriais e da produção pretendida, entretanto, 10 % sobre o valor de venda do equipamento pode ser estimado como custos de instalação. Um equipamento operando com unidades múltiplas geradoras de 50 kW, a uma frequência de 0,915 GHz, pode

descongelar carne bovina de  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $-2^{\circ}\text{C}$ , a uma velocidade de 6800 kg/h. Para a produção desta quantidade de carne se requer, aproximadamente, em custos fixos totais, cêrca de US\$ 76.000,00 nos dois primeiros anos, e em custos variáveis totais, US\$ 136.000,00, havendo um retôrno do investimento aproximado de US\$ 120.000,00 no período.

THUÉRY (1992) compara o custo de uma válvula magnetron para uso doméstico no valor de US\$ 125,00 por kW em relação ao custo de US\$ 750,00 por kW para uma aplicação a nível industrial, além disto estima em US\$ 50.000,00 o valor de um sistema completo de aquecimento por microondas para a indústria.

A vida útil da válvula "magnetron" ultrapassa o que prediz o certificado de garantia do fabricante, que corresponde a 2500 horas de uso, chegando a 8000 horas quando utilizada para descongelamento. Para uma demanda de 5500 toneladas de carne anualmente e um volume de vendas de US\$ 15 milhões, os custos de US\$ 100.000,00 parecem modestos (DECAREAU, 1986).

*Cozimento:* Requer equipamentos semelhantes aos utilizados para o descongelamento, porém a frequência comumente utilizada é de 2,45 GHz , requerendo maior aplicação de energia, cêrca de 100,80 a 201,60 kcal/kg, comparada aos 30,24 kcal/kg para o descongelamento. Para o cozimento do "bacon" requer 201,60 kcal/kg, equivalente a um rendimento de 40 %. Pode-se

estimar com este dado que um sistema de 400 kW (oito geradores de 50 kW) tem capacidade para cozinhar inicialmente cerca de 900 kg/h, para produzir aproximadamente 360 kg/h de produto acabado. Um equipamento para este fim está orçado em US\$ 600 a 700 mil (DECAREAU, 1986).

A Rada Line é uma das empresas que produz equipamentos para o cozimento de carne fatiada, salsichas, pizzas e frangos. O sistema é modular e adaptável, de acordo com o produto a ser processado. Um exemplo de investimento de capital para este processo é da ordem de US\$ 1.125.000,00, para a produção de 3600 toneladas/ano, com um lucro bruto de US\$ 1.143.0840,00 no primeiro ano (EDGAR, 1986 e THUÉRY, 1992).

DECAREAU (1986) estimou o custo aproximado para sistemas de microondas a serem utilizados no processamento de alimentos na ordem de US\$ 3000/kW e equiparou a energia de 1 MW a US\$ 3 milhões em vendas. Entretanto os custos atuais demonstram uma diminuição destes valores pela difusão da tecnologia de microondas em sistemas industriais além da competitividade entre diversos fabricantes de componentes (THUERY, 1992).

Um dos itens importantes na adequação de projetos pilotos a nível de "scale up", se refere a custos de investimentos e o tempo de retorno do capital aplicado. SWIFT e TUOMY (1977) já haviam estudado as vantagens da aplicação de microondas no descongelamento de carnes comparado aos sistemas convencionais e evidenciaram a viabilidade econômica e tecnológica

do processo. Neste sentido, EDGAR (1986) reportou uma avaliação econômica do processamento industrial com microondas sobre um investimento de US\$ 100.000 em equipamentos com um retorno em 10 anos, o fluxo de caixa sobre o investimento de US\$ 1.125.000 para instalação de um sistema de 400 kW, a análise de investimentos para o pré-cozimento de toucinho e descongelamento de blocos de carne. Destaca-se que a garantia sobre o magnetron é de 2500 h, quando a vida útil deste chega a 8500 h em média, elemento este que garante a eficiência do equipamento. As perspectivas econômicas sobre os investimentos e retorno deste são satisfatórias e promissoras.

A indústria de bebidas americana em dez anos (1974-1984) teve uma redução de 15,2 % do uso de energia primária e um aumento de 22,4 % do uso de energia elétrica DECAREAU (1985). A indústria de aves requer geradores de 50 kW a 80 kW para o processamento de pernas, coxas, e peitos de frango e no processamento do toucinho, enquanto que os túneis de microondas operam com geradores de 150 kW a 240 kW; no processamento de pastéis, hamburguers e similares se requer em torno de 30 kW para produção de 16000 unidades /hora DECAREAU(1986).

Os sistemas contínuos convencionais de produção de embutidos com alta tecnologia envolvem investimentos da ordem de US\$ 2.000.000 para o levantamento da planta de 1000 m<sup>2</sup> de área construída num terreno de 5000

m<sup>2</sup>, e US\$ 1.050.000 para equipamentos. Os custos operacionais diretos ficam orçados em US\$ 351.000/ano para a produção de 1600 toneladas/ano de salsichas. O dispêndio de energia elétrica para operação da planta é de 150 kWh, 960 kg/h de vapor. O volume de água e ar comprimido gastos são aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/h e 1 m<sup>3</sup>/h respectivamente (VINK, 1987).

Os gastos em energia levantados em 14 diferentes tipos de indústrias nos EUA, apontam que a primeira delas direcionada à carne empacotada é responsável por 25,02 trilhões de kcal equivalente a 11,9 % do total e a indústria de embutidos e outros produtos cárneos, 12<sup>a</sup> colocada, consome 6,43 trilhões de kcal correspondentes a 2,9 % do total avaliado. Isto soma 31,45 trilhões de kcal ou 14,8 % do total estudado e são concorrentes das indústrias de ração animal e produção de farinha de milho responsáveis pelo consumo de 21,80 e 21,09 trilhões de kcal respectivamente, ou 20,3 % do total (UNGER, 1975).

Os dados pesquisados demonstram que as implementações dos processos de descongelamento e cozimento, entre outros, embora necessitem de grandes investimentos iniciais, têm um franco retorno de capital em prazos variáveis de 2 a 5 anos, conforme o potencial da indústria, além de representarem significativa economia de energia comparado aos processos convencionais ou alternativos de alta tecnologia (EDGAR, 1986) (DECAREAU, 1985 e 1986).

METAXAS e MEREDITH, (1988), apresentam uma equação matemática para calcular o retorno de capital investido em anos sobre uma linha de secagem com velocidade de processamento de 6m/min com uma produção anual de 18 milhões de kg em 6000 horas de trabalho, sendo o equipamento dotado de uma unidade de 150 kW com consumo de 4kWh. O total de energia economizado pode ser calculado por:

$$(g_{con} - g_{mw})6000y_n = g_1.P_{sc} - C \quad (51)$$

onde  $g_{con}$  e  $g_{mw}$  são os custos de operação de um secador convencional e a microondas,  $g_1$  o custo de capital do secador a microondas em US \$/kW,  $P_{sc}$  é a potência da fonte em kW,  $C$  é qualquer recuperação de capital proveniente da venda de equipamentos convencionais,  $y_n$  os anos de economia total sobre os custos de capital investido e 6000 o número de horas anuais de trabalho.

Com bases na revisão da literatura e analisando o estado em que se encontram as pesquisas tecnológicas para aplicação de microondas no processo contínuo de cozimento de embutidos cárneos, constata-se que ainda não há equipamento com tecnologia apropriada e custos para atender as necessidades da indústria de carnes.

A aplicação de microondas nas etapas de cozimento da indústria de carnes está apenas se iniciando em outros países, desconhecendo-se em

nosso País qualquer tentativa de exploração tecnológica diante das vantagens que ela pode proporcionar.

Os processos convencionais de processamento de embutidos na indústria de carne têm um dispêndio energético da ordem de 85 kWh/100 kg. (Tabela 1).

**TABELA 1-** Energia consumida para produção de 100 kg de salsicha tipo frankfurt

ETAPA	kWh
Obtenção de matérias primas (abate)	15,7
Fabricação da pasta (conservação a 2°C) das matérias primas	1,2
Obtenção de gelo	10,2
Triturar, picar ("cutter")	3,6
	5,4
Embutir - cocção - defumação	62,4
<b>Subtotal</b>	
Energia necessária para produzir 100 kg de salsichas	88,3
Outros consumos de energia	
Produção de água quente, termostatização, iluminação, etc.	42,1
<b>TOTAL</b>	130,4
Composição do produto: 48% extrato seco, gordura 30 %, 20 % de gelo, 2% de sal e condimentos	

Fonte: GIRARD,1991.

### 3.9. Análises da composição de alimentos por Infravermelho próximo

O espectro de infravermelho obtido por reflectância ou transmitância na faixa de 400 nm a 2500 nm é o resultado da absorbância de luz de grupamentos químicos C-H, O-H, N-H, C=O, em diferentes regiões do espectro. As determinações de proteínas, umidade, carboidratos e gordura podem ser feitas com rapidez e segurança por NIRS, através de medidas de reflectância (SLAUGHTER et alii, 1989).

A composição química relacionada com a qualidade sensorial de salsichas já foi analisada através de dados espectrais obtidos por NIRS (SASAKI e OZAWA, 1989; ELLEKJAER et alii, 1994) onde foi demonstrado que o tratamento dos dados com PLS (Partial Least Squares ou mínimos quadrados parciais) com a 2<sup>a</sup> derivada foi o mais adequado para a interpretação dos dados matemáticos de constituintes que não possuíam absorção característica em comprimento de onda definido e que deveriam ser calibrados. Além disto o PLS computa um fator extra, que é a combinação linear de todas as medidas de comprimento de onda para cada constituinte do alimento. Entre os componentes da composição química, a gordura é a que apresenta um efeito tanto químico quanto óptico na absorção de luz. Embora o efeito óptico seja maior quando da medida de reflectância espectral das

amostras, é menos seletivo, e pode ser removido pela correção com "Multiplicative Scatter Correction (Correção de Intervalos Múltiplos), MSC" aumentando a exatidão dos resultados da análise de gordura em amostras de carne e seus derivados (GELADI et alii, 1985).

As fontes de erros no NIRS que devem ser monitoradas quando as reflectâncias das amostras estão sendo determinadas, para a adequada utilização deste método, são: ruído do instrumento, seleção do comprimento de onda, tratamento matemático, ajuste do sinal óptico puro, eletricidade estática, controle de temperatura do instrumento, etc. As amostras cuja composição química incluem a presença de grupos de absorbância resultante da interação química entre constituintes, ou a densidade da amostra triturada modifica a textura, ou ainda sua temperatura é diferente da temperatura do ambiente, podem apresentar erros na análise dos dados espectrais. (WILLIAMS e NORRIS, 1990)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Materiais**

#### **4.1. 1. Sistema de microondas**

##### ***4.1.1.1. Gerador de microondas e fonte de alimentação***

As microondas aplicadas ao sistema foram geradas a partir de uma fonte de 1,9 kW com frequência de 2,45 GHz de um equipamento de fabricação italiana marca ALTER. A válvula magnetron modelo 2M130 (NL10250) era refrigerada a ar sendo seu filamento excitado por uma fonte de modelo SM745001. O gerador de microondas de modelo WG1540.1 possuía um "launcher" (secção de guia de onda onde se insere a antena do magnetron) estruturado em latão com flange R26 norma DIN (Figuras 6 e 7 item 1)(Apêndice 8.1).

##### ***4.1.1.2. Transição WG 1540/R26 para WG284/ UG53/U***

Para adaptar o sistema de microondas com norma DIN para a norma americana utilizada nos demais guias de onda, foi projetada em Auto Cad 12,

no LMO, uma secção de transição WG 1540 com flange R26 para WG 284 com flange UG 53-U, e usinada em alumínio por serviço de terceiros. As normas construtivas aplicadas da secção de transição obedeceram ao padrão de comportamento da onda e suas características do ponto de reflexão e nulidade. A dimensão foi calculada com relação ao  $\lambda_g$  médio das secções e determinado o comprimento de  $\lambda_g/8$  da peça (Figura 7 item 2).

#### **4.1.1.3. Acoplador e Wattímetros**

As leituras das ondas emitidas e refletidas no sistema foram obtidas utilizando-se um acoplador da marca COBER modelo bidirecional WG284-PM/DDC série S6 e de capacidade de medição em decibéis. O acoplador com conexão fêmea tipo N para cabos coaxiais foi ligado a dois Wattímetros com escala analógica de 7 kW e 3 kW, respectivamente (Figura 6, itens 4 e 8 e Figura 7 item 5 e 7).

#### **4.1.1.4. Toco Triplo**

O toco triplo que é um ajustador de reflexões de ondas, foi utilizado para casar as impedâncias de ondas emitidas e refletidas à partir das leituras efetuadas nos Wattímetros. Este equipamento foi projetado em AutoCad 12

nos computadores do LMO e usinado em alumínio por terceiros. Constituindo-se de uma secção retangular em alumínio com dimensões do padrão de guia de onda WG 284 e comprimento igual a  $\lambda_g$ . Três parafusos sintonizadores foram inseridos equidistantemente ao longo da extensão do guia. Esses, possuíam percurso limitado por uma barra superior que indicava o ponto de interferência nula no guia de onda, sendo que cada quarto de volta no parafuso, correspondia a um milímetro de avanço no interior da secção. A fim de fixar o ajuste do casamento de impedâncias foram colocadas contra-porcas, evitando-se deste modo eventuais modificações dos parâmetros de ajuste definidos. As flanges com padrão UG53/U também foram projetadas em AutoCad 12 e usinadas por terceiros. Sua fixação na secção do toco triplo foi feita com solda de alumínio em ambiente de argônio, garantindo desta maneira a perfeita condutividade entre as peças (Figura 6, Ítem 5 e Figura 7 item 6).

#### **4.1.1.5. Carga d'água**

A carga d'água utilizada para a absorção das ondas transmitidas pelo dielétrico em estudo, instalada na extremidade final do sistema de cozimento, foi desenhada em AutoCad 12 e usinada em alumínio com flange UG 53/U, por terceiros, seguindo-se o mesmo modelo de outra existente de fabricação COBER com capacidade de 5 kW. Esta carga d'água constava de uma secção retangular WG 284 fechada em uma extremidade. Um tubo de vidro

atravessava a sua lateral, posicionado transversalmente às linhas de campo E e à extremidade fechada. O ângulo formado era de aproximadamente  $19^\circ$  perpendicularmente ao plano das linhas do campo E e um ângulo de aproximadamente  $5^\circ$  com o plano do campo H (Figura 6, item 3 e Figura 7 item 3).

#### **4.1.1.6. Guia de produto**

O guia de produto constituía-se de duas curvas tipo H adaptadas de um tubo de alumínio de dimensão longitudinal igual ao comprimento de corte de onda no guia e diâmetro interno de 0,22 cm, soldados no vértice das mesmas. As curvas de secção retangular padrão WG 284 possuíam flanges UG53/U. Estas duas curvas foram conectadas alternativamente a secções retangulares do mesmo padrão de comprimento igual a 2 e  $4 \lambda_g$  (Figura 6 item 6 e 13). O desenho construtivo das peças montadas configurava uma perfeita geometria e alinhamento dos tubos de alumínio entre si, por onde se introduziu um tubo de borossilicato especificação CORNING 7740, com constante dielétrica de 4,6 e fator de perda 2,6 a 1MHz e a  $20^\circ\text{C}$ , resistência a temperatura máxima de trabalho de  $490^\circ\text{C}$  e temperatura normal de trabalho  $260^\circ\text{C}$ . O tubo de vidro serviu como guia de produto, ou seja para passagem da emulsão cárnica revestida com o filme protéico. O tubo de vidro foi substituído posteriormente por um tubo de teflon dada a permissividade do

material. O projeto construtivo deste sistema foi desenhado em AutoCad 12 e usinado por serviços de terceiros (Figura 6 ítem 15 e Figura 7 ítem 21).

#### **4.1.1.7. Extrusora**

A extrusão da emulsão cárnea para dentro do guia de produto do sistema de microondas foi feita através de um equipamento projetado em AutoCad-12, e construído em aço inoxidável AISI 304. O protótipo de bancada foi usinado por terceiros, constando de um tubo estacionário inserido em duas capas tubulares com uma das extremidades cônicas, devidamente ajustadas e sustentadas por rolamentos que permitiram a rotação do sistema externo das capas em um determinado sentido porém, com defasagem de velocidade de 5 rpm, tracionadas por engrenagens e correntes montadas no eixo de um motor de velocidade controlada por um motovariador, assegurando desta forma um perfeito escoamento do filme protéico sobre a emulsão cárnea antes desta entrar no guia de produto inserido no guia de onda. Estas duas capas formavam uma câmara entre si e localizadas na porção terminal do tubo estacionário. As capas giratórias possuíam anéis de vedação ajustadas às secções dos rolamentos e às suas paredes bem como ao tubo estacionário, evitando assim o escoamento de qualquer fluido para os rolamentos do equipamento. O ajuste entre as duas capas tubulares giratórias permitia a regulação da espessura do filme protéico sobre a emulsão cárnea. O tubo estacionário possuía dois orifícios laterais nos quais uma conexão tubular foi

rosqueada e ligado a uma tubulação flexível de Teflon ajustada a uma bomba positiva, cuja vazão era controlada para a admissão por bombeamento do filme protéico. A parte anterior do tubo estacionário possuía um flange “tri-clamp” conectado a uma tubulação sanitária em aço inoxidável ligada a uma bomba positiva de cavidade progressiva. Esta era dotada de uma rosca transportadora e moega, cuja velocidade de admissão da emulsão cárnea introduzida no tubo estacionário era controlada por um motovariador. A extremidade oposta do tubo estacionário estava conectada a uma câmara de Nylon dotada de dois orifícios externos onde se fixou uma conexão para a admissão por bombeamento do fluido coagulante de proteínas. A outra extremidade desta câmara comunicava-se com o guia de produto. A extrusora foi fixada através da extremidade anterior sobre um tubo seccionado transversalmente com suas duas metades aparafusadas, sendo a metade inferior soldada sobre um suporte trapezoidal perpendicularmente a chapa de aço da base. Todo o sistema de extrusão foi montado sobre uma chapa de aço inoxidável suportada por cantoneiras, também de aço inoxidável (Figura 5 e Figura 7 item 20).



FIGURA 5- Extrusora para o sistema de cozimento composta por um cone(1) formando uma câmara para o filme protético, que recobria a emulsão cárnea impelida através de seu corpo(2) e posteriormente envolvida com a solução coagulante na câmara (3). Sistema giratório com engrenagens(4) e anéis de vedação (5).

#### **4.1.1.8. Câmara de injeção da emulsão protéica**

A câmara de injeção da emulsão protéica constituía-se de um cilindro de Nylon perfurado alternadamente na região central rebaixada que formava uma câmara com um outro cilindro de maior diâmetro e ajustados entre si com anéis de vedação. No cilindro externo havia dois furos opostos com conexões de latão rosqueadas para adaptar-se as mangueiras de silicone que conduziram a emulsão protéica por bombeamento para a câmara. Nas extremidades do cilindro interno, foram usinados acabamentos flangeados onde se inseria o tubo de vidro do guia de produto de um lado e o eixo do cone externo da extrusora do outro. Estas juntas também possuíam anéis de vedação porém, dimensionados para movimento rotatório. A Câmara de injeção da emulsão protéica foi desenhada de maneira a permitir o seu fácil desmonte para limpeza. O desenho e projeto desta peça foi feita em AutoCad 12 e usinada por serviços de terceiros (Figura 7 item 20).

#### **4.1.1.9. Bombas**

As bombas utilizadas para manutenção da alimentação das emulsões cárnea, protéica e solução coagulante foram dimensionadas de acordo com as pressões requeridas bem como com a carga de trabalho e o fluxo a que estariam sujeitas. Para a alimentação da emulsão cárnea nas tubulações sanitárias foi necessária a utilização de uma bomba positiva sanitária marca

MONO modelo ST 421, de cavidade progressiva, com e rotação mínima de 30 rpm a 1700 rpm ajustável pelo motovariador. Previamente ao rotor havia uma moega e um transportador de rosca sem fim em aço inoxidável que auxiliava no transporte da emulsão cárnea. A fim de manter a temperatura estável da emulsão cárnea, próximo de 4°C foi construída uma camisa em chapa de aço inoxidável externamente a moega original da bomba, sendo que este espaço foi preenchido com gelo durante a operação de bombeamento (Figura 6 item 14 e Figura 7 itens 15, 16 e 17). A bomba positiva foi adaptada de um motovariador mecânico ligado a um redutor de relação 1:39 modelo R25, com relação entre as engrenagens de 1,3 no eixo da bomba. A razão de giro do motovariador era de 9,7:1. O motor com potência de 3 HP, teve a sua velocidade de 1725 rpm reduzida no variador ao mínimo de 70 rpm e máximo de 350 rpm, reguladas manualmente e indicadas em um dial de escala de 1 a 10. Na alimentação da emulsão protéica e do agente de coagulação foi utilizada uma bomba peristáltica de marca Masterflex, de velocidade variável com cabeçote modelo 7016-52 e mangueira de silicone (Figura 6 item 11 e Figura 7 item 19).

#### ***4.1.1.10. Sistema de resfriamento***

O sistema de resfriamento das salsichas produzidas, constituído de um sistema aspersor de ar filtrado, foi acoplado na extremidade do guia de

produto em sua parte superior. Utilizou-se um tubo multi-perfurado em duas linhas afastadas de 30 graus, ao longo de um tubo de aço inoxidável com 6 mm de diâmetro, conectado ao tubo flexível de silicone e este ligado por sua vez a uma válvula "by-pass". O fluxo de ar era controlado por um rotâmetro marca MLW-GDR modelo PG 08/2 742 com escala até 8000 l/h dividida ao décimo, e resistência a pressão de 101,325 kPa. O fluxo de ar aplicado no ensaio foi de 3000 l/h, durante 15 minutos. A temperatura média do ar foi de 23 °C. O tubo foi posteriormente substituído por um aspersor de ar na forma cônica alimentado pela mesma linha anterior, a fim de melhorar a eficiência de ventilação e resfriamento (Figura 6 item 16 e Figura 7 item 13).

#### **4.1.1.11. Sistema de cozimento**

O sistema de cozimento era constituído de um gerador de microondas ligado por uma transição a um circulador de três portas acoplado entre a secção de transição e o acoplador de medição de potencias. Na parte superior do circulador foi conectada uma carga d'água. Após o acoplador estava um toco triplo, ao qual foi conectada uma extremidade da curva H associada ao guia de produto e este por sua vez a uma secção reta também ligada a outra curva H. Na parte extrema da curva H adaptou-se uma outra carga d'água sendo a vista lateral desta montagem em forma de U com as pontas dobradas opostamente. O propósito da geometria desta montagem foi facilitar o acesso ao guia de produto no plano da bancada e livrar os demais equipamentos da área de trabalho sujeita a contaminação. Após a inserção do tubo de vidro adaptou-se a extrusora e a câmara de injeção de emulsão protéica e ligou-se

as tubulações sanitárias da bomba de emulsão cárnea a extrusora e as respectivas bombas de emulsão protéica e de agente coagulante, adequando esta última montagem de acordo com as necessidades do experimento ou seja; em co-corrente ou em contra-corrente à fonte de microondas ( Figuras 6 e 7).

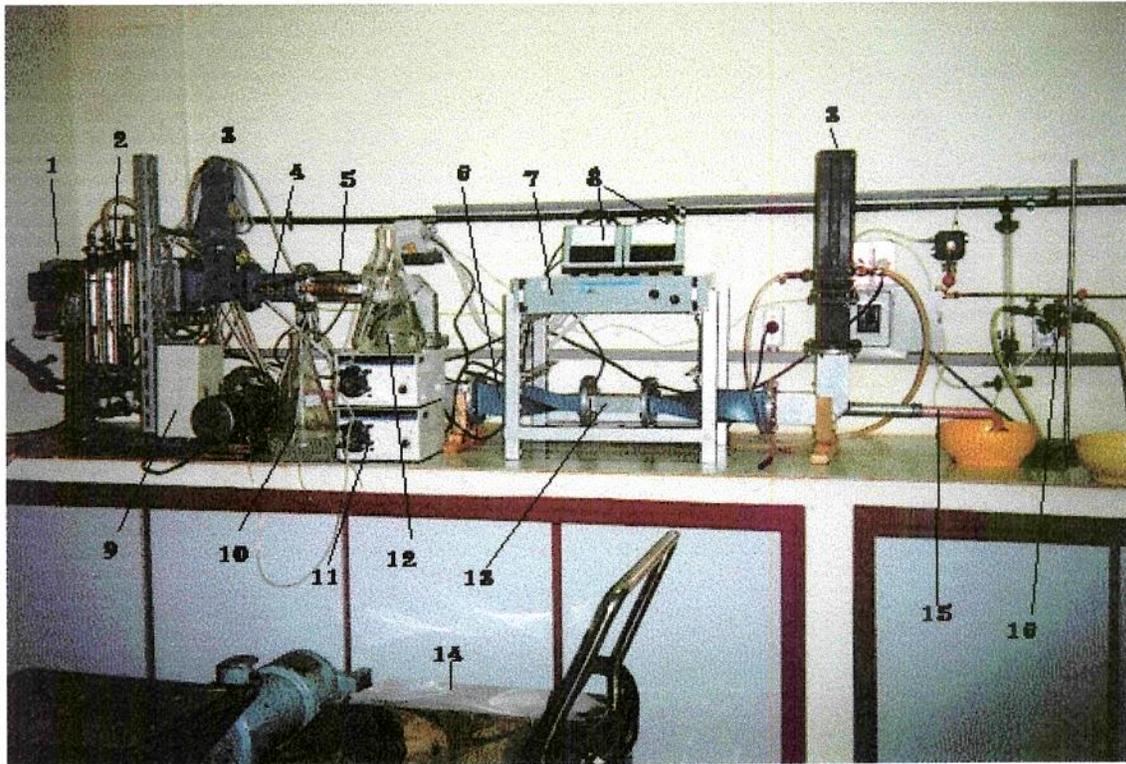


FIGURA 6- Sistema de cozimento e pasteurização contendo gerador de microondas(1), rotômetros(2), cargas d'água(3), acoplador (4),toco triplo (5), guia de onda retorcido 90° (6), fonte de alimentação (7), wattímetros (8), extrusora (9), solução coagulante (10), bombas peristálticas (11), filme protéico (12), seção de guia de onda reto (13), bomba positiva(14), guia de produto (15), sistema de resfriamento (16)

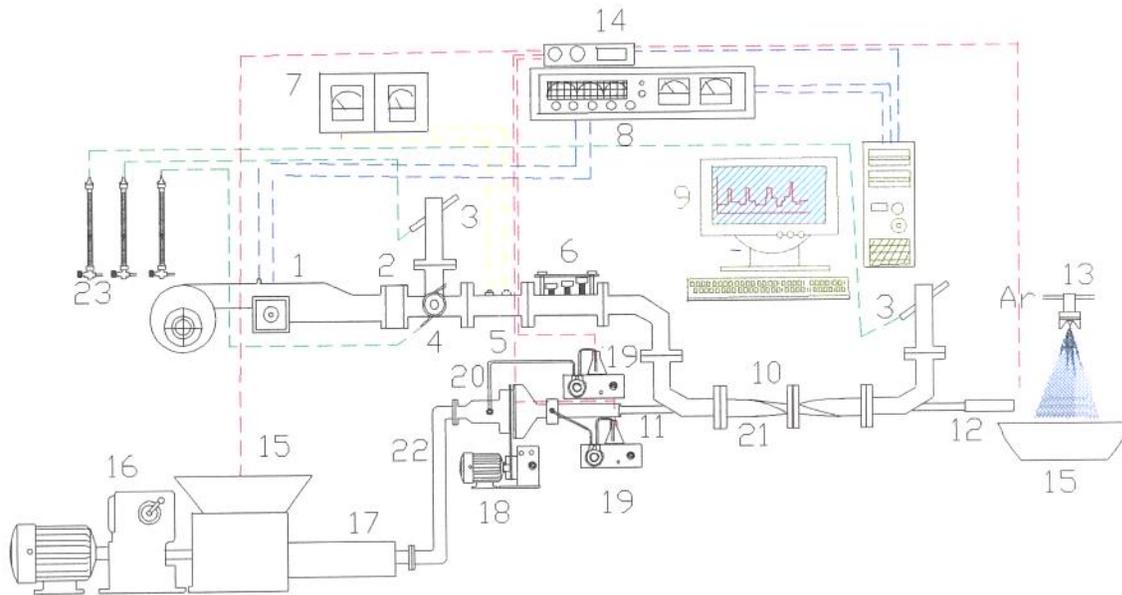


FIGURA 7- Sistema de cozimento e pasteurização constituído de: gerador de microondas (1), guia de transição (2), cargas d'água (3), circulador (4), acoplador (5), toco triplo (6), wattímetros(7), fonte de alimentação (8), controlador de dados (9), guia de onda torcido 90° (10), entrada do guia de produto (11), saída do guia de produto (12), aspersor de ar (13), termômetro de 4 canais com fibra óptica (14), moega refrigerada (15), motovariador (16), bomba positiva (17), sistema de acionamento da extrusora (18), bombas peristálticas para filme protéico e solução coagulante (19), extrusora e câmara de coagulação (20), guias de onda com guia de produto (21), tubulação sanitária (22), rotâmetros do sistema de resfriamento (23).

#### 4.1.1.12. Calibração do sistema de microondas

Durante os ensaios, os parâmetros do processamento térmico foram controlados por medidor multicanais de temperatura com sensores de fibra

óptica, inertes às microondas, com os quais se procederam as determinações das temperaturas relativas à vaporização e ao cozimento da emulsão cárnea. As potências de microondas transmitida e refletida foram monitoradas por wattímetros, a partir do acoplador de medição, sendo os ajustes de impedância efetuados através do sintonizador de tóco triplo, mediante parafusos de rosca milimétrica. Após cada ensaio, as sondas e sensores foram lavadas cuidadosamente para retirar as sujidades e prováveis resíduos microscópicos que viessem interferir em determinações posteriores (Figura 7 item 14).

#### ***4.1.1.13. Controle do resfriamento do sistema de microondas com rotâmetros***

Rotâmetros com vazão de 20 a 250 l/h foram instalados para o controle da vazão de água no sistema de resfriamento do gerador de microondas, cargas d'água e circulador (Figura 6 item 2 e Figura 7 item 23).

#### ***4.1.1.14. Controle da segurança do sistema de microondas com medidor de vazamento de microondas***

A certeza de que a montagem do sistema de microondas foi perfeita, obedecendo-se rigorosamente às normas de segurança estabelecidas pelo IEEE e IMPI, foi obtida através da inspeção das junções das flanges e das

linhas de soldagem, com um medidor portátil de vazamento de potência, operando na faixa de 2450 MHz, de marca COBER, Modelo LDS-2.

#### **4.1.2. Equipamentos analíticos**

##### ***4.1.2.1. Espectrômetro de infravermelho próximo***

Um espectrômetro de infravermelho próximo (NIR), marca Perstorp Analytical-NIRSystem modelo 6500, na faixa de 400 a 2500 nm (4000 - 14300  $\text{cm}^{-1}$ ) foi utilizado na determinação de umidade, carboidratos, proteína, gordura, cinzas e de cor. O equipamento possuía módulo transportador de amostras, sensores de transmissão e reflectância, célula "on coarse" de 60  $\text{cm}^2$ . Esta célula se desloca automaticamente frente aos sensores do espectrômetro de infravermelho, de modo que sejam efetuadas 32 leituras por nanômetro ao longo de seu comprimento. O que permite maior precisão nas determinações. O sistema era monitorado por um software dedicado Perstorp Analytical (NSAS/IQ<sup>2</sup> - Chemometrics Programs versão 3.52 e 1.22)

##### ***4.1.2.2. Sistema de Medidas Dielétricas***

O sistema para medidas de dielétricos, de fabricação Hewlett-Packard, estava configurado para determinações de constantes dielétricas complexas de líquidos ou semi-sólidos. O conjunto era constituído de um analisador de

circuitos de microondas "Lighthwave Component Analyser" referência HP8702 B, para a faixa de 300 kHz a 6 GHz, com interfaceamento tipo HP-IB para computador PC e respectivo software e Plotter HP 7090 A "Measurement Plotting System". Fazia parte do sistema um determinador de parâmetros "S" -

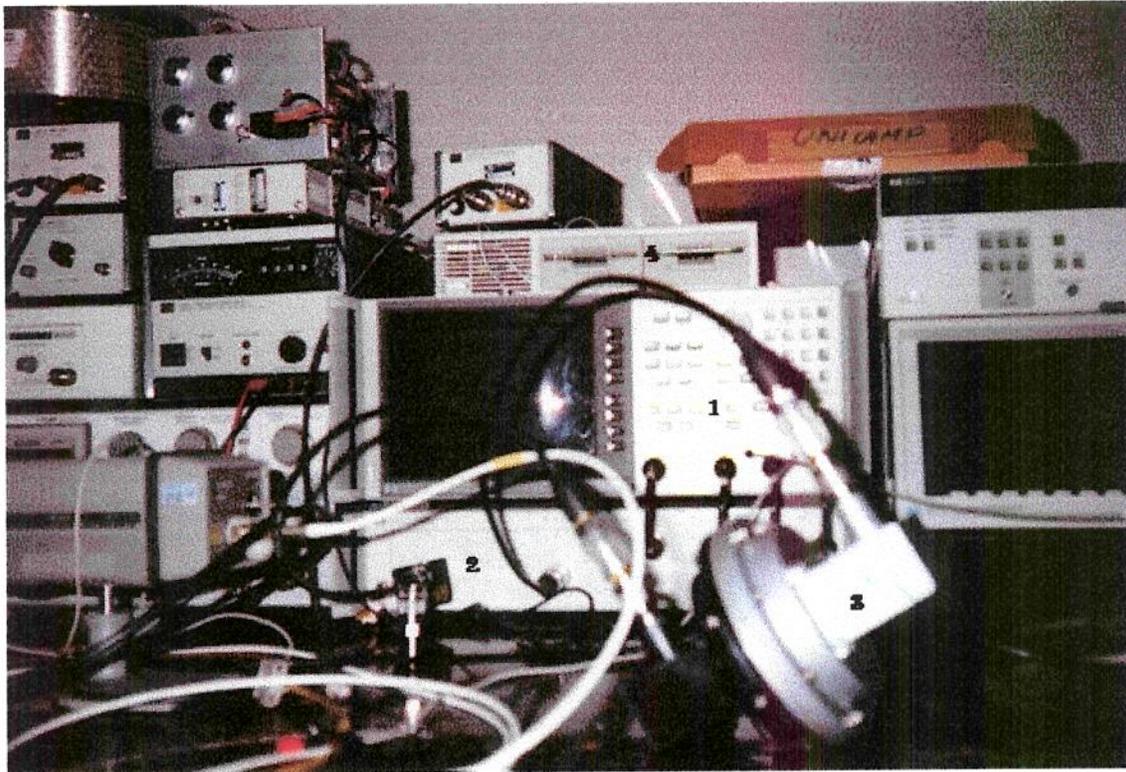


FIGURA 8- Sistema de medidas dielétricas HP8702 B (1), determinador de Parâmetros "S" - "S parameter Test Set" referência HP85047 (2), célula de amostragem (3) e "floppy disk drive" HP-IB(4).

"S parameter Test Set" referência HP85047A para a mesma faixa de freqüência e cabos HP 8120-4779 9031 B (USA) com conectores Microline tipo N de fabricação NARDA (Figura 8).

A célula de amostragem construída em alumínio tinha espessura de 5,53 mm, cujo valor era aproximadamente equivalente à um quarto de onda na amostra. Para linhas coaxiais a espessura da amostra deve ser aproximadamente um quarto da onda na amostra. À 2450 MHz a faixa para os alimentos é 0,5 cm e 0,75 cm para gorduras e óleos (BUFFLER, 1993 e HP-PN8510-3) (Figuras 9 e 10).

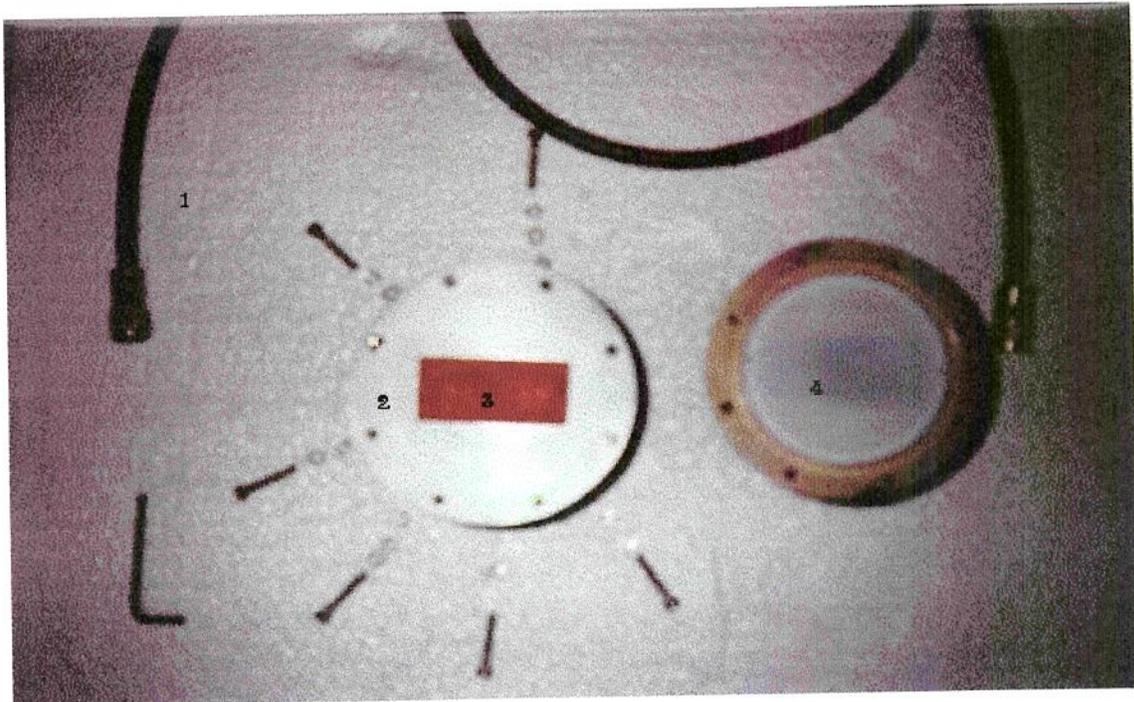


FIGURA 9- Célula de amostragem para determinação de medidas dielétricas composta de duas transições de guia de onda, cabo coaxial(1), placa intermediária(2) para amostra (3) e membrana obturadora de teflon (4).

#### ***4.1.2.3. Digestor por microondas***

Para a digestão das amostras de emulsão cárnea e salsichas industrializadas na determinação de nitrogênio foi utilizado um digestor por microondas marca Prolabo modelo MicroDigest A301. O equipamento era dotado de uma cavidade de aplicação de formato cilíndrico onde se colocava o tubo de ensaio em borosilicato com a amostra para digestão. As amostras colocadas em um carrossel com capacidade para dezesseis tubos eram introduzidas no digestor por meio de um braço mecânico robotizado. A potência máxima do equipamento de 200 W era controlada por um sistema microprocessado programável. O equipamento encontrava-se em uma capela equipada com sistema de exaustão, e os gases provenientes das reações eram neutralizados num lavador de gases marca Prolabo, modelo Aspivap, sendo posteriormente exauridos do ambiente do laboratório. Os agentes de digestão foram adicionados no interior dos tubos através de bombas peristálticas feitas de Teflon. Para cada tipo de amostra; emulsão carne e salsichas foram estabelecidos programas de funcionamento das bombas na adição de água oxigenada e ácido sulfúrico concentrado, bem como as etapas de aspiração dos gases e respectivas potências e tempos utilizados na cavidade de aplicação.

### 4.1.3 Matérias primas

#### 4.1.3.1. *Formulação da emulsão protéica*

A emulsão protéica constituiu-se de uma solução de colágeno 4,5 a 5,5%, adicionada de espessantes, estabilizantes e sem corante. A formulação era semelhante à utilizada na produção de "casings" de colágeno comestível, cuja função foi revestir a emulsão cárnea e auxiliar no escoamento através do guia de produto, interno ao guia de onda. O colágeno, extraído da pele de aves, foi obtido de fornecedores junto à indústria de carnes. Os agentes espessantes utilizados foram carboximetil-celulose (CMC), carboxietil-celulose (CEC), cuja concentração ficou abaixo de 1%. O corante urucum não foi adicionado à formulação da emulsão fornecida pelo fabricante, em atenção as exigências do mercado consumidor da região. O pH da emulsão protéica foi ajustado entre 4 e 5, através de uma solução de ácido láctico, conforme o tipo de espessante e a concentração de colágeno utilizados. As proporções das formulações respeitaram os padrões industriais bem como os limites determinados na legislação Nacional.

Composição básica da emulsão protéica:

100 partes de colágeno moído (10 % de sólidos)

100 partes da solução contendo: 1 parte de metil-celulose e 99 partes de água

Para 99 partes da solução de metil-celulose foram adicionados 1 parte da solução de colágeno (KARMAS,1974).

Esta solução foi homogeneizada e teve o pH ajustado em 3 com ácido láctico. A viscosidade da solução após preparo foi de 70 poises, determinado em um viscosímetro modelo Brookfield com cilindro nº 1.

A tanização do filme foi conseguida com um banho de salmoura de pH 10 ajustado com hidróxido de amônio.

Após o tratamento por microondas, as salsichas receberam um jato de ar à temperatura de aproximadamente 23°C por 15 minutos tendo, sido a sua umidade superficial reduzida a 40 % em base úmida.

#### **4.1.3.2. Preparação do agente de coagulação**

O agente de coagulação utilizado para a emulsão protéica foi uma solução saturada de cloreto de sódio em água filtrada tratada, com pH ajustado a 10 através de uma solução de hidróxido de amônio concentrada.

#### 4.1.3.3. Obtenção da emulsão cárnea e salsichas

A emulsão cárnea utilizada neste trabalho foi uma formulação industrial obtida junto à indústria de carnes cuja composição está na Tabela 2.

As amostras de emulsões foram transportadas da indústria frigorífica até o LMO, embaladas em sacos plásticos PAD de grau alimentício e fechado com lacre, posteriormente acondicionadas em uma caixa de poliestireno coberto com gelo em escamas e tampada. O percurso foi inferior a duas horas, sendo que imediatamente após a desembalagem da matéria prima, esta foi dividida em pacotes de 15 kg, equivalente à capacidade da moega da bomba positiva. As salsichas, contendo a mesma formulação das emulsões e de mesma procedência, estavam embaladas à vacuo em filmes plásticos termo-encolhidos.

TABELA 2 - Composição aproximada da emulsão cárnea segundo o fornecedor.

Composição	Concentração (%)	Desvio Padrão
Gordura	22	+2
Carboidratos	1,8	±0,5
Proteínas	12	+1,5
Umidade	60	+2,5
Cinzas	4	+0,5

O processamento foi subsequente, enquanto os demais pacotes foram mantidos sob refrigeração a  $8^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  aguardando a sua utilização de acordo com as alterações previstas na montagem do equipamento, mas cujo intervalo de processamento não ultrapassou 2 horas.

#### **4.1.4 Reagentes e meios de cultura**

Os reagentes utilizados para o preparo do filme protéico foram hidróxido de amônio p.a. marca ECIBRA para o ajuste de pH, carboxi-metil-celulose e metil-celulose marca SIGMA "food grade" com função espessante, ácido láctico p.a. marca ECIBRA com função coagulante.

Os meios de cultura utilizados para determinação da qualidade higiênica do produto final e da emulsão cárnea foram: Plate Count Ágar referência CM 325 OXOID para contagem de bactérias em geral; Baird Parker Ágar Base, referência CM 275 OXOID; para isolamento de estafilococos; Lauryl Tryptose Broth, referência CM 451 OXOID Bismuto Sulfite Ágar, referência CM 201 OXOID; Peptona Bacteriológica, referência CM 037 OXOID e Solução BPW, referência CM 109 OXOID. Rambach Ágar Merck para Enterobacteriáceas lactose negativas, Potato Dextrose Ágar Merck para isolamento de fungos e leveduras (não seletivo), Caldo Verde Brilhante Merck para *Escherichia coli* e MRS (Mann Rose Sharp) para determinação da presença de bactéria lácticas.

## **4.2. Métodos**

### **4.2.1. Controle de temperatura das emulsões e do produto**

Para o controle de temperatura da emulsão cárnea, da emulsão protéica, do agente de coagulação, e do produto acabado foi utilizado um termômetro de fibra óptica de quatro canais ligado por intermédio de um coletor de dados e conversor de sinal analógico para digital, de fabricação Canadense, marca Nortech modelo Quattro, a um computador IBM PC-350-P75, dotado do software NoEMI-Assistant-1 dedicado ao acompanhamento gráfico, à coleta, interpretação e geração de relatório dos dados.

### **4.2.2. Determinação das propriedades dielétricas**

O método descrito a seguir fundamenta-se na técnica utilizada por NICOLSON e ROSS (1970) que foi adaptada pela Hewlett Packard (P.N. 8510-3) (BUFFLER, 1993). O sistema prevê a utilização de um analisador de rede do tipo HP 8702 B que é capaz de gerar um sinal de microonda para uma linha conectada ao aparelho, através de duas portas com cabos coaxiais e conectores tipo N, ligados a um analisador de parâmetro "S" HP 85047-A

(Figura 10). À este equipamento é ligada uma das extremidades do sistema de guias de onda retangular, tipo transição retangular para cabo coaxial. Quando a microonda incide sobre o material em análise a linha de transmissão recebe o sinal obtendo-se as leituras da energia refletida e transmitida. O sinal é decodificado pelo equipamento e interpretado pelo software resultando nas medidas dos parâmetros "S". Os valores de  $\underline{S}$  são substituídos nas equações para o cálculo da constante dielétrica e permissividade dielétrica e tangente de perda.

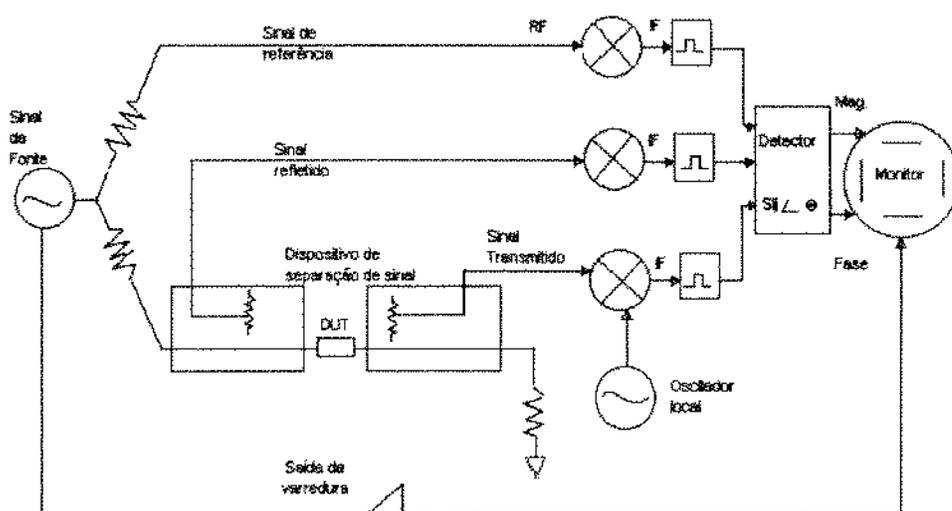


FIGURA 10 - Diagrama de blocos de um analisador de rede simplificado

A medida do casamento das impedâncias foi efetuada antes e após a inserção da amostra, bem como dos valores de atenuação no equipamento HP 8702 B do seguinte modo:

a- determinação do parâmetro  $S_{11}$  com uma das transições abertas, verificando-se assim a medida da reflexão na porta 1 com a atenuação oriunda

das placas de Teflon (Figura 10)

b- determinação do parâmetro  $S_{11}$  com curto circuito na transição através da colocação de uma placa de cobre devidamente fixada na abertura da transição para a medida da reflexão total (Figura 11)

c- determinação do parâmetro  $S_{11}$  com a colocação de uma carga casada (carga d'água) fixada na extremidade da transição verificando-se assim a medida da onda estacionária

d- Determinação do parâmetro  $S_{12}$  com o sistema montado, porém com a célula vazia (Figuras 11).

Após a calibração do sistema os dados foram salvos em um arquivo de referência no disco rígido do HP-8702B para serem aplicados na determinação dos parâmetros da amostra. A seguir a amostra de emulsão cárnea foi inserida na célula e medidos os parâmetros  $S_{11(w)}$  e  $S_{21(w)}$  (Apêndice 8.2).

A amostra foi mantida à temperatura de  $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  igual à temperatura do produto na entrada do sistema de cozimento e pasteurização para processamento contínuo por microondas.

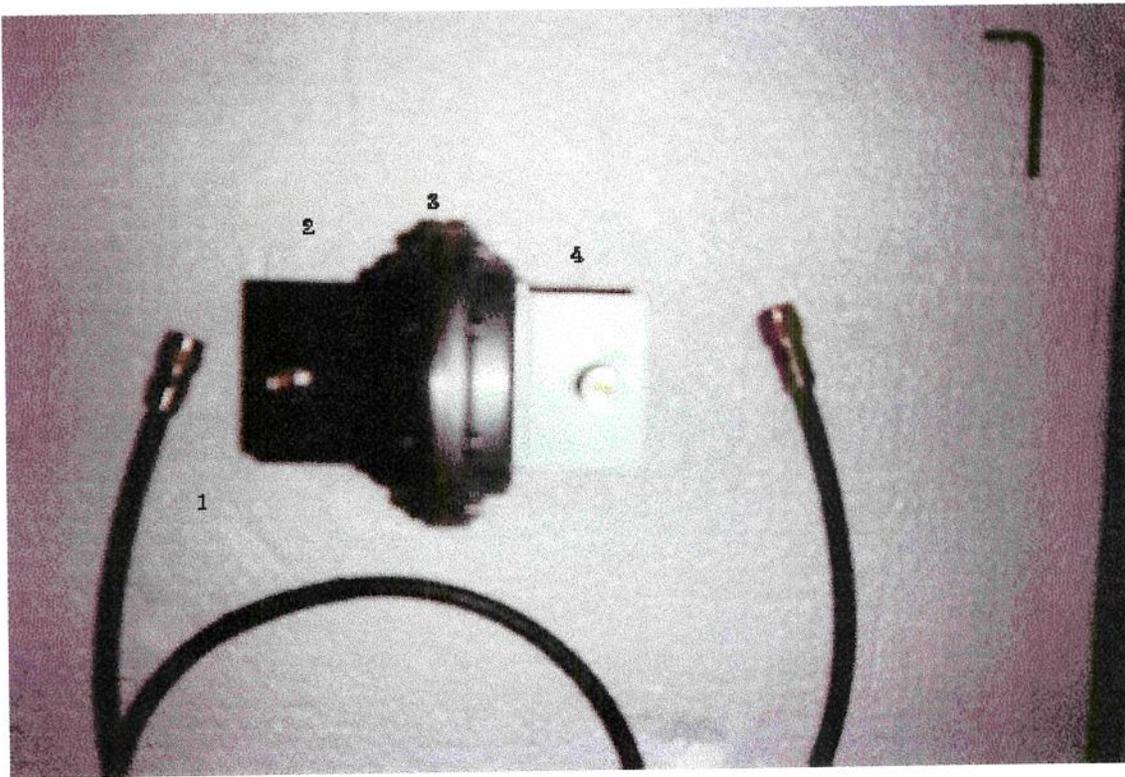


FIGURA 11 - Célula de amostra montada para determinação das medidas dielétricas, constituída de cabo coaxial (1) e duas secções de transição retangular para cabo coaxial (2 e 4) e janela de amostra (3).

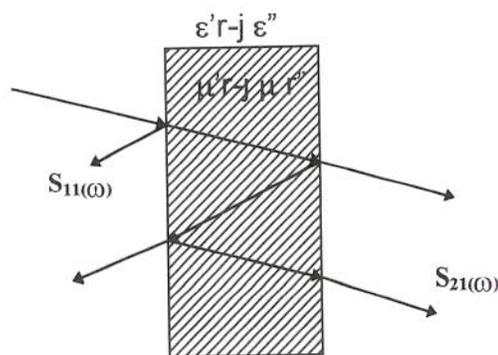


FIGURA 12 - Esquema do fluxo de energia através dos dielétricos no sistema de medidas de parâmetros  $S_{11}(\omega)$  e  $S_{21}(\omega)$ , onde o primeiro número representa a porta de saída da energia e o segundo número a porta de entrada,  $(\omega)$  representa o ângulo em relação à normal do plano.

No sistema em curto-circuito a constante de reflexão  $G$  é igual à unidade.

$$\epsilon^{-2\gamma\lambda} = [\Gamma(0)/\Gamma] \quad \therefore \quad \alpha = \frac{1}{2l} \ln\left(\frac{\Gamma}{\Gamma l}\right) \quad (52)$$

$$\epsilon^{\gamma\lambda} = \text{onda incidente}$$

$$\Gamma \epsilon^{-\gamma\lambda} = \text{intensidade da onda refletida}$$

$$Z_r = Z_0 \text{ sem reflexão}$$

$$Z_r = 0 \text{ temos} \quad G = Z_0/Z_r = -1 \quad (53)$$

Nas linhas de transmissão terminadas em curto circuito a tensão refletida tem sinal oposto ao incidente e se cancelam. Nos circuitos abertos a impedância é infinita e a constante de reflexão tem sinal unitário positivo, então as tensões incidente e refletida cancelam-se e a corrente estacionária é zero (SMIT, 1987a e 1987b; METAXAS e MEREDITH, 1988). No sistema montado para determinação das propriedades dielétricas o parâmetro  $S_{12(\omega)}$  é igual ao  $S_{21(\omega)}$  dada à perfeita geometria do sistema, ou seja, se for invertida a posição do gerador em relação ao da carga o sinal será o mesmo.

As correlações dos parâmetros  $S_{11(\omega)}$  e  $S_{21(\omega)}$ , com as constantes dielétricas podem ser explicadas pelas equações:

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1} \quad (54) \quad \text{onde:} \quad K = \frac{(S_{11(\omega)}^2 - S_{21(\omega)}^2) - 1}{2S_{11(\omega)}} \quad (55)$$

$$T = \frac{(S_{11(\omega)} + S_{21(\omega)}) - \Gamma}{1 - (S_{11(\omega)} + S_{21(\omega)})\Gamma} \quad (56)$$

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (57)$$

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{1}{\Lambda^2} + \frac{1}{\lambda_c^2}\right) \lambda_c^2}{\mu_r} \quad (58)$$

$$\text{onde: } \frac{1}{\Lambda^2} = \left[ \frac{1}{2\pi d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^2 \quad (59)$$

A emulsão cárnea é um produto não ferromagnético portanto a permeabilidade relativa do material ( $\mu_r$ ) pode ser considerada igual a unidade (HP- PN 8510-3 ; SMIT, 1987a; METAXAS e MEREDITH, 1988 )

Nos sistemas parcialmente preenchidos foi levado em conta que a admitância no centro era diferente dos sistemas totalmente preenchidos. Assim a equação que quantifica o fenômeno é dada por:

$$Y_{in} = \frac{Y' + jY_0^2 \tan(K_x^2 d/2)}{Y_0^2 + jY' \tan(K_x^2 d/2)} \quad (60)$$

onde  $Y'$  é admitância no lado esquerdo nas condições limites do dielétrico

$$\text{se } Y_m = 0 \text{ então : } Y' = jY_0^1 \tan(K_x^1 d - a/2) \quad (61)$$

onde  $Y_0^1$  e  $Y_0^2$  são admitâncias características (60) e (61) respectivamente

$$\text{se } Y_{in} = 0 \text{ então } \frac{Y_0^1 \tan(K_x^1 d - a/2)}{Y_0^2} = \tan(K_x^1 d/2) \quad (62)$$

sabe-se entretanto que:

$$(K_x^1)^2 = (2\pi/\lambda_1)^2 - (2\pi/\lambda_g)^2 \quad (63)$$

$$(K_x^2)^2 = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} (2\pi/\lambda_1)^2 - (2\pi/\lambda_g)^2 \quad (64)$$

$$\frac{Y_0^1}{Y_0^2} = \frac{K_x^1}{K_x^2} \quad (65)$$

onde  $\lambda_1$  é o comprimento de onda no plano médio (11)

A equação (62) transcendental para  $\lambda_g$  é resolvida numericamente.

Na figura 13 observa-se  $\lambda_1 / \lambda_g$  como uma função de  $a/\lambda_1$  para valores de  $d/a$  onde  $\epsilon_2/\epsilon_1 = 2,45$  GHz. Para pequenos valores  $d/a$  onde é uma grande mudança em  $\lambda_g$  entre  $d/a = 0,75$  e  $d/a = 1,0$  é muito pequena, isto porque para pequenos valores de  $d$  o dielétrico está situado onde o campo é elevado, e o efeito é muito maior comparado à adição do dielétrico onde o campo é fraco.

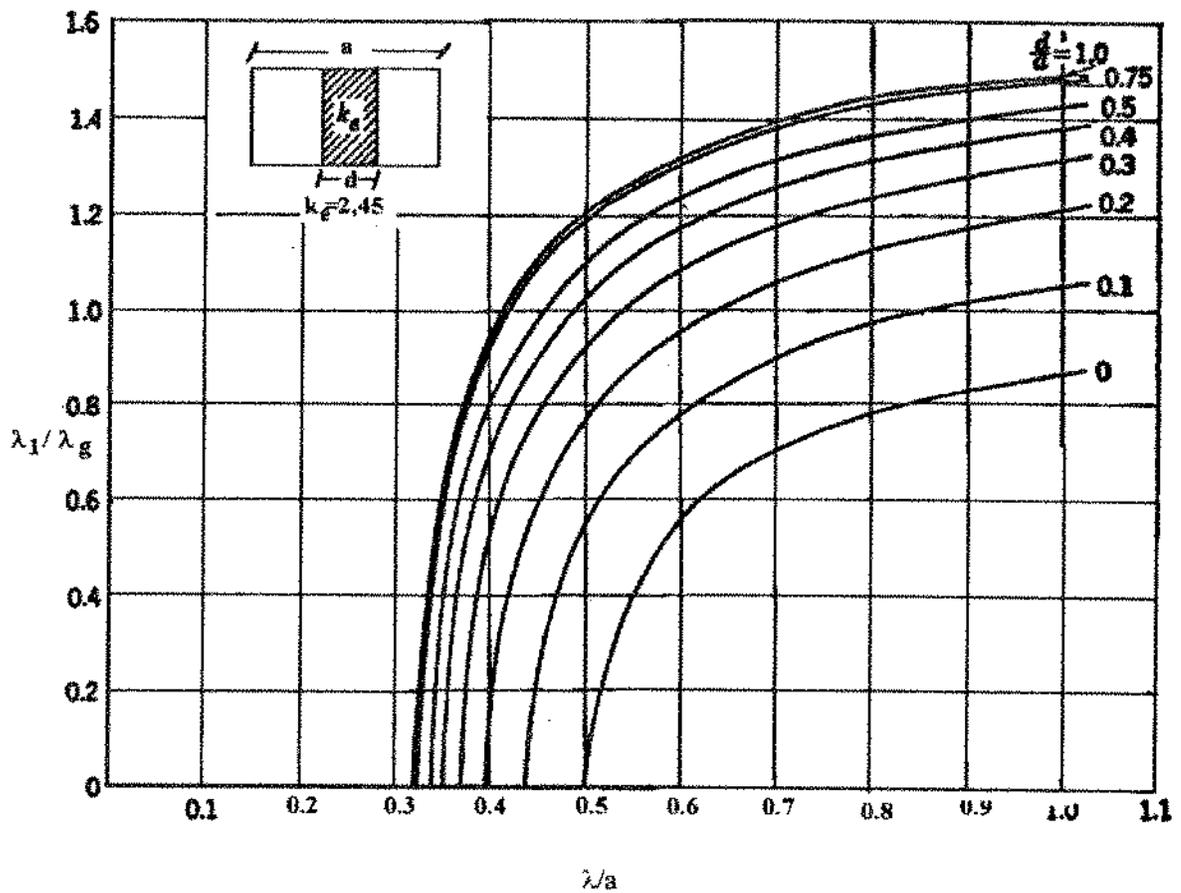


FIGURA 13 - Variações de  $\lambda_1/\lambda_g$  com  $a/\lambda_1$  para vários valores de  $d/a$ , quando  $\epsilon_2/\epsilon_1 = 2,45$  GHz - Caso de dielétrico no centro do guia.

No sistema proposto, em que o guia de onda é parcialmente preenchido por uma amostra dentro do guia de produto, a secção é circular; então,  $d$  neste caso é o diâmetro sobre o comprimento da secção retangular WG 284.

As propriedades dielétricas foram medidas com equipamento HP85047A e HP8702B, no intervalo de 2 GHz a 4 GHz, com interfaceamento HP-IB para coletor de dados informatizado, especialmente dedicado. As determinações de

permissividade dielétrica foram feitas mediante o sensoriamento de medidas dielétricas complexas de materiais com análise de circuitos de microondas no intervalo de 2 GHz a 4 GHz, com obtenção e desenho do diagrama de comportamento dielétrico da amostra na faixa de freqüência de interesse, por meio de interface compatível com os itens seguintes: computador (PC), impressora, traçador gráfico, sistema de aquisição de dados dotado de “software” específico para o processamento e impressão dos dados (Apêndice 2). Com estes dados foi possível determinar a faixa adequada de absorção de energia do campo elétrico gerado na fonte de 2,45 GHz, para atingir o ponto ideal de cozimento do produto embutido. Estes dados foram também complementados com os valores das propriedades térmicas obtidos a partir das equações proposta por CHOI e OKOS (1986), calculados com base na composição centesimal do produto fornecida pelo fabricante.

#### **4.2.3. Análise da textura das salsichas**

Amostras de salsichas produzidas na indústria foram testadas quanto a força de corte com auxílio de um texturômetro TA-TX2, equipado com uma lâmina (Warner Bratzler Blade (HDP/BS) onde foi estabelecido o seguinte esquema de procedimento com o objetivo de medir a força de corte:

Velocidade de pré-teste: 2,0 mm/s

Velocidade de teste: 2,0 mm/s

Velocidade após teste: 10 mm/s

Impulso inicial: Automático - 20 g

Velocidade de aquisição de dados: 200 pps

Este procedimento foi baseado nos trabalhos realizados pelo fabricante do equipamento (Stable Micro Systems)( Apêndice 8.3, 8.3.1 e 8.3.2).

Os resultados fornecidos pelo equipamento foram: Força do pico médio, distância até o pico e área da força total com seus respectivos coeficientes de correlação e desvio padrão.

As amostras descongeladas e conservadas em geladeira a uma temperatura de 5°C, previamente ao teste e estabilizadas à temperatura ambiente do laboratório (20°C  $\pm$  2°C), foram cortadas inicialmente ao meio transversalmente ao eixo axial, em suas extremidades e a 1/4 do comprimento total. Os resultados obtidos foram tratados matematicamente através do software "te-uk" do equipamento obtendo-se a média das leituras, coeficiente de variação e área de secção além da média das forças máximas.

O mesmo tratamento foi aplicado às salsichas processadas por microondas no LMO. Aos resultados foi aplicado o teste F para avaliação das diferenças entre as determinações efetuadas nas três posições (extremidade, meio e um quarto) das salsichas industrializadas e das medidas obtidas no processamento por microondas (Apêndice 8.3).

#### **4.2.4. Composição da matéria prima e dos produtos por métodos convencionais**

A composição centesimal das amostras de emulsão cárnea e de salsichas obtidas na indústria foram realizadas no Laboratório Central de Composição Centesimal do DEPAN/FEA/UNICAMP, utilizando-se o método de Fehling para determinação dos carboidratos, Soxhlet para as gorduras. Para a determinação de nitrogênio protéico foi utilizado o método de Micro-Kjeldhal com o uso de um digestor por microondas (Apêndice 5), e as cinzas, por incineração e pesagem, no Laboratório de Microondas do DEA/FEA/UNICAMP. Os métodos de análises empregados estavam de acordo com os descritos na AOAC, 1993 e 1997. A viscosidade da solução de metil-celulose foi determinada no Laboratório de Medidas Físicas do DEA/FEA/UNICAMP, as medidas de textura (cizalhamento) das salsichas obtidas na indústria e das produzidas no laboratório com o tratamento de microondas foram efetuadas no Laboratório Central Instrumental do DEPAN. As medidas de cor, foram realizadas no Laboratório de Instrumentação do DTA/FEA/UNICAMP.

A composição da matéria prima e das salsichas industrializadas foram determinadas a partir de métodos reconhecidos pela AOAC, os quais serviram para calibrar o espectrômetro de infravermelho próximo. A validação dos valores introduzidos no NIRS, obtidos por métodos químicos foi obtida através da re-análise das amostras com o espectrômetro. As determinações nos lotes

de matéria prima e produto posteriormente recebidos da indústria, foram efetuadas por NIRS. A composição final, após os tratamentos térmicos com microondas, foi determinada no LMO, do DEA/FEA/UNICAMP, com o uso de um espectrômetro de infravermelho próximo.

#### **4.2.5. Análise da matéria prima e produtos por espectrometria de infravermelho-próximo**

##### ***4.2.5.1. Preparo das amostras para análise no NIRS***

O preparo das amostras de emulsão cárnea foi feito através do seu descongelamento e com a manutenção da temperatura a  $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  quando colocadas na célula de amostragem com o auxílio de uma espátula, tomando-se o devido cuidado para evitar a presença de espaços ou bolhas na face posicionada para a leitura do sensor. As salsichas foram fatiadas longitudinalmente de maneira a se obter películas de aproximadamente 3 mm de espessura, as quais foram colocadas na célula de amostragem de maneira a preencher todo campo de visualização do instrumento e, para mantê-las aderentes à parede, foram comprimidas com salsichas inteiras. A cada leitura, a célula foi lavada com detergente neutro e enxaguada com água corrente, água destilada e depois seca com ar comprimido filtrado e seco.

#### **4.2.5.2. Preparação do NIR para as análises**

Inicialmente o aparelho foi ligado durante 20 minutos para o aquecimento do sistema e realização da verificação automática de funcionamento e visualização de sua configuração. Aguardou-se o tempo necessário para a detecção do nível de ruído fotométrico apresentado na tela do computador que controlava o sistema até que o valor fosse menor ou igual a 0,010 rms. Isto equivale à raiz quadrada média de 20 microunidades de absorbância na região espectral do NIR quando duas referências são utilizadas, no caso de transmitância ar versus ar, e para reflectância um padrão. A linearidade é determinada usando-se três padrões de reflectância, Halon puro, e duas misturas de Halon e carbono(preto). O primeiro reflete a zero unidades de absorbância, e os dois restantes a 0,5 e 1,0 unidades de absorbância. A verificação da linearidade foi feita com a leitura dos padrões de referência espectral para reflectância com uma placa de poliestireno e didímio inserida no aparelho obtendo-se a verificação da precisão e exatidão do comprimento de onda e a fenda de passagem. Os picos de poliestireno ocorrem a 1143, 1681, 2164, e 2303 e os de didímio a 683, 805 e 878 nm. O equipamento calcula a primeira derivada do espectro de poliestireno e determina o comprimento de onda no qual a curva resultante corta a origem dos eixos. Com este método a precisão de 0,01 nm pode ser detectada sempre que os dados sejam obtidos em intervalos de 2 nm. Os valores médios de 20 leituras para cada 4 comprimentos de onda do padrão de poliestireno

determina a exatidão e a variação da média determina a precisão. A razão entre os picos e depressões no espectro de absorção entre 2164 e 2175 nm determinam a banda de passagem. Após estes procedimentos efetuou-se a leitura da célula "on coarse" vazia para que o espectro obtido fosse utilizado como referência a ser subtraído dos espectros das amostras contidas na mesma célula. Tomadas estas medidas, a seguir foram efetuadas as leituras das amostras ( Apêndice 8.3).

#### ***4.2.5.3. Calibração do espectrômetro de infravermelho próximo***

Para a calibração do NIR foram utilizados 10 lotes de amostras de emulsão cárnea e 10 lotes de amostras de salsichas industrializadas. Estas foram preparadas com a mesma formulação de cada um dos lotes de emulsão cárnea. Todos testes foram feitos em triplicata, obtendo-se 30 determinações de cada constituinte analisado.

O instrumento de NIR determina os componentes do alimento pelas medidas de log de  $1/R$ , as quais devem estar relacionadas com a quantidade do componente que foi determinado por outro método chamado de referência ou método padrão. O estabelecimento desta relação pelo uso de um grupo de amostras de composição conhecida é chamada de calibração pelo método NIR, entretanto o uso desta relação para determinar a quantidade de um componente em uma nova amostra é chamada de determinação por NIR.

A relação entre  $\log 1/R$  e os valores do método de referência é expressa como uma aproximação, e sempre envolve de alguma forma uma equação de regressão. As equações de regressão possuem constantes de regressão (integração em Y e o coeficiente de regressão), variáveis independentes, e uma variável dependente (valor pelo método de referência). As variáveis independentes são combinações matemáticas de  $\log 1/R$  e vários comprimentos de onda. O termo de tratamento dos dados significa a utilização de qualquer processo matemático que combina os valores de  $\log 1/R$  com as variáveis independentes para serem usadas na equação de regressão. Esquemáticamente o procedimento de calibração e validação pode ser representado como no fluxograma abaixo.

#### **4.2.5.4. Método matemático aplicado ao tratamento dos dados**

Os dados obtidos da análise dos constituintes da matéria prima, pelos métodos certificados, foram introduzidos na base de dados do NIRS para geração de curvas de calibração. Através do software NSAS/IQ<sup>2</sup> procedeu-se a aplicação da 2<sup>a</sup> derivada [  $D_2 \log (1/R)_A = \log(1/R)(A) - 2 \times \log(1/R)(B) + \log(1/R)(C)$  ] que minimizou e/ou eliminou as influências da falta de homogeneidade do tamanho das partículas e sua distribuição na célula de amostragem. Também contribuiu para resolver anomalias no espectro, ou áreas do espectro, que foram causadas pela variação do tamanho das partículas, formato, densidade e outros fatores. A partir da derivação destes

dados aplicou-se o método de redução por mínimos quadrados parciais(PLS) a fim de eliminar algum ruído do experimento no NIR e/ou dados químicos (Apêndices 8.4 a 8.14).

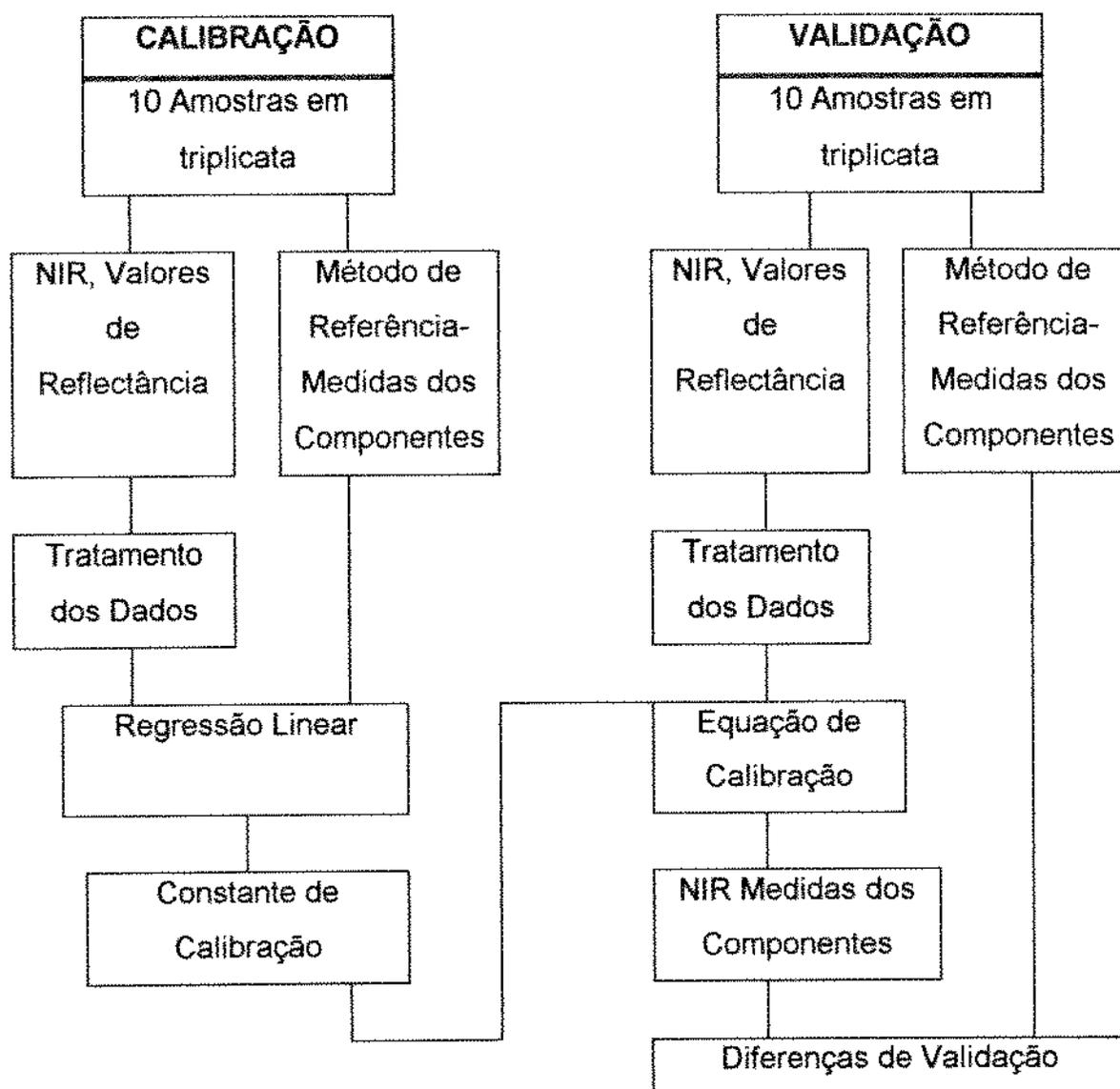


Figura 14 - Fluxograma dos processo de Calibração e Validação para NIRS

Fonte: NORRIS, 1990

A regressão envolveu aplicações de uma série de regressões simples lineares.

Estas regressões foram repetidas até se obter um grupo de dados que

apresentassem o menor resíduo e a maior correlação. Estabelecida a melhor correlação e suas respectivas constantes procedeu-se a calibração da curva para cada constituinte a ser analisado (umidade, proteína, gordura e cor). Os dados foram utilizados para a representação gráfica dos valores encontrados nas determinações analíticas pelo NIR e os dados de análise por métodos convencionais, reportados como dados de laboratório (Apêndice 4).

Os demais métodos matemáticos para tratamento dos dados neste experimento não foram utilizados em razão da falta de recomendação do uso para populações abertas ou calibrações analíticas (Regressão automática); o comprimento de onda que possui o mais alto coeficiente de correlação para um determinado comprimento de onda, selecionado pelo computador, pode não ter correlação com o constituinte pesquisado (Regressão Padrão); diminuir a resolução do espectro com a otimização da regressão (Regressão de Norris).

A validação do NIR foi feita através da re-análise das amostras utilizadas para sua calibração.

#### ***4.2.5.5. Explicação do método PLS***

Neste método os fatores de regressão são combinações lineares de comprimentos de onda estabelecidos à partir das combinações do espectro do NIR. No PCA a compilação dos dados é realizada independente da regressão de calibração. O PCA conta com a variação máxima nos dados do NIR. No PCA, a compilação dos dados e o desenvolvimento da regressão de calibração

são concorrentes, onde os fatores descrevem os tipos de variação do NIR que são importantes para modelar as variáveis dos dados químicos. Se os tipos de variações nos dados do NIRS têm a mesma importância atribuída aos dados químicos, os fatores de PCA e PLS podem ser mal interpretados como ruído, e então ignorados. O PLS irá diagnosticar corretamente estas variações. O processo de variação determina a quantidade de erros devido à variação entre os valores da população. O objeto do processo é criar uma regressão, mas também prevenir sobreposições da equação de regressão, para uma dada população. A superestimação da população produzirá uma calibração incapaz de prever resultados analíticos em amostras fora da população. O PLS diferencia-se pela escolha de comprimento de onda na qual se usa todas as informações no espectro para determinar a concentração do constituinte analisado. Isto dá uma vantagem fundamental sobre as aplicações de simples comprimento de onda. Como todo espectro é usado, cada comprimento de onda é detectado na resposta. O PLS usa todo sinal da taxa de ruído de uma varredura rápida do monocromador. Também detecta ruídos externos causados pela presença de constituintes novos ou de outros erros da estrutura. Portanto o PLS pode ter um baixo Erro Padrão de Calibração e este geralmente irá produzir um melhor Erro Padrão de Prognóstico. Resumidamente o PLS é a união da Análise do Componente Principal e a regressão linear múltipla. Como o PCA, o PLS considera as razões da maior variabilidade no espectro. Também avalia cada comprimento de onda como o

equivalente de uma regressão linear simples. Isto é, o coeficiente de correlação entre cada comprimento de onda e os dados químicos. O primeiro vetor (chamado carga) usado pelo algoritmo do PLS é resultante da multiplicação cruzada da variância espectral dos dados e o espectro de correlação. Nesta 1ª etapa a carga é usada para ajustar o espectro desalinhado através de uma aproximação da curva de ajuste de mínimos quadrados. O coeficiente da curva de ajustes (chamado de score) para cada espécie, numa série de etapas, é então correlacionado com os valores dos dados químicos. Isto resulta em um coeficiente de correlação geral e uma primeira suposição dos valores químicos. O erro residual entre o real e os valores químicos prognosticados são calculados, tanto quanto são os espectros residuais do processo de ajuste de curvas. Ambos resíduos são dissociados novamente ao início do programa. Os mesmos cálculos são realizados nos resíduos para obter a segunda carga e score. Esta etapa adicional de cargas continua até que um número de termos sejam suficientemente adicionados para justificar os dados químicos. Após o algoritmo ser concluído, é possível combinar as cargas individuais na equação de calibração. Esta equação tem exatamente a mesma forma que qualquer outra equação de predição do NIR. A única diferença é que há um termo para cada comprimento de onda. Através da estatística clássica aplicada em análise por NIR, onde o número de comprimentos de onda é reduzido, obtém-se equações genéricas. Esta lógica aplica-se às cargas mas não aos

comprimentos de onda em PLS. Uma vez que os termos do comprimento de onda dependem dos valores de outros termos, eles não são variáveis independentes, como nos cálculos normais de NIR. No PLS, cada carga é uma variável independente. Então, é melhor usar o número mínimo de cargas para obter a melhor equação para o constituinte em análise.

A tendência pode ser detectada em um processo estável através da representação gráfica dos valores de análise determinados no laboratório versus os valores do instrumento (NIR), mas são mais evidentes nas diferenças das médias versus os dados do NIR. Se o processo é estável e uma tendência é evidenciada, a equação de calibração pode ser ajustada para eliminar a fonte de erro. Existem 3 possibilidades :

1- Indica bons resultados do instrumento quando em um gráfico onde estão os dados de laboratório versus NIR, os pontos estão distribuídos ao longo da linha que passa pelo origem à 45°.

2- Indica que é necessário um ajuste na tendência quando os pontos no gráfico estão afastados apenas de um lado do eixo, indicando que os pontos estão consistentemente mais altos ou mais baixos que os dados de laboratório.

A equação de calibração aplicada é dada por:

$$\text{Desvio padrão} = \text{Desvio padrão do teste} / (\text{n}^\circ \text{ de amostras no teste de validação})^{1/2}$$

3- Não há correlação entre os dados de laboratório e os resultados do NIR, sendo necessária uma calibração. Neste caso os pontos estão distribuídos afastados ao longo do eixo de 45° no gráfico que relaciona Laboratório versus Instrumento.

O erro padrão de prognóstico (SEP) é uma medida do desempenho de uma equação de calibração em um número de amostras não contidas na etapa de calibração.

O erro padrão de calibração (EPC) é uma medida do ajuste de calibração calculada pela determinação do desvio padrão das diferenças entre o cálculo do instrumento e o valor do método de referência na etapa de calibração da amostra( Apêndices 8.4.8, 8.5.4, 8.6.4 e 8.7.4).

#### **4.2.6. Eficiência de coagulação**

A eficiência de coagulação é decorrente das alterações bioquímicas e físicas das duas emulsões (protéica e cárnea) e foi analisada através de cortes transversais no produto pós-processado e verificação da fixação por meio visual, com o auxílio de uma lupa "stereo-zoom" de marca CITOVAL2-ZEISS(JENNA) equipado com ocular de 10 x e objetiva em 6.5 x aumentos. O agente coagulante adicionado à emulsão contribui para a aceitabilidade do produto através da sua aparência final. A etapa em que adicionou-se o agente

coagulante foi definida através do estudo do melhor arranjo do sistema, como uma consequência dos efeitos que a emulsão sofreu. Outro fator que interferiu no arranjo do sistema foi a coagulação do filme protéico. A alteração da sequência do processo foi estudada para se obter o melhor resultado tanto no cozimento, quanto na fixação do filme. Sobrepondo-se a estes fatores, a densidade de potência aplicada foi calculada em Wh/kg com os dados obtidos de cada condição operacional.

#### 4.2.7. Controle microbiológico

O método adotado para a realização das análises bacteriológicas de 10 lotes de emulsão cárnea, das salsichas industrializadas e das processadas por microondas foram os preconizados pela AOAC (16th edition Chp. 17, 1997) e por VANDERZANT e SPLITTSTOESSER (1992). Os resultados foram tratados estatisticamente e representados pela média dos valores das análises em duplicata para as amostras de cada produto e matéria prima.

Paralelamente aos ensaios físicos no sistema piloto de 2,45 GHz, foi realizado o controle de microorganismos pré e pós tratamentos. Este controle foi realizado no Laboratório de Microbiologia do DCA/FEA/UNICAMP, em que foram pesquisados Enterobacteriáceas lactose-negativas, a contagem de mesófilos aeróbicos, estafilococos, salmonelas, fungos, bactérias lácticas, e *Escherichia coli*.

#### 4.2.8. Controle de variáveis:

As transformações sofridas pela emulsão, decorrentes das etapas de co-extrusão, cozimento e resfriamento, estavam sujeitas aos seguintes efeitos :

a) *Extrusão* :

- falta de homogeneidade do produto extrudado no guia de produto;
- atrito da emulsão no guia de produto;
- regularidade do recobrimento da emulsão co-extrudada com o filme protéico;

- variação da temperatura da emulsão pré extrudada;

- variação da temperatura do produto;

- deficiência de coagulação do filme protéico;

- variações de pressão na co-extrusão;

- variações de velocidade na co-extrusão;

- relação de vazões das emulsões;

- propriedades dielétricas das emulsões.

b) *Cozimento* :

- variação da temperatura;

- variação da velocidade de cozimento;

- desenvolvimento de pigmentação/coloração;

- modificações das propriedades dielétricas;

c) *Resfriamento* :

- variação da velocidade de resfriamento;
- variação da temperatura;
- modificações das propriedades dielétricas.

Após o tratamento da emulsão cárnea, já revestida com a emulsão protéica, pelo sistema contínuo de microondas, as transformações esperadas poderiam ser, entre outras, também as seguintes :

a. Provável enrugamento do filme protéico em função de suas características dielétricas diferirem daquelas da emulsão cárnea;

b. Descolamento do filme protéico sobre a emulsão cárnea em consequência da ineficiência do sistema de coagulação ou do diferencial de temperatura;

c. Espessamento do filme, com formação de crosta, em função do tempo de residência no interior do sistema de microondas;

d. Descontinuidade na deposição do filme protéico, como consequência de eventual desalinhamento da extrusora em relação ao eixo do guia tubular do produto.

Assim, entre as variáveis controladas pós processamento incluiu-se :

- a. Espessura do filme;
- b. Temperaturas alcançadas pelas emulsões;
- c. Tempo de residência do extrudado no aplicador de microondas;
- d. Velocidade de coagulação.

*Os meios utilizados para o controle destas variáveis foram :*

- a. Avaliação da secção transversal do produto com o auxílio de micrômetro;
- b. Monitoração das temperaturas com sensores de fibra óptica em medidor com 4 canais, marca Nortech, modelo NoEMI-TS Quattro, de fabricação canadense;
- c. Cronometragem da residência;
- d. Cronometragem e análise microscópica.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Composição da matéria prima emulsão cárnea

A análise da composição centesimal da matéria prima e das salsichas industrializadas revelou os seguintes percentuais de proteína, gordura, carboidratos, umidade e cinzas (Tabela 3).

TABELA 3- Composição centesimal da emulsão cárnea utilizada para a produção de salsichas a nível industrial e das salsichas processadas por microondas (determinação em triplicata de 10 amostras pelo método convencional).

Constituinte	Emulsão Cárnea			Salsichas		
	Média	$\sigma$	CV (%)	Média	$\sigma$	CV (%)
Proteína	12,62 ± 0,82		6,82	14,78 ± 0,81		5,49
Gordura	22,15 ± 1,19		5,37	18,29 ± 0,32		1,77
Carboidratos	1,99 ± 4,46		4,46	3,91 ± 0,03		0,74
Umidade	55,25 ± 1,91		3,46	57,61 ± 1,03		1,79
Cinzas	4,36 ± 0,45		10,32	3,69 ± 0,06		1,67
Soma	96,37 ± 8,83			98,28 ± 2,25		

$\sigma$  = desvio padrão

## 5.2. Resultados das medidas dielétricas

Os dados obtidos com as leituras do sistema analisador de circuitos de microondas HP 8702 B e HP 85047A foram os seguintes:

TABELA 4 - Parâmetros "S" determinados com o sistema de analisador de circuitos de microondas HP 8702 B e HP 85047.

Condição da Célula	Parâmetro "S"	Valor do Parâmetro "S"
Célula vazia	$S_{12(\omega)}$	1,1099 dB $151,77^\circ$
Célula com amostra	$S_{11(\omega)}$	-0,9544 dB $-173,24^\circ$
Célula com amostra	$S_{12(\omega)}$	-17,0551 dB $63,008^\circ$

Através do valor de  $S_{11(\omega)}$  para a célula com amostra obteve-se atenuação de 0,9544 dB que por definição de Decibel corresponde a 80,37 % de reflexão da energia emitida na porta 1 do sistema (Apêndice 2).

$$S_{11(\omega)} = 10^{-0,9544 \text{ dB} - \angle 173,24} = 0,8037 - j 0,0208$$

$$\Rightarrow |0,8037| \times 100 = 80,37\%$$

$$P_E - P_R = P_A \quad (66)$$

Se Potência Emitida - Potência Refletida = Potência Absorvida  
então:

$$P_R = 1 - 0,8037 - j0,0208 = 0,1963 + j0,0208$$

OU

$$P_R \Rightarrow |0,1963| \times 100 = 19,63\%$$

$$P_{out} / P_{in} = 10^{-17,551 \angle 63,008 - 1,1099 \angle 151,77}$$

$$\frac{P_{out}}{1 - P_R} = \frac{1}{0,1963 + j0,0208} \quad \therefore \quad \frac{P_{out}}{1 - P_R} = 0,5834 - j0,2776$$

Atenuação =  $e^{-\alpha l} = 0,5834 - j0,2776$ , aplicando-se o ln em ambos termos e multiplicando por (-1) tem-se:

$$\alpha l = 0,4368 + j0,4441$$

substituindo-se o valor de  $l = 5,53$  mm, na equação anterior

$$\text{tem-se: } \alpha = 0,0790 + j0,08031 \text{ Np/m}$$

$$\text{como: } \alpha * \lambda_g = 0,07900 + j0,08031 * 0,23156$$

$$\text{atenuação no guia de onda: } \alpha * \lambda_g = 0,3411 + j0,3468$$

Substituindo-se os valores de  $S_{11(\omega)}$  e  $S_{21(\omega)}$  nas equações 54 à 59, obtem-se:

$$1/\Lambda^2 = 0,314042 + j0,172799$$

$$K = 54,7546 - j53,6881$$

$$\Gamma = 0,00424161 - j0,00473162$$

$$T = -0,720777 - j1,51549$$

$$\epsilon_r = -1,2203 + i2,7746 \text{ ou } 3,0311 \angle 66,259$$

$$\epsilon'_r = 0,564042$$

$$\epsilon''_r = 0,1728$$

$$Tg \delta = 0,30636$$

### 5.3. Estimativa da densidade de potência a ser aplicada no sistema de processamento contínuo de salsichas por microondas

Através das equações de CHOI e OKOS (1986)) para massa específica (67), capacidade calorífica (68) e condutividade térmica (69) e os dados da composição centesimal da matéria prima (emulsão de carne - Tabela 3) obteve-se os seguintes resultados:

$$\rho \text{ ( kg/m}^3\text{)} = 1000W + 1290P + 920F + 1430C + 1740A \quad (67)$$

$$C_p \text{ (J/kgK)} = 4190W + 1780P + 1980 F + 1420C + 950A \quad (68)$$

$$K \text{ ( W/mK)} = 0,6W + 0,2P + 0,18F + 0,2C + 0,14A \quad (69)$$

$$\rho \text{ ( kg/m}^3\text{)} = 1087,26$$

$$C_p \text{ (J/kgK)} = 3229,44$$

$$K \text{ ( W/mK)} = 0,43727$$

Com a aplicação das equações de densidade de potência para o aquecimento por microondas, calor sensível (70), latente (71)) e a estimativa da eficiência do processo (BUFFLER, 1993), obteve-se os resultados da tabela 5.

$$P_s \text{ (kW)} = \frac{R(\text{kg/s}) \times C_p \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)} \times (T_f - T_i) \text{ (}^\circ\text{C)}}{\text{kJ/kWs}} \quad (70)$$

$$P_l \text{ (kW)} = \frac{\rho \times R(\text{kg/s}) \times 2257 \times \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)}}{\text{kJ/kWs}} \quad (71)$$

$$P_s + P_l = P_t$$

$$E_f \text{ (kg/kWh)} = R(\text{kg/s}) \times 3600 / P(\text{kW}) \quad (72)$$

Mantendo-se a mesma eficiência e densidade de potência estimou-se vazões diferentes. A potência de 2,42 kW e a vazão de  $2,778 \times 10^{-3}$  kg/s ou 10 kg/h estimadas na tabela 5 são equivalentes a 1,53 vezes a potência e a metade da vazão aplicadas respectivamente no teste inicial, com o gerador de bancada Alter. A comparação entre os resultados teóricos e práticos já demonstra diferenças, ou seja; para atender a vazão de 20kg/h seria necessária aplicar uma potência de 4,84 kW. Estimando-se a mesma densidade de potência 242 Wh/kg em um sistema cuja potência total seja de

400 W, a vazão calculada seria de 1,65 kg/h e o tempo de residência para o produto seria de 13 minutos e 2 segundos, bem superior ao que foi encontrado no teste ( 9' e 15 ").

TABELA 5- Estimativa da densidade de potência e eficiência do sistema de microondas para o cozimento da emulsão cárnea.

Parâmetros	Valores			
R(kg/s)	0,002778	0,001389	0,000694	0,000506
C <sub>p</sub> (kJ/kg°C)	3,047	3,047	3,047	3,047
T <sub>i</sub> °C	4	4	4	4
T <sub>f</sub> °C	68	68	68	68
Δ T °C	64	64	64	64
Perda de Peso (%)	0,300	0,300	0,300	0,300
P1 Sensível (kW)	0,542	0,271	0,135	0,099
P2 Latente (kW)	1,881	0,940	0,470	0,342
P1 + P2 (kW)	2,423	1,211	0,606	0,441
Eficiência (kg/kWh)	4,128	4,128	4,128	4,128
Densidade de potência (kWh/kg)	0,242	0,242	0,242	0,242
Tempo de residência (min/s)	1' 04" <sub>53</sub>	4' 18"	8' 36" <sub>24</sub>	11' 49" <sub>12</sub>

Entretanto, utilizando- se a vazão do ensaio de 2,31 kg/h e aplicando-se a potência de 400 W verifica-se que o tempo previsto é de 9 minutos 8 segundos e 95 centésimos, que é praticamente igual ao valor cronometrado de 9 minutos e 15 segundos. Isso confirma a exatidão dos cálculos utilizados nas estimativas porém não se prevê os efeitos sobre o produto com as diferentes

densidades de potência, ou seja, se o produto permanecesse 12 minutos com uma potência de 450 W seguramente suas condições finais seriam inadequadas. Outra situação é a constatação de que com a aplicação de 1000 W a densidade de potência de 54,05 Wh/kg e um tempo de residência de 1'46" e 73/100 causaram a formação de vapor e segmentação do produto. Esta potência é próxima da que demonstra-se na tabela 5, 1211 W com densidade de potência de 242 Wh/kg e tempo de residência de 4'18". Se aplicada os resultados possivelmente não seriam os mesmos. Assim a tabela apenas sugere alguns valores de aplicação de potência, porém de vazão e tempo de residência que não condizem com a realidade neste experimento.

#### **5.4. Ajuste do sistema e processamento de salsichas**

O sistema desenvolvido para a extrusão da emulsão cárnea inicialmente contou com um gerador de 2450 MHz e 6 kW de potência, um guia de produto de secção retangular de 1,6256m de comprimento com duas curvas de 90° tipo "H" e um guia de produto tubular em vidro de borossilicato com 0,020 m de diâmetro e 0,6223 m de comprimento. A potência nominal aplicada foi 1600 W a temperatura atingida no interior do produto foi de 72°C e o fluxo de produto no guia era de  $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . O sistema de resfriamento do produto foi construído com um tubo de metal de 0,010 m de comprimento, fechado na

extremidade e multiperfurado nas laterais, no qual o fluxo de ar era de  $3,33 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  alimentado por um linha de ar comprimido filtrado e seco. Neste ensaio preliminar conseguiu-se o casamento das impedâncias através do ajuste manual do toco tripla. A potência refletida nestas circunstâncias ficou oscilando entre 50 e 100 W. O filme de colágeno na concentração de 0,2 % com CMC a 1 % e pH final 3, se prestou para a análise do comportamento da extrusora e para o ajuste da vazão de hidrocolóide a ser aplicado através das bombas Masterflex e a salmoura que adentravam o guia de produto com uma temperatura de  $22^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ . No ensaio com a emulsão cárnea mantida a  $4^\circ\text{C}$ , a potência nominal aplicada foi de 1700 W, e o tempo de residência de 44,24s no sistema, atingindo-se um fluxo de produto de 30,24 kg/h. O tempo (42 s) era praticamente igual ao do primeiro estágio de tratamento utilizado no experimento de WATANABE e TAPE (1969), cuja potência aplicada foi superior (2000 W) em túnel de microondas. A bomba utilizada para introdução da emulsão de carne no guia de produto em co-corrente, foi uma bomba tipo MONO com moega e alimentador de rosca sem fim, cuja rotação mínima permitiu atingir este fluxo. Entretanto, as condições do produto cozido ainda não eram satisfatórias sendo necessário aumentar o tempo de residência da emulsão cárnea no tubo. Nestas condições o produto estava cozido parcialmente e com manchas de cores rosa e marron claras. As manchas rosas eram próprias do pigmento hemoglobínico ainda não oxidado da carne emulsionada, e as manchas marrons advindas da transformação do

pigmento heme em metamioglobina por ação do calor. As alternativas eram trocar o motovariador da bomba ou aumentar o comprimento do tubo de produto. Optou-se pela introdução de um novo tubo de vidro com comprimento de 1,610 m de mesmo diâmetro que o anterior e conseqüente aumento do guia de onda, o qual apresentou significativa melhora no tempo de residência do produto em cerca de 2 minutos 14 segundos e 53 centésimos. A vazão mássica de material em contra-corrente foi de 16,013 kg/h e a densidade de potência de 56,221 Wh/kg. A temperatura interna no produto era de  $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ . Através de um corte transversal verificou-se que no interior do produto, apesar de cozido, haviam manchas desuniformes e uma faixa estreita e de cor rosa clara, transversal ao sentido do campo elétrico no guia de onda. Na hipótese de que a atenuação do campo sobre o dielétrico e a distância a ser percorrida por este campo fossem fatores causadores das falhas no produto optou-se pela modificação do posicionamento em contra-corrente da admissão da matéria prima. Porém esta nova configuração do sistema não demonstrou melhoras nas condições do produto. No terceiro teste utilizou-se uma potência de 1800 W com alimentação do produto em co-corrente. A temperatura interna do produto foi de  $74\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o tempo médio de residência de 1 minuto 24 segundos e 48 centésimos. A densidade de potência foi de 70,58 Wh/kg com um fluxo de produto de 25,5 kg/h. O produto obtido nestas condições se mostrou flácido, com quebra de emulsão e perda da gordura, além de colorações desuniformes. Em certas ocasiões o produto fixava-se no

interior do tubo de vidro, retendo o material e causando projeções violentas para fora do tubo com grande formação de vapor. Embora a diferença de temperatura fosse 6 °C inferior à do ensaio realizado por WATANABE e TAPE (1969) com frequência de 27 MHz, houve igualmente geração de vapor. Em vista dos resultados obtidos optou-se por adquirir um tubo de Teflon e um gerador de microondas de bancada com potência de 1900 W, guias de ondas torcidos de 90° e de 0,305 metros de comprimento além de substituir-se o módulo de resfriamento por um bico aspersor tipo cone, com fluxo de ar de 0,28 m<sup>3</sup>/s. O novo sistema foi montado segundo várias configurações conforme seguem na tentativa de minimizar as deformações sofridas pelo produto e aumentar a homogeneidade de cor interna. A primeira delas foi a adaptação dos guias torcidos de 90° intercalados por uma seção reta de guia de onda 25 cm comprimento e na extremidade de um deles foi conectado um guia de 60,96 centímetros de comprimento antes da curva de 90° tipo H. A vazão foi acertada para 20 kg/h a potência nominal aplicada foi de 1600 W, entretanto a potência refletida oscilou entre 70 a 100 W. O produto nestas condições ainda apresentou coloração clara na parte inferior. Inverteu-se a posição do guia de onda desta vez colocando-se a seção maior entre os dois guias de onda torcidos de 90°. O resultado foi um produto com manchas idênticas ao anterior porém na seção transversal à periferia mostrava coloração rósea e o centro amarelado sugerindo a repetição dos problemas encontrados por DUNN et alii, (1972) quando utilizou guias de ondas com

barramentos ("strip lines") para modificar o comportamento do campo elétrico em um guia WG 340 no cozimento de salsichas com "casings". A temperatura interior do produto foi de  $65 \pm 3^\circ\text{C}$ . Quando o produto ficou retido no interior da tubulação de vidro houve geração de vapor e alteração na potência refletida de 100W além do rompimento do produto. A vazão mássica do produto nestas circunstâncias era de 21,8 kg/h e mesmo diminuindo-se para 18,5 kg/h o problema da segmentação continuava. Outra configuração tentada foi a união dos guias de onda torcidos seguidos das secções retangulares de 0,305 m e de 0,6096 m com a aplicação da potência nominal de 1000 W e mantendo-se a mesma vazão. Os resultados obtidos não foram satisfatórios. A diminuição da vazão mássica era necessária além da diminuição do comprimento da tubulação, visto que o atrito do produto cozido no interior do tubo dificultava a saída contínua do material. A redução do tubo de teflon para 1,150 m com diâmetro de 0,020 m proporcionou um volume de 0,36128 l ou equivalente a 0,35850 kg de material na seção. Nesta etapa de teste foram previstos a aplicação de potências desde 550 W com reduções de 50 W até atingir-se um produto aceitável, visto que os cálculos teóricos previstos para estas circunstâncias não condiziam com a realidade do sistema. A vazão foi diminuída para 4,696 kg/h e a potência nominal aplicada foi de 550 W tendo-se uma potência refletida de 50 W, a densidade de potência de 117,12 Wh/kg, e um tempo de residência de 4,58 minutos. A eficiência calculada para esta potência e fluxo foi de 9,39 kg/kWh. O fluxo de filme protético foi mantido

constante a  $5 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  e o de solução de cloreto de sódio saturada a  $1,12 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . O fluxo de ar era de  $3,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . A temperatura no interior do produto chegou a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  e no aspecto geral começou a apresentar-se uniformemente cozido, sem manchas e formação de crostas, porém a superfície era de aspecto irregular, com falhas e orifícios. Na sua seção interna o produto possuía grandes porosidades. O desenvolvimento de cor se dava paulatinamente ao resfriamento. O filme de colágeno e metilcelulose não se fixavam completamente na superfície do produto resultante da quebra da emulsão. A diminuição da potência nominal aplicada para 500W atingindo-se a densidade de potência de 106,47 Wh/kg mostrou resultados idênticos ao anterior. Entretanto a eficiência ficou em 9,39 kg/kWh. Reduziu-se a potência para 450 W e a densidade de potência ficou em 95,82 Wh/kg com melhoria da aparência do produto tanto externa como interna, porém permaneciam ainda as rupturas ou segmentação, embora o valor da eficiência fosse de 5,22 kg/kWh. A potência foi reduzida a 400 W, a potência refletida oscilava entre 50 e 100 W a densidade de potência de 85,17 Wh/kg e tempo de residência de 4 minutos e 34 segundos, consignou ao produto um cozimento satisfatório, sem manchas aparentes imediatamente após o resfriamento e com desenvolvimento de cor característicos. Nesta condição a eficiência do sistema foi de 11,74 kg/kWh. O produto mostrou-se melhor ainda com a diminuição da vazão do filme de proteína e metilcelulose a  $1,33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ . e concomitante redução da solução de cloreto de sódio a  $1,67 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$  e vazão de emulsão

cárnea para 2,351 kg/h com um tempo de residência do produto em 9,15 minutos e uma eficiência de de 5,88kg/kWh (Figura 15).

O aquecimento por microondas é geralmente uniforme sobre toda espessura do produto se este não excede cerca de 1 a 1,5 vezes a profundidade de penetração que é cerca de 3 cm para a carne a 2,45 GHz (THUÉRY , 1992). Entretanto este limite é maior para BUFFLER (1993), que atesta ser o valor ideal de cerca de 2 a 2,5 vezes aquele da profundidade de

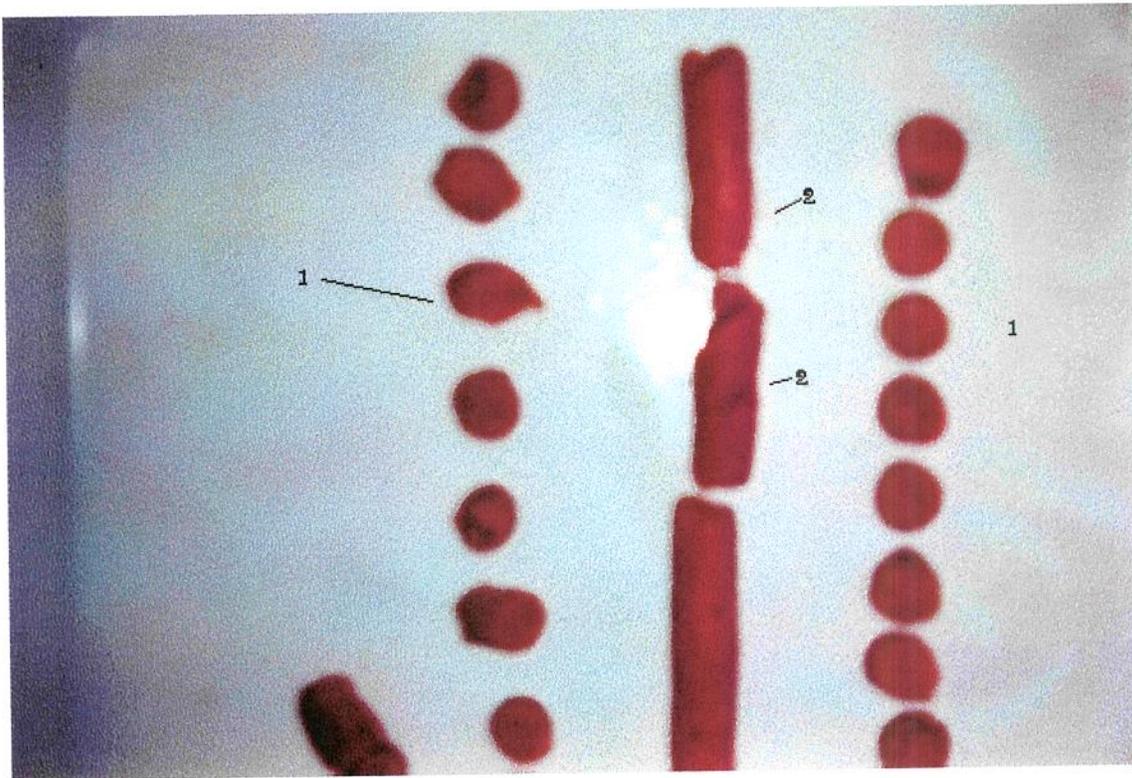


FIGURA 15- Amostras de salsichas processadas por microondas apresentando irregularidades de formato (1) e segmentação do produto (2).

penetração. Estes parâmetros são significativos para explicar o fenômeno de focalização em alimentos de geometria esférica ou cilíndrica; caso das

salsichas, em que ocorre o inchamento, formação de bolhas e segmentação ou explosão do produto. Isto se deve ao superaquecimento no centro do produto. Se a energia de microondas entra radialmente no alimento e a reflexão é desprezada no limite interno, esta pode ser calculada a partir da potência dissipada, em camadas concêntricas porque a energia propaga-se em direção ao centro. Se a profundidade de penetração é pequena em relação ao diâmetro do alimento, a energia absorvida na superfície e o centro permanecem frios. Para profundidades de penetração intermediárias, a energia não é completamente absorvida na camada mais externa e uma quantidade razoável atinge o centro, ficando concentrada nesta região ou focalizadas no centro (OHLSSON e RISMAN, 1978).

O aquecimento no centro de formas geométricas cilíndricas ou esféricas é resultante da potência incidente e refletida em direção à normal nos produtos com profundidade de penetração relativamente grande. O volume de contorno diminui mais e rapidamente como uma função da profundidade, desde a superfície, em diferentes potências de absorção. Estes efeitos são dependentes da frequência, tamanho e condutividade do produto, além da relação tempo-temperatura. Cilindros de grande diâmetro com baixa condutividade apresentam efeitos de aquecimento central, mas não os de condutividade intermediária. Já os cilindros de pequeno diâmetro e de baixa condutividade apresentam efeitos de aquecimento com elevada temperatura no centro em maior grau que os cilindros de condutividade intermediária. O

efeito de aquecimento central não foi observado em cilindros de pequeno diâmetro ou grande diâmetro e de alta condutividade mas, temperaturas elevadas no centro foram detectadas em esferas de similar diâmetro e contendo sais, indicando que os efeitos de focalização são mais pronunciados em esferas do que em cilindros de tamanho e condutividade comparáveis (DECAREAU 1985). Este fenômeno está relacionado com o cozimento de salsichas por microondas no guia de produto de Teflon, onde um diâmetro de 0,022 m e a composição do produto contendo elevados teores de sais além da polaridade das proteínas de carne que vem colaborar neste sentido. A condutividade determinada experimentalmente para o produto é muito próxima do valor estimado pela equação de CHOI e OKOS (1986) cujo valor enquadra o produto na categoria de cilindro de pouco diâmetro e de elevada condutividade.

Outro efeito a ser considerado no cozimento é o aquecimento diferencial que está envolvido com o conceito de impedância, reflexão e transmissão da fase intrínseca, nos limites da fase interna, nos limites da superfície do produto, na cavidade e sujeita-se a atenuação de fase. Em alimentos congelados a energia gerada pelo campo é transmitida com pequena atenuação através da fase contínua de sólidos e gelo. A energia transmitida da fase interna limite é altamente atenuada pelos bolsões de salmoura descongelada, causando então aquecimento mais rápido à medida que sua atenuação aumenta com a temperatura devido à condutividade iônica. Em

constraste com as fases sólidas de baixa condutividade, suspensas em uma fase contínua de alta condutividade, poderão absorver pouca energia, uma vez que a energia oriunda do campo é altamente atenuada pela fase contínua e a energia que atinge a fase limite interna deverá ser refletida por causa dos desvios de impedância resultante da diferença de condutividade das fases DECAREAU (1985). Por exemplo, um glóbulo de gordura envolto por proteína de carne (miofibrilas) formando o filme de revestimento que estabiliza o sistema de emulsão cárnea (OLIVEIRA E TERRA, 1994) onde repetem-se os efeitos anteriormente discutidos.

TABELA 6- Configurações dos sistemas de microondas e resultados obtidos no processamento de salsichas

Teste	Potência Nominal (W)	Vazão kg/h	Densidade de Potência Wh/kg	Eficiência kg/Wh	Tempo de Residência min/s	Comentários
1	1600	30,00	53,33	18,7	1'24"	Sistema piloto de 6kW. Teste com água para casamento das impedâncias e ajuste das vazões de emulsão de colágeno e salmoura e verificação do funcionamento do sistema.
2	1700	30,24	56,22	17,78	0'44"25/100	Sistema piloto de 6kW. Teste com emulsão carne para reproduzir os parâmetros usados por WATANABE(1969)(42 s, p> 2000W).Produto com manchas róseas, parcialmente cozido
3	1700	13,01	106,16	7,65	2'14"53/100	Sistema piloto de 6kW. Produto cozido com manchas irregulares e uma faixa transversal no sentido do campo elétrico no guia de onda. Posicionamento em contra-corrente na alimentação do sistema não apresentou melhoras nas condições do produto.
4	1800	25,50	70,58	14,16	1'24"48/100	Sistema piloto de 6kW. Produto flácido, quebra da emulsão, perda de gordura, coloração desuniforme, fixação do produto no interior do tubo de vidro, projeções violentas, formação de vapor. Temperatura inferior a 6°C ao experimento de WATANABE(1986) com 27MHz.

TABELA 6- Configurações dos sistemas de microondas e resultados obtidos no processamento de saisichas (continuação)

Teste	Potência Nominal (W)	Vazão kg/h	Densidade de Potência Wh/kg	Eficiência kg/Wh	Tempo de Residência min/s	Comentários
5	1600	20,00	80,0	12,50	1'38"73/100	Gerador de bancada 1900 W, tubo de Teflon, 2 guias de onda torcidos 90° e de 0,3048 m, resfriamento com bico aspersor tipo cone, vazão do ar 2,8 x 10-2 m³/s, Pr 70-100W. Seção reta de 0,25 m entre os guias torcidos e após este, uma seção de 0,6096 m. Produto de coloração rosa clara na parte inferior.
6	1600	21,80	73,39	13,63	1'30"57/100	Gerador de bancada 1900 W. Seção reta de 0,25 m e 0,6096 m entre os guias torcidos. Temperatura do produto 68 °C. Pr70 a 100 W. Manchas idênticas à anterior, seção transversal com coloração rósea na periferia e amarelada no centro. Problemas iguais aos encontrados por DUNN et alii (1972) usando guia WG 340 com "strip lines" em saisichas com "casings".
7	1600	18,50	86,48	11,56	1'46"73/100	Gerador de bancada 1900 W. Configuração igual anterior, diminuição da vazão. Produto com segmentação.

TABELA 6- Configurações dos sistemas de microondas e resultados obtidos no processamento de salsichas (continuação)

Teste	Potência Nominal (W)	Vazão kg/h	Densidade de Potência Wh/kg	Eficiência kg/Wh	Tempo de Residência min/s	Comentários
8	1000	18,50	54,05	18,50	1'46"73/100	Gerador de bancada 1900 W. Guias torcidos e secção reta de 0,25 e 0,6096 m. Resultados insatisfatórios.
9	550	4,696	117,12	8,54	4'58"	Gerador de bancada 1900 W. Diminuição do comprimento do tubo de Teflon para 1,150 m. Guias de 90° intercalados por secção reta de 0,25 m. Produto uniformemente cozido (sem manchas), formação de orifícios. Secção interna com grande porosidade. Fixação incompleta do filme de colágeno na superfície do produto, quebra da emulsão após cozimento.
10	500	4,696	106,47	9,39	4'36"	Gerador de bancada 1900 W. Resultados idênticos ao anterior
11	450	4,696	95,82	10,44	4'34"	Gerador de bancada 1900 W. Melhoria na aparência do produto interna e externamente. Produto com rupturas e segmentação.
12	400	4,696	85,17	11,74	4'34"	Gerador de bancada 1900 W. Cozimento satisfatório, sem manchas aparentes imediatamente após o resfriamento. Desenvolvimento de cor características.
13	400	2,351	170,14	5,88	9'15"	Gerador de bancada 1900 W. Produto com melhor aparência, com pouca porosidade e coloração adequada.

### 5.5. Análise da textura dos produtos

Os produtos industrializados analisados no Texturômetro TAX-T2 e cortados a um quarto de seu comprimento apresentaram força total ( $N/m^2$ ) muito próximo aos do corte realizado nas extremidades. A força máxima (N) aplicada pelo equipamento no sistema teve maior variação naqueles nos quais os cortes foram feitos no meio (Figuras 16, 17, 18). Em virtude desta variação foram estipuladas as determinações do corte central para serem comparadas aos produtos processados por microondas. A análise estatística da variâncias (ANOVA) realizada com os dados de cada parâmetro determinado entre os tipos de corte feitos nas salsichas industrializadas e nas processadas por microondas apresentou os resultados demonstrados na tabela 7. Os valores de F crítico (3,1588) para a força máxima e força total sobre área (3,1316) entre os cortes realizados nas extremidades, no centro e à um quarto nas amostras de salsichas industrializadas, foram menores que os valores de F calculados (46,7695 e 31,1960 respectivamente), logo não há diferenças significativas ao nível de 5 % entre estes parâmetros. Também não há diferenças significativas no mesmo nível, entre os valores de distância e força total sobre área encontrados no corte de salsichas processadas por microondas, onde o F crítico foi 3,3690 igual para ambas determinações e os valores de F calculados foram 8,2591 e 4,5846 respectivamente (Tabela 7 e 8). Entretanto foram observadas diferenças significativas a nível de 5 % nas medidas de distância até o ponto de força máxima nos cortes das amostras de

salsichas industrializadas e com relação ao parâmetro de força máxima aplicada no corte de salsichas processadas por microondas onde os valores de F crítico (3,1337 e 3,3690) foram maiores que os valores de F calculados (1,0796 e 1,2571)(Tabelas 7 e 8).

TABELA 7a - Análise de variância dos dados de força máxima (N) na textura de salsichas industrializadas

Resumo					Anova: Fator Simples	
<b>Grupos</b>	<b>n</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
Central	18	239,811	13,32283	1,8527		
Extremidades	22	399,619	18,1645	3,20497		
Quartil	20	346,71	17,3355	3,022137		

ANOVA						
<b>Fonte de Variação</b>	<b>SS</b>	<b>GL</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P-value</b>	<b>F crit</b>
Entre grupos	256,3642	2	128,1821	46,76954	9,54E-13	3,158846
Nos grupos	156,2209	57	2,740717			
Total	412,5851	59				

TABELA 7b - Análise de variância dos dados de distância (mm) até o ponto de força máxima na textura de salsichas industrializadas

RESUMO					Anova: Fator Simples	
<b>Grupos</b>	<b>n</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
Central	22	237,346	10,78845	0,57688		
Extremidades	25	261,676	10,46704	0,46994		
Quartil	23	244,89	10,64739	0,66124		

ANOVA						
<b>Fonte de Variação</b>	<b>SS</b>	<b>GL</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P-value</b>	<b>F crit</b>
Entre grupos	1,22272	2	0,61136	1,07961	0,34556	3,13376
Nos grupos	37,9405	67	0,56627			
Total	39,1632	69				

TABELA 7c - Análise de variância dos dados de força total sobre área  
(N/m<sup>2</sup>) na textura de salsichas industrializadas

RESUMO		Anova: Fator Simples		
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Central	21	2026,273	96,48919	93,67584
Extremidades	25	3034,756	121,3902	139,9974
Quartil	25	2847,657	113,9063	114,4046

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	7321,128	2	3660,564	31,19604	2,44E-10	3,131674
Nos grupos	7979,164	68	117,3407			
Total	15300,29	70				

SS = Soma dos quadrados

F= F Calculado

MS = Quadrado médio

P-value = Valor da probabilidade

GL = Graus de liberdade

Fcrit = F crítico

Nível de significância = 5%

TABELA 8a- Análise de variância dos dados de força máxima (N) na textura de  
salsichas processadas por microondas

RESUMO		Anova: Fator Simples		
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
400 W 1	10	284,269	28,4269	8,702788
450 W	10	307,992	30,7992	25,12653
400 W 2	9	274,953	30,55033	5,363216

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre Grupos	33,5918	2	16,7959	1,257143	0,30119	3,36901
Nos Grupos	347,3696	26	13,36037			
Total	380,9614	28				

TABELA 8b- Análise de variância dos dados de distância (mm) até o ponto de força máxima na textura de salsichas processadas por microondas

RESUMO		Anova: Fator Simples			
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
400 W 1	10	134,941	13,4941	3,316261	
450 W	10	204,728	20,4728	55,02657	
400 W 2	9	220,82	24,53556	51,92722	

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre Grupos	597,5173	2	298,7586	8,259115	0,001672	3,36901
Nos Grupos	940,5032	26	36,1732			
Total	1538,02	28				

TABELA 8c- Análise de variância dos dados de força total sobre área (N/m<sup>2</sup>) na textura de salsichas processadas por microondas

RESUMO		Anova: Fator Simples			
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
400 W 1	10	3124,749	312,4749	941,7751	
450 W	10	3685,132	368,5132	3922,82	
400 W 2	9	3183,727	353,7474	479,0098	

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre Grupos	16791,71	2	8395,856	4,584678	0,019702	3,36901
Nos Grupos	47613,43	26	1831,286			
Total	64405,15	28				

SS = Soma dos quadrados

F = F Calculado

MS = Quadrado Médio

P-value = Valor da probabilidade

GL = Graus de liberdade

F crit = F crítico

Nível de significância = 5 %

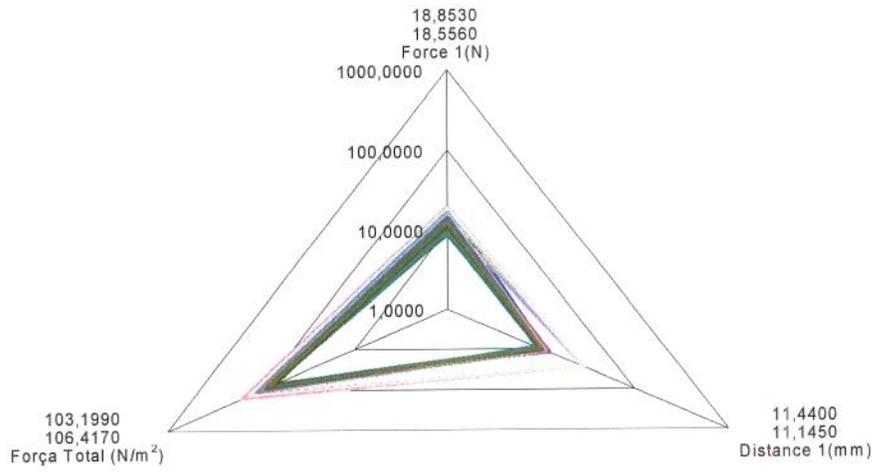


FIGURA 16 - Textura de salsichas industrializadas -corte central

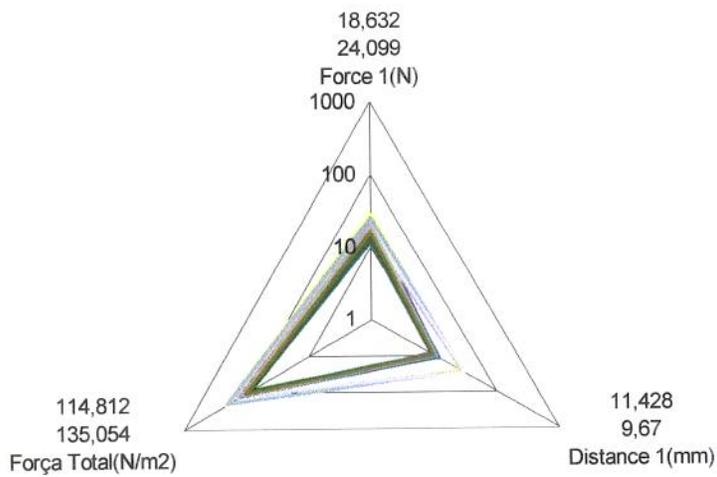


FIGURA 17 - Textura de salsichas industrializadas- corte nas extremidades

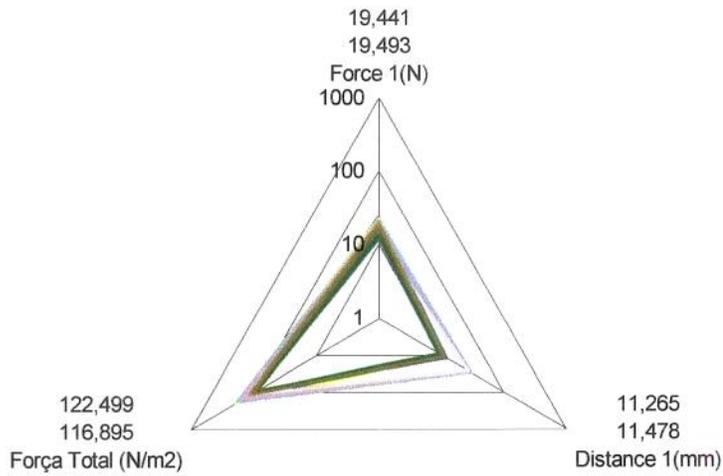


FIGURA 18- Textura de salsichas industrializadas (corte a um quarto)

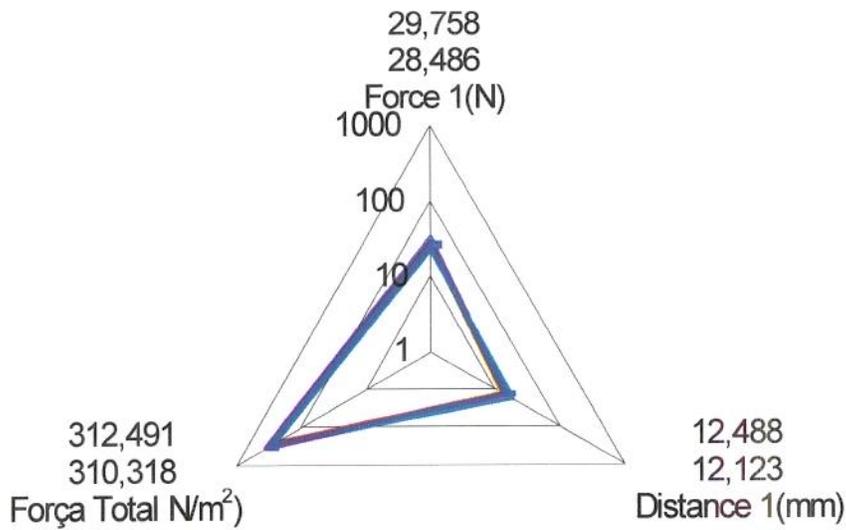


FIGURA 19- Textura de salsichas processadas por microondas à 400 w.

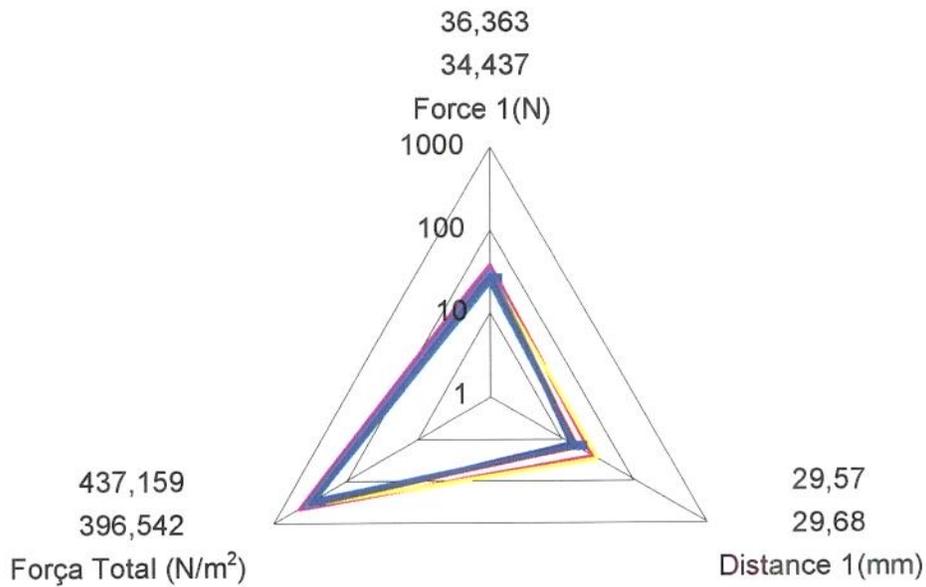


FIGURA 20- Textura de salsichas processadas por microondas à 450 W

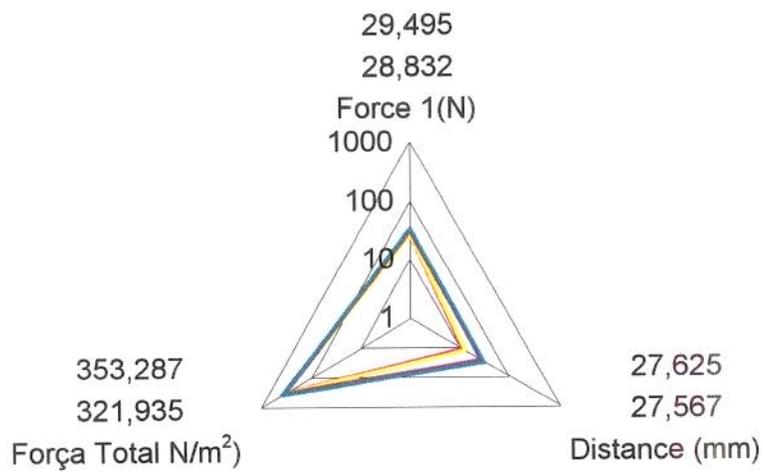


FIGURA 21- Textura de salsichas processadas por microondas à 500 W

### 5.6. Análise da cor dos produtos

Os produtos industrializados analisados apresentaram os parâmetros médios para  $\underline{L}$ ,  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  conforme Tabela 9.

TABELA 9 - Parâmetros de cor  $\underline{L}$ ,  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  de salsichas industrializadas (10 amostras em triplicata)

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	CV (%)
$\underline{L}$	44,74	1,26	2,82
$\underline{a}$	15,01	0,92	6,15
$\underline{b}$	9,17	0,77	8,42

TABELA 10 - Parâmetros de cor  $\underline{L}$ ,  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  de salsichas processadas por microondas (10 amostras em triplicata)

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	CV (%)
$\underline{L}$	52,97	1,45	2,73
$\underline{a}$	17,50	1,60	9,14
$\underline{b}$	12,97	1,16	8,94

Através dos dados obtidos nas determinações dos parâmetros de cor  $\underline{L}$ ,  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  observa-se que as amostras processadas por microondas apresentaram um valor de  $\underline{L}$  maior que as salsichas industrializadas por processo convencional isto significa uma tendência ao branco na escala de cor ou que que essas eram mais claras (Tabelas 9 e 10). Os valores de  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  também

foram maiores para as salsichas processadas por microondas evidenciando uma tendência maior ao vermelho e ao amarelo respectivamente em relação as amostras produzidas pelo processo convencional (Tabelas 9 e 10). As médias das diferenças totais de cor, que refere-se a intensidade da cor e a cromaticidade que especifica a matiz de cor segundo um padrão estipulado como aceitável, neste caso o padrão foi a cor das salsichas industrializadas pelo processo convencional são demonstrados na Tabela 11.

TABELA 11- Valor médio das diferenças total de cor ( $\Delta E$ ) e de cromaticidade ( $\Delta C$ ) entre as amostras de salsichas industrializadas e as processadas por microondas.

Parâmetro	Valor	Desvio Padrão	CV(%)
( $\Delta E$ )	9,40	0,28	3,03
( $\Delta C$ )	4,54	0,13	3,03

As leituras dos parâmetros de cor  $L$ ,  $a$  e  $b$  efetuadas nos produtos industrializados e comparadas com as determinações em salsichas processadas por microondas apresentaram diferenças significativas a nível de 5 %. Isto demonstra que o efeito do cozimento no desenvolvimento de cor de salsichas processadas por microondas foi diferente ao do processo convencional para salsichas industrializadas (Tabela 12).

TABELA 12a- Análise estatística dos dados de  $\underline{L}$  dos produtos processados por microondas e dos industrializados

RESUMO		Anova: Fator simples			
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
L1	14	732,672	52,33371	0,585402	
L2	14	624,975	44,64107	0,746701	

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>n</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	414,2373	1	414,2373	621,9298	1,1E-19	4,2252
Nos grupos	17,31734	26	0,666052			
Total	431,5546	27				

TABELA 12b- Análise estatística dos dados de  $\underline{a}$  dos produtos processados por microondas e dos industrializados

RESUMO		Anova: Fator simples		
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
a1	14	250,603	17,90021	0,19365
a2	14	212,0425	15,14589	0,286119

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	53,10401	1	53,10401	221,3731	3,12E-14	4,2252
Nos grupos	6,236999	26	0,239885			
Total	59,34101	27				

TABELA 12c- Análise estatística dos dados de  $\bar{b}$  dos produtos processados por microondas e dos industrializados

RESUMO		Anova: Fator simples		
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
b1	14	174,964	12,49743	1,510783
b2	14	127,915	9,136786	0,437968

ANOVA						
<i>Fonte de Variação</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	79,05744	1	79,05744	81,13654	1,78E-09	4,2252
Nos grupos	25,33376	26	0,974375			
Total	104,3912	27				

### 5.7. Análise microbiológica da matéria prima dos produtos

A análise dos resultados microbiológicos demonstraram uma grande carga microbiológica na emulsão cárnea e a considerável redução destes microorganismos por ação do tratamento por microondas no processamento das salsichas, entretanto o produto industrializado por métodos convencionais de aquecimento para o cozimento apresentou uma flora bacteriana semelhante ao produto processado por microondas. Houve diferenças nas contagens de microorganismos nos tratamentos por microondas a 400 W e 500 W (tabelas 13 e 14 e 15).

TABELA 13- Resultados dos ensaios de microbiologia para emulsão de carne  
(média de 10 amostras em duplicata)

Microrganismo Pesquisado	Contagem	
Contagem total	$1,16 \times 10^5$	UFC/g
Coliformes totais	20	MNP/g
Coliformes fecais	<3	MNP/g
Staphilococcus aureus	$1,06 \times 10^3$	UFC/g
Salmonella	Ausente em 25 g	
Bactérias lácticas	$2,76 \times 10^4$	UFC/g
Fungos e Leveduras	28	UFC/g

TABELA 14- Resultados dos ensaios de microbiologia para salsichas  
industrializadas (média de 10 amostras em duplicata)

Microrganismo Pesquisado	Contagem	
Contagem total	$1,49 \times 10^2$	UFC/g
Coliformes totais	<3	MNP/g
Coliformes fecais	<3	MNP/g
Staphilococcus aureus	<10	UFC/g
Salmonella	Ausente em 25 g	
Bactérias lácticas	$7,46 \times 10^1$	UFC/g
Fungos e Leveduras	<10	UFC/g

TABELA 15- Resultados dos ensaios de microbiologia para salsichas processadas por microondas a 400W e 500W (média de duplicatas)

Microrganismo Pesquisado	Contagem			
	400 W		500 W	
Contagem total	2 x 10 <sup>2</sup>	UFC/g	1,45 x 10 <sup>2</sup>	UFC/g
Coliformes totais	< 3	MNP/g	9	MNP/g
Coliformes fecais	< 3	MNP/g	< 3	MNP/g
<i>Staphilococcus aureus</i>	<10	UFC/g	<1,5 x 10 <sup>1</sup>	UFC/g
<i>Salmonella</i>	Ausente em 25 g		Ausente em 25 g	
Bactérias lácticas	2,2 x 10 <sup>2</sup>	UFC/g	1,38 x 10 <sup>3</sup>	UFC/g
Fungos e Leveduras	< 10	UFC/g	<10	UFC/g

A flora láctica é predominante em produtos contendo elevados teores de proteína, carboidratos, gordura e sais minerais além do pH adequado para o seu desenvolvimento (FREY, 1983 ; PRICE e SCHWEIGERT, 1971). Já a presença de *Staphilococcus aureus* na matéria prima revela a manipulação higiênica inadequada.

A redução da carga microbiana no produto processado por microondas se deve à umidade do produto e à forma do aplicador de energia (HEDDLESON et alii, 1994; SHLEGEL, 1992 e HOLLYWOOD et alii, 1991). Entretanto a diferença entre a carga microbiana nos tratamentos por microondas a 400W e 500 W se deve particularmente as diferenças dos tempos de residência do produto que foram 4,34 minutos e 9,15 minutos

respectivamente, além das densidades de potência de 106,47 Wh/kg e 85,17 Wh/kg cujas eficiências dos procedimentos resultaram nos valores de 9,03 kg/kWh e 5,88 kg/kWh. O tempo necessário em geral para a fase de aquecimento do ciclo de esterilização suceder é em torno de 8 a 12 minutos (HARFINGER,1992) superior aos 3 a 5 minutos que SHLEGEL (1992) encontrou no seu experimento. No processamento de salsichas por microondas, apenas o tempo de residência do produto tratado a 400 W, enquadra-se na faixa genérica estabelecida por HARFINGER (1992). VELA E WU (1979) conseguiram a inativação de um meio contendo cepa de E. coli e fungos com a aplicação de microondas na mesma frequência que foi utilizada neste trabalho 2,45 GHz e potência aplicada de 1kW. A contagem total de microorganismos em alimentos contendo carnes, carboidratos e temperos ou molhos antes e após tratamento por microondas, através de sistemas convencionais, pode ser praticamente a mesma ou diferenciar-se significativamente dependendo da formulação destes alimentos. Produtos contendo carne em sua formulação são menos suscetíveis aos efeitos térmicos da aplicação de microondas que os alimentos contendo carboidratos em grande concentração (HOLLYWOOD 1991). Nas salsichas processadas por microondas cujo teor de carne e carboidratos é considerável observa-se a resistência das bactéria lácticas aos efeitos do tratamento térmico. Embora a cavidade de aplicação tenha sido o próprio guia de onda os efeitos de deleção sobre os microorganismos foram praticamente os mesmos que os obtidos no

processamento convencional de salsichas industrializadas. Esta resistência de bactérias lácticas foi semelhante ao que se observa nos resultados encontrados por HOLLYWOOD (1991) utilizando um forno de microondas doméstico no preparo de vários alimentos. O percentual de umidade tanto na emulsão, quanto no produto final, contribuiu para o efeito térmico das microondas e conseqüentemente a redução dos microorganismos, pois na sua ausência, ou em baixos teores de umidade não ocorre a morte dos microorganismos (VELA e WU, 1979; GOLDBLITH e WANG, 1967; HEDDLESON et alii, 1994).

### **5.8. Avaliação econômica do processo**

Tomando-se por modelo o protótipo desenvolvido no laboratório (LMO-UNICAMP), cujo gerador de microondas apresenta uma eficiência de 45,45 %, segundo dados do fabricante ALTER, a potência real consumida pelo equipamento no último teste realizado com a aplicação de 400 W sobre o produto é na realidade 1,4545 a mais ou seja 581,80 W. A vazão determinada nesta etapa foi de 2,35 kg/h logo, a eficiência do processo foi de 4,039 kg/kWh. Com bases em que o kWh médio em agosto de 1997 custa R\$ 0,09, os custos de produção seriam 0,36369 por kg de salsichas. Para a produção de 100 kg de produto tipo frankfurt seriam necessários 24,746 kWh pois 4,041

kg consomem 1 kWh com o custo energético total de R\$ 2,23. Comparando ao processo convencional ilustrado na tabela 1, a etapa de embutimento, cocção e defumação consomem 62 kWh ou seja 2,505 vezes mais que o consumo previsto no protótipo do LMO. Além disto o gasto de energia corresponde à 18,98 % do total do processo convencional. A comparação ainda que apenas para efeito de estimativa de custos revela o potencial na redução de custos de processamento com a implementação da tecnologia de microondas na indústria de carnes.

### **5.9. Ampliação de escala do processo**

A ampliação de escala poderá ser estudada após um avanço do estágio atual alcançado no desenvolvimento do projeto. A otimização, ainda requerida, depende de modificações na etapa que precede o cozimento. Além disso, um fator importante que deverá ser desenvolvido no processo será o aumento do volume de produção a fim garantir maior rendimento e manter a qualidade do produto superior à do processo convencional.

## 6. CONCLUSÕES

O estudo aqui apresentado englobou o desenvolvimento e a utilização de uma tecnologia não convencional a ser aplicada em pontos críticos ("peeling" e cozimento) de uma linha de processamento tradicional da indústria de embutidos cárneos. Os resultados obtidos com o experimento permitiram chegar as seguintes conclusões:

O desenho e dimensões reduzidas da câmara de aplicação da solução coagulante foi um dos fatores que causou o aumento de pressão radial no eixo de extrusão da emulsão cárnea fazendo aparecer olhaduras na periferia da massa, formação de bolhas e bolsões de líquidos que por ação das microondas facilitaram a formação de defeitos de segmentação do produto.

O sentido de rotação da extrusora juntamente com vazão de produto, também proporcionou a torsão e o cisalhamento da emulsão de carne.

O tipo de bomba e alimentador empregados propiciaram a aeração do produto, pela ausência de um sistema à vácuo.

A vaporização da solução coagulante (NaCl) contribuiu no aumento da pressão dentro do tubo de produto bem como a concentração de sal da solução aumentou a constante dielétrica da emulsão de colágeno e emulsão cárnea, concentrando a potência de microondas na periferia do produto, causando sinérese e facilitando o rompimento do produto.

Os guias de onda torcidos de 90°, montados em sequência, que substituíram os guias de onda retos aumentaram a qualidade do cozimento do produto e eliminaram a necessidade de uso de guias de ondas com "strips" internos utilizados no experimento de WATANABE e TAPE (1969).

A densidade de potência aplicada sobre o produto atingiu o cozimento adequado ainda que este se apresentasse pouco atrativo quanto a aparência pela presença de olhaduras.

Não houve diferenças significativas ao nível de 5% entre os tipos de cortes realizados no produtos industrializados.

A textura das salsichas processadas por microondas é maior e diferente significativamente ao nível de 5 % de probabilidade no que se refere ao parâmetro de força máxima aplicada para o corte do produto comparada com as salsichas industrializadas.

A brilho da cor das salsichas processadas por microondas foi mais claro e as cores mais acentuadas que os produtos industrializados.

A flora láctica foi a predominante na contaminação da matéria prima e produtos, contribuindo na contagem total de microorganismos.

Os tempos de residência e densidades de potência foram críticos para a contagem diferenciada de microorganismos nas salsichas processadas por microondas com tratamentos de 400 e 500 W de potência.

A utilização de um modo TE<sub>10</sub> na frequência de 2450 MHz neste experimento demonstra a viabilidade de sua aplicação para um sistema de

cozimento de salsichas, opostamente ao posicionamento de DUNN et alii (1972) que exclui a sua utilização com potências de 5 kW com aplicador em modo  $TM_{01}$ . À luz deste experimento com pode-se dizer que para uma escala a nível industrial o fator limitante seja a produtividade, mas não a potência. Observe-se que a tendência para um cozimento ideal nesta configuração é baixar a potência e elevar o tempo de residência.

A estimativa de gastos energéticos com bases neste protótipo, extrapolados para um processo industrial é menor que o processo convencional.

Embora algumas modificações sejam ainda necessárias, observa-se através dos resultados alcançados que há possibilidade do sistema ser otimizado a fim de se conseguir um produto de melhor aparência, à exemplo do que já foi obtido com outros modos  $TE_{01}$  (PUSCHNER, 1970) e  $TM_{021}$  RISMAN e BENGTSSON (1979).

Uma das vantagens que o equipamento por microondas demonstra é a necessidade de apenas dois operadores à nível de planta piloto, podendo ser totalmente automatizado e necessitando apenas de um operador para controlá-lo. A diminuição do contato dos operadores com o produto diminuirá o risco de contaminação.

Com a introdução da co-extrusão e posterior cozimento da emulsão cárnea por microondas os equipamentos de "peeling" e as estufas poderão ser eliminados. Com isto, também a área ocupada pelos sistemas de microondas na planta de processamento de carnes poderá ser consideravelmente menor

que a área destinada àqueles equipamentos, refletindo-se de imediato em custos no investimento inicial substancialmente eliminados.

Os fatores acima implicam num provável ganho de qualidade sobre o produto, possível de ser alcançada pelo método proposto, obtendo-se o benefício adicional da compactação, simplificação e facilidade maior de controle dos procedimentos operacionais. Isto significa uma diminuição do consumo energético específico dos equipamentos nesta etapa do processo, com reflexos nos custos de operação com a adaptação desta tecnologia inovadora, o que de fato ficou constatado pelo balanço energético do novo sistema de microondas proposto que correspondeu a um consumo estimado de apenas 18,98 % daquele verificado no processamento pelo método convencional.

## 7. SUGESTÕES

O trabalho até aqui desenvolvido neste campo é inédito, necessitando apenas ser otimizado para atingir um nível de funcionamento adequado e que venha atender às expectativas de produção industrial. À título de sugestões, para os estudos posteriores que objetivem esta otimização, são propostas as seguintes medidas complementares:

- 1- Modificar o desenho e dimensões da câmara de coagulação com o objetivo de cobrir uma área maior do produto,
- 2- Redimensionar a distância entre a câmara de coagulação e o tubo de produto a fim de permitir a ação completa do agente coagulante,
- 3- Considerar o diferencial de velocidade entre as engrenagens da extrusora e direcionar rotações em sentido oposto a fim de propiciar uma melhor formação da malha de colágeno.
- 4- Introduzir o produto no guia de ondas com uma embutideira com sistema de vácuo.
- 5- Reduzir o diâmetro do guia de produto, prevendo poros de escape dos vapores e arraste destes para o exterior do sistema conservando-se o vácuo entre câmaras de alimentação e descarga.
- 6- Modificar a composição da solução coagulante retirando o sal
- 7- Fazer uma correlação com medidas objetivas e subjetivas incluindo uma avaliação sensorial

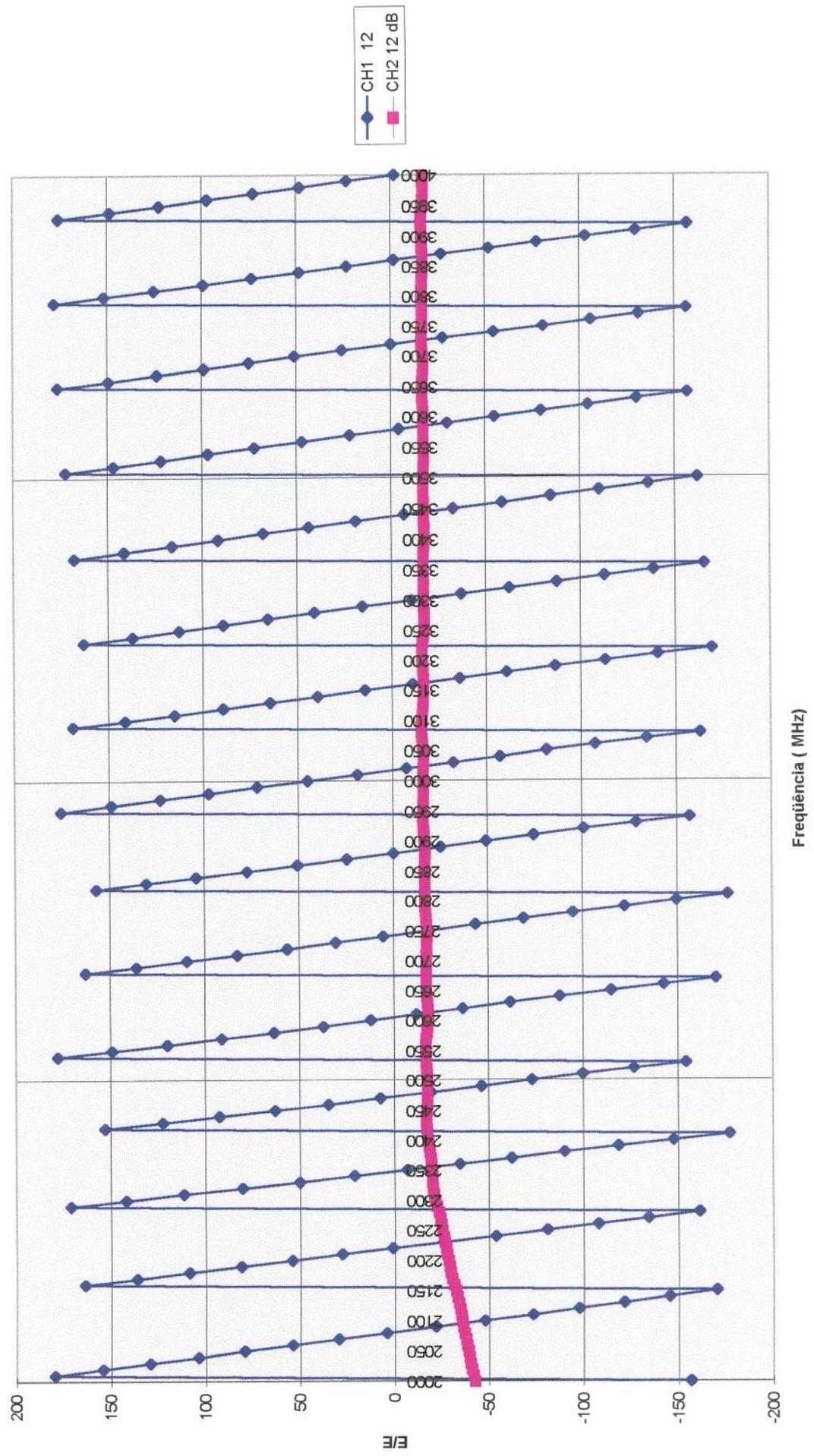
## 8. APÊNDICES

### 8.1. Características do guia de onda e dos geradores de microondas

Guia de onda WR-284 ou pela norma Inglesa RCSC WG denominado WG 10
Faixa de frequência no modo TE <sub>10</sub> = 2,60 GHz a 3,95 GHz
Dimensões internas: a = 7,2136 cm b = 3,4036 cm
Comprimento de onda no guia: $\lambda_g = 23,156$ cm
Impedância $Z_{o(TE10)} = \lambda_g/\lambda_o = 712,93 \Omega$
Frequência de corte $f_c = c/2a = 2,0794$ GHz
Constante de fase $\beta = 2\pi/\lambda_g = 27,134$ rad/m
Ângulo de incidência $\theta = \sin^{-1} \lambda/2a = 58,07^\circ$
Velocidade de fase $v_\phi = c/\cos \theta = 5,673 \times 10^8$ m/s
Velocidade do grupo $v_g = c \times \cos \theta = 1,5864 \times 10^8$ m/s

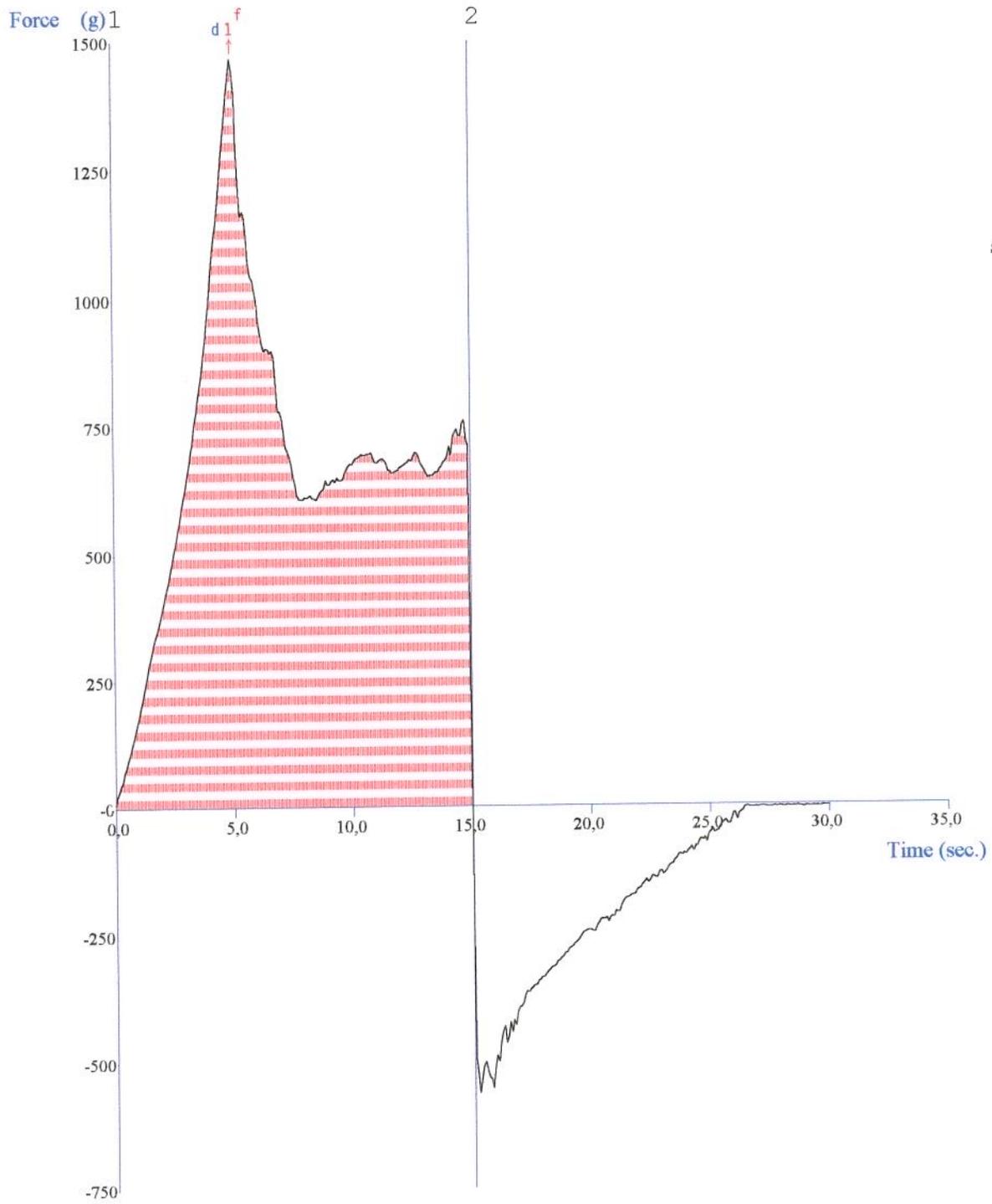
Especificações dos Geradores	
<b>Alter:</b> SM 1545D.001 ("Switching Power Generators for Magnetron"), trifásico 220 V, sinal analógico de 0 a 20 mA.	<b>Cober:</b> Modelo S6F- trifásico 480 V
Magnetron NL10250 National Electrics (1900 W), corrente máxima de saída 720 mA, sinal de corrente de saída de 1 V = 100mA (Z = 250 ohm), corrente interna 17,5 mA.	Magnetron YJ-1191A Marca Amperex de fabricação holandesa (6000 W) corrente máxima de saída. 10V = 1,28 A

8.2 - Curva de Atenuação para Amostra de Emulsão Cárnica no HP 85047



# Stable Micro Systems - Texture Expert

## Teste de Corte

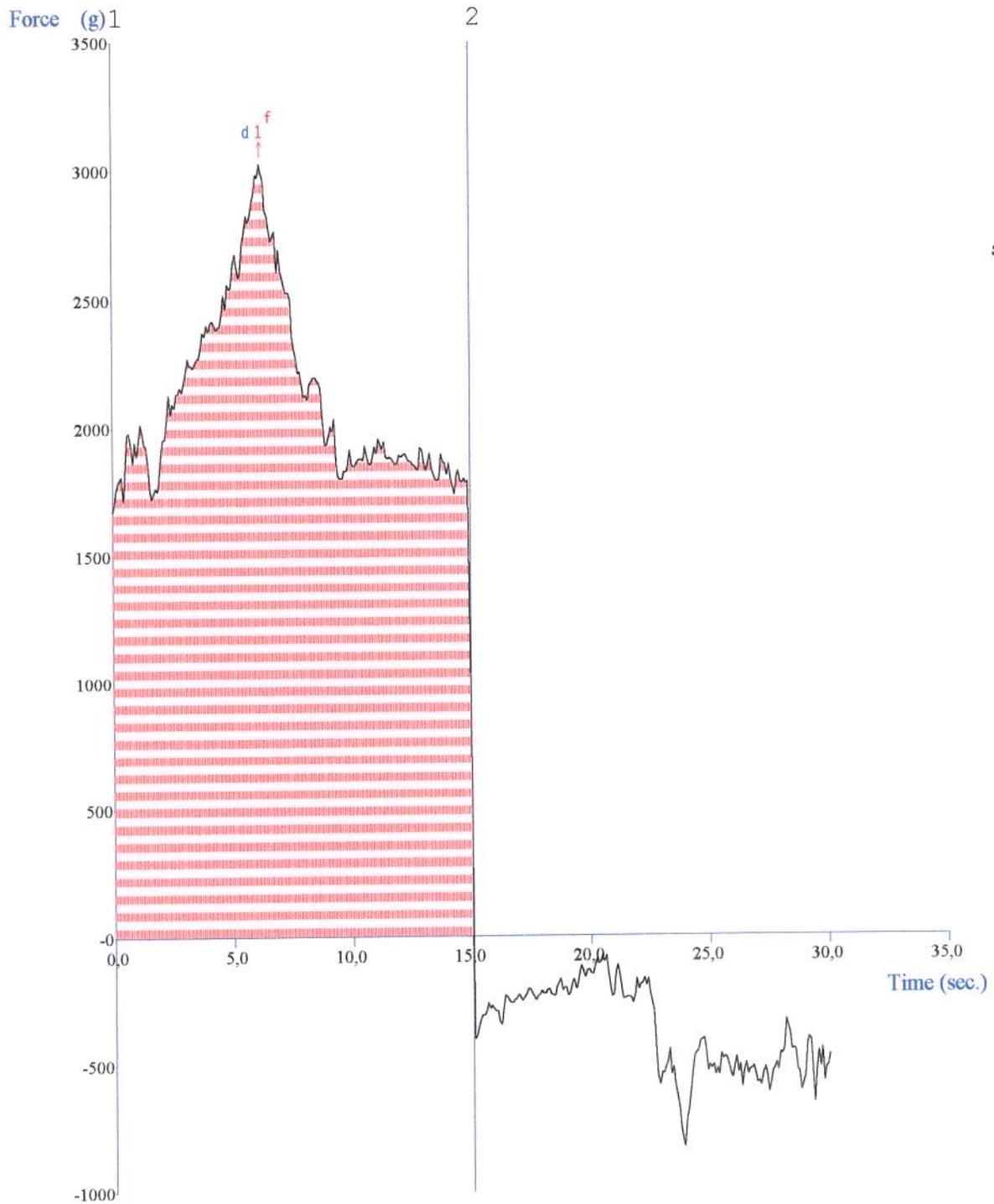


Cursor  
6,9 g  
0,000 s  
0,000 mm

Files  
S010M003.ARC

# Stable Micro Systems - Texture Expert

## Salsicha-Microondas

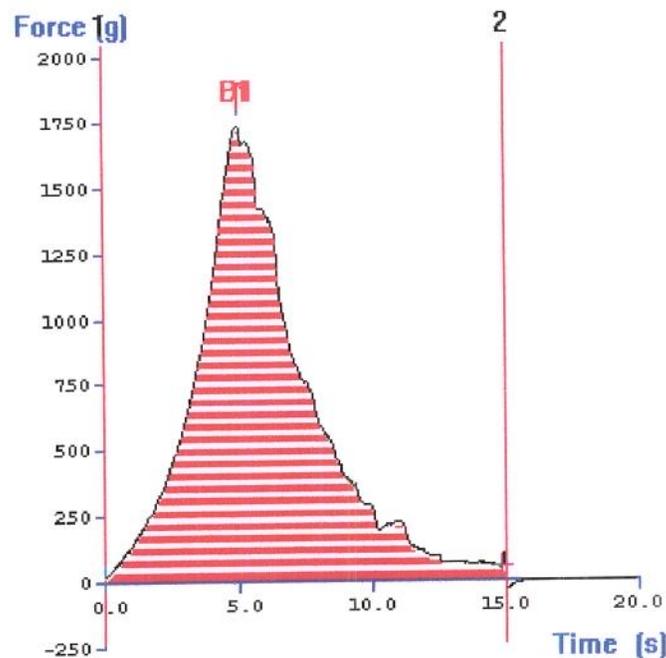


## *TA-XT2 APPLICATION STUDY*

### Cutting force of Hot dogs using Warner-Bratzler Blade

<b>Product:</b>	<b>HOT DOGS</b>														
<b>Type:</b>	Vacuum packed hot dogs														
<b>Objective:</b>	Cutting force of Hot dogs using Warner-Bratzler Blade														
<b>TA-XT2 Settings:</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Option:</i></td> <td>Measure Force in Compression</td> </tr> <tr> <td><i>Pre-Test Speed:</i></td> <td>2.0 mm/s</td> </tr> <tr> <td><i>Test Speed:</i></td> <td>2.0 mm/s</td> </tr> <tr> <td><i>Post-Test Speed:</i></td> <td>10.0 mm/s</td> </tr> <tr> <td><i>Distance:</i></td> <td>30mm</td> </tr> <tr> <td><i>Trigger Type:</i></td> <td>Auto - 20g</td> </tr> <tr> <td><i>Data Acquisition Rate:</i></td> <td>200pps</td> </tr> </table>	<i>Option:</i>	Measure Force in Compression	<i>Pre-Test Speed:</i>	2.0 mm/s	<i>Test Speed:</i>	2.0 mm/s	<i>Post-Test Speed:</i>	10.0 mm/s	<i>Distance:</i>	30mm	<i>Trigger Type:</i>	Auto - 20g	<i>Data Acquisition Rate:</i>	200pps
<i>Option:</i>	Measure Force in Compression														
<i>Pre-Test Speed:</i>	2.0 mm/s														
<i>Test Speed:</i>	2.0 mm/s														
<i>Post-Test Speed:</i>	10.0 mm/s														
<i>Distance:</i>	30mm														
<i>Trigger Type:</i>	Auto - 20g														
<i>Data Acquisition Rate:</i>	200pps														
<b>Accessory:</b>	Warner-Bratzler Blade ( <a href="#">HDP/BS</a> ) using 25kg load cell														
<b>Sample Preparation:</b>	Samples are stored at 5.0°C until required for testing. When removed the hot dogs are cut in half approximately.														
<b>Test Set-Up:</b>	The heavy duty platform should be adjusted to enable the blade (attached to the load cell carrier) to pass through the base plate slot without contact when lowered. The sample is placed centrally on the plate, perpendicular to the slot length, and the test is commenced.														

**Typical Texture Expert™ plot:**



<b>Observations:</b>	The point at which the sample completely fills the triangular cavity of the blade is denoted by the peak force. After this point shearing continues throughout the whole sample until the blade has passed through the base plate slot.
<b>Data Analysis:</b>	Once data is obtained (see over for typical Texture Expert™ plot) values of

particular interest for sample analysis are:

The maximum force reading, i.e. the highest +ve peak (which is the measure of the firmness),

the distance at which the peak force occurs (which is an indication of the surface strength of the sample resisting shear), and the +ve area (the total work required to shear to the specified depth).

To investigate these it is necessary to:

**GO TO: MIN TIME**

**DROP ANCHOR**

**GO TO: MAX FORCE**

**PROCESS DATA: MARK FORCE,**

**PROCESS DATA: MARK DISTANCE,**

**GO TO: SPECIFIED FORCE = 0.0g**

**DROP ANCHOR**

**PROCESS DATA: AREA (between these anchors)**

**Sample Results:**

Test results obtained from 5 individual samples give the following mean peak force, distance at peak, total force area and their respective coefficients of variation (C.V.):

Mean Peak Force (± S.D.)	C.V.	Distance at peak (± S.D.)	C.V.	Total force Area C.V.
1713.0g ± 117.9	6.9%	9.90mm ± 0.9	9.3%	8.1%

**Recommendations:**

When placing the sample on the base plate one must try to ensure that the uppermost surface is consistent in shape throughout testing, i.e. some samples develop a flat surface during storage. Failure to do this will add to inconsistency of results.

If a very unsmooth curve is produced following the peak force one may choose to increase the test speed slightly as this may be due to the sample wriggling on tearing which will add force to the blade on descent.

If the sample is not placed centrally under the blade a false trigger may occur which will then be followed by the slip of the sample across the base plate into the central cavity, hence producing an incorrect force profile.

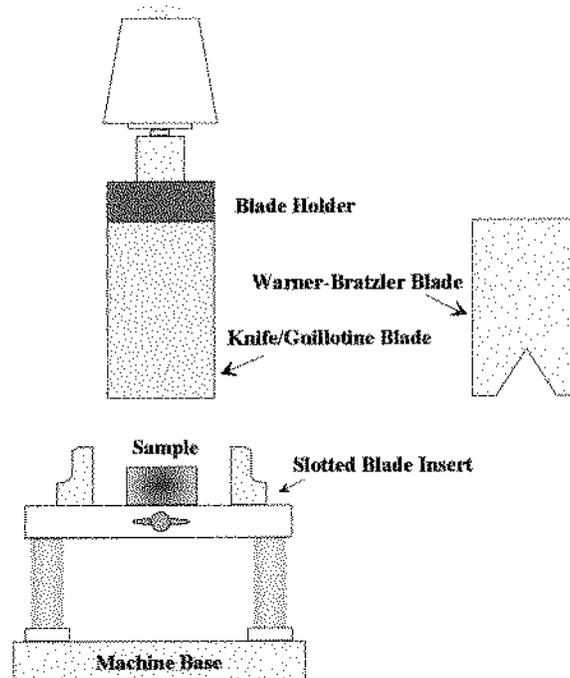
The Information herein is the result of the original work  
of Stable Micro Systems who own the Copyright  
ALL RIGHTS RESERVED TA-XT2 is a registered trade mark  
© STABLE MICRO SYSTEMS LTD 1995

This application study has been designed for a specific sample(s) and it therefore must be noted that any deviation from this sample in terms of sample size, shape, formulation, etc. may cause large deviations or may indeed require a different testing method.

## HDP/BS Blade Set

The blade set comprises a Warner Bratzler blade, a reversible blade, a slotted blade insert and a blade holder. The reversible blade has a knife edge at one end and a flat guillotine edge at the other. In operation, the blade is firmly held by means of the blade holder which screws directly into the Texture Analyser. The slotted blade insert is located directly into the Heavy Duty Platform and acts as a guide for the blade whilst providing support for the product.

The Warner Bratzler was originally used on meat products; however, Blade Set applications now include sausages, cheese, fruit, vegetables and any product which requires testing by cutting or shearing.



### **CONTENTS:**

- 1 Blade Holder
- 2 Blades (Warner Bratzler and reversible)
- 1 Slotted Blade Insert

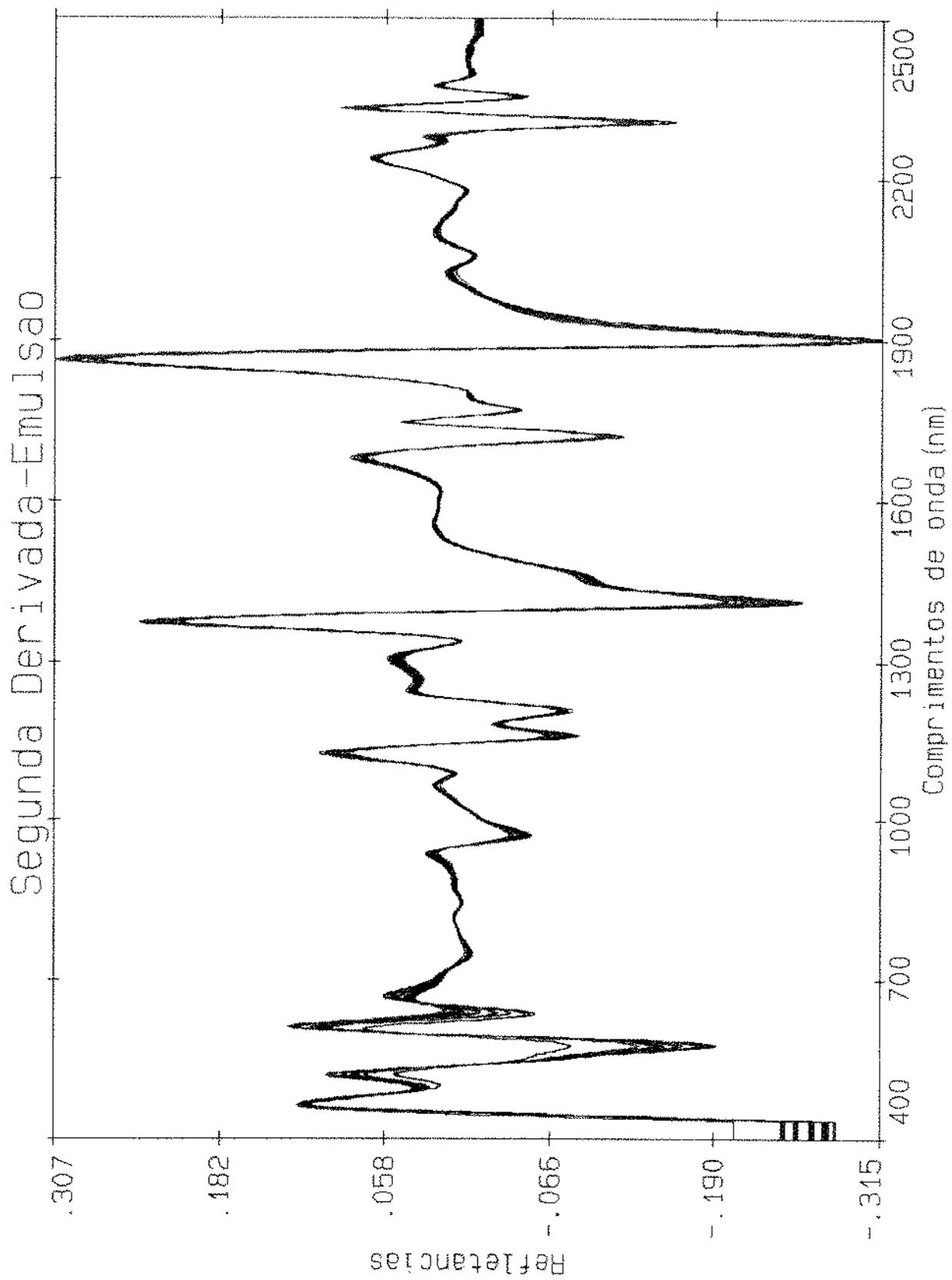
### **Reference: SMS Application Studies**

Hardness measurement of Biscuits by cutting

Comparison of resistance to cutting of Chocolate Coated Wafer Biscuits by a Knife Blade

Shearing force of Potato after different cooking times using Knife Blade

Cutting force of Hot dogs using Warner-Bratzler Blade



**8.5 Resultados de proteína na emulsão cárnea por PLS com resíduo não tratados**

<pre> File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEMU1 Created: Feb 7, 1997 Time: 15:44:50 Instrument: 6500 Number of spectra: 30 Constituent: 1, proteina Math: 2nd derivative Segment: 20 Gap: 0                 </pre>	<p style="text-align: center;"><u>PLS Regression Results</u></p> <p>Number of factors computed = 15</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>MSECV</th> <th>R</th> <th>Std Error</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt; 1&gt;</td><td>.200</td><td>.4167</td><td>.8074</td></tr> <tr><td>2</td><td>.196</td><td>.5423</td><td>.7600</td></tr> <tr><td>3</td><td>.392</td><td>.5829</td><td>.7490</td></tr> <tr><td>4</td><td>.419</td><td>.6595</td><td>.7066</td></tr> <tr><td>5</td><td>.379</td><td>.7725</td><td>.6092</td></tr> <tr><td>6</td><td>.373</td><td>.8334</td><td>.5416</td></tr> <tr><td>7</td><td>.342</td><td>.8615</td><td>.5089</td></tr> <tr><td>8</td><td>.406</td><td>.8735</td><td>.4994</td></tr> <tr><td>9</td><td>.330</td><td>.8954</td><td>.4680</td></tr> <tr><td>10</td><td>.317</td><td>.9286</td><td>.4001</td></tr> <tr><td>11</td><td>.351</td><td>.9490</td><td>.3492</td></tr> <tr><td>12</td><td>.354</td><td>.9615</td><td>.3133</td></tr> <tr><td>13</td><td>.368</td><td>.9765</td><td>.2534</td></tr> <tr><td>14</td><td>.442</td><td>.9898</td><td>.1731</td></tr> <tr><td>15</td><td>.450</td><td>.9950</td><td>.1252</td></tr> </tbody> </table> <p>Number of factors to use = 1</p>	Factor	MSECV	R	Std Error	< 1>	.200	.4167	.8074	2	.196	.5423	.7600	3	.392	.5829	.7490	4	.419	.6595	.7066	5	.379	.7725	.6092	6	.373	.8334	.5416	7	.342	.8615	.5089	8	.406	.8735	.4994	9	.330	.8954	.4680	10	.317	.9286	.4001	11	.351	.9490	.3492	12	.354	.9615	.3133	13	.368	.9765	.2534	14	.442	.9898	.1731	15	.450	.9950	.1252
Factor	MSECV	R	Std Error																																																														
< 1>	.200	.4167	.8074																																																														
2	.196	.5423	.7600																																																														
3	.392	.5829	.7490																																																														
4	.419	.6595	.7066																																																														
5	.379	.7725	.6092																																																														
6	.373	.8334	.5416																																																														
7	.342	.8615	.5089																																																														
8	.406	.8735	.4994																																																														
9	.330	.8954	.4680																																																														
10	.317	.9286	.4001																																																														
11	.351	.9490	.3492																																																														
12	.354	.9615	.3133																																																														
13	.368	.9765	.2534																																																														
14	.442	.9898	.1731																																																														
15	.450	.9950	.1252																																																														

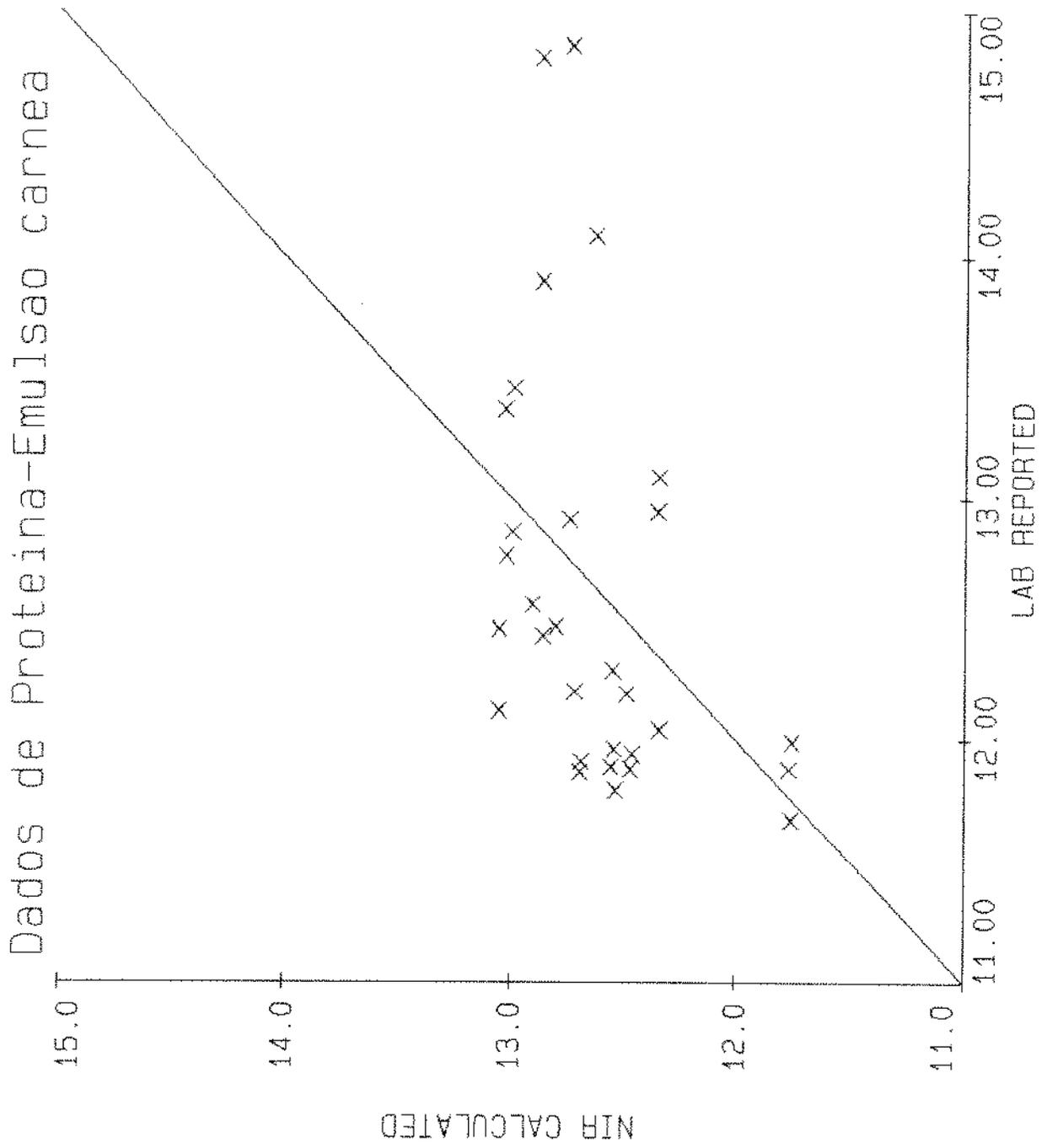
- ```

Select
0 Continue
1 Number of factors
2 List residuals
3 Plot residuals
4 Plot lab
5 Plot MSECV vs Factor
6 Plot/Save loadings
7 Plot/Save weights
8 Save equation
                
```

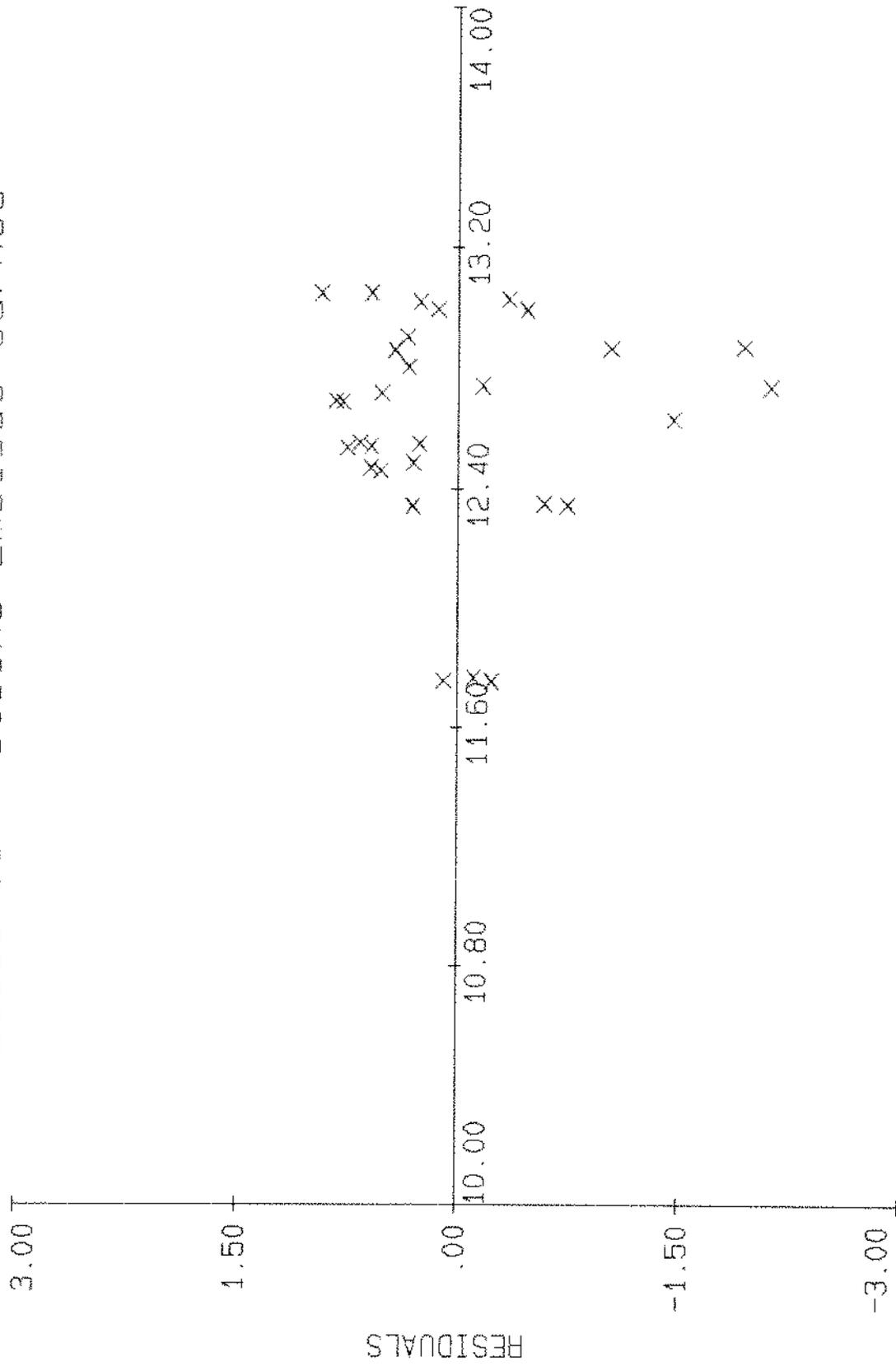
**8.5.1. Dados de proteína na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados**

NIRSystems Calculated Results

| Spl No. | Spl Name | Lab %  | NIR %  | Residual | Outlier |
|---------|----------|--------|--------|----------|---------|
| 1       | 001      | 12.470 | 12.804 | .334     |         |
| 2       | 002      | 11.880 | 12.471 | .591     |         |
| 3       | 003      | 11.940 | 12.462 | .522     |         |
| 4       | 004      | 11.790 | 12.539 | .749     |         |
| 5       | 005      | 11.960 | 12.544 | .584     |         |
| 6       | 006      | 11.890 | 12.556 | .666     |         |
| 7       | 007      | 12.560 | 12.903 | .343     |         |
| 8       | 008      | 12.430 | 12.859 | .429     |         |
| 9       | 009      | 13.900 | 12.866 | -1.034   |         |
| 10      | 010      | 12.200 | 12.719 | .519     |         |
| 11      | 011      | 11.870 | 12.694 | .824     |         |
| 12      | 012      | 11.910 | 12.691 | .781     |         |
| 13      | 013      | 13.370 | 13.027 | -.343    |         |
| 14      | 014      | 12.460 | 13.048 | .588     |         |
| 15      | 015      | 12.120 | 13.048 | .928     |         |
| 16      | 016      | 13.460 | 12.992 | -.468    |         |
| 17      | 017      | 12.860 | 12.994 | .134     |         |
| 18      | 018      | 12.760 | 13.018 | .258     |         |
| 19      | 019      | 14.090 | 12.633 | -1.457   |         |
| 20      | 020      | 12.290 | 12.551 | .261     |         |
| 21      | 021      | 12.190 | 12.488 | .298     |         |
| 22      | 022      | 11.880 | 11.768 | -.112    |         |
| 23      | 023      | 11.990 | 11.755 | -.235    |         |
| 24      | 024      | 11.670 | 11.758 | .088     |         |
| 25      | 025      | 12.940 | 12.353 | -.587    |         |
| 26      | 026      | 12.040 | 12.345 | .305     |         |
| 27      | 027      | 13.090 | 12.347 | -.743    |         |
| 28      | 028      | 12.910 | 12.744 | -.166    |         |
| 29      | 029      | 14.860 | 12.741 | -2.119   |         |
| 30      | 030      | 14.810 | 12.873 | -1.937   |         |



Dados de Proteina-Emulsao carnea



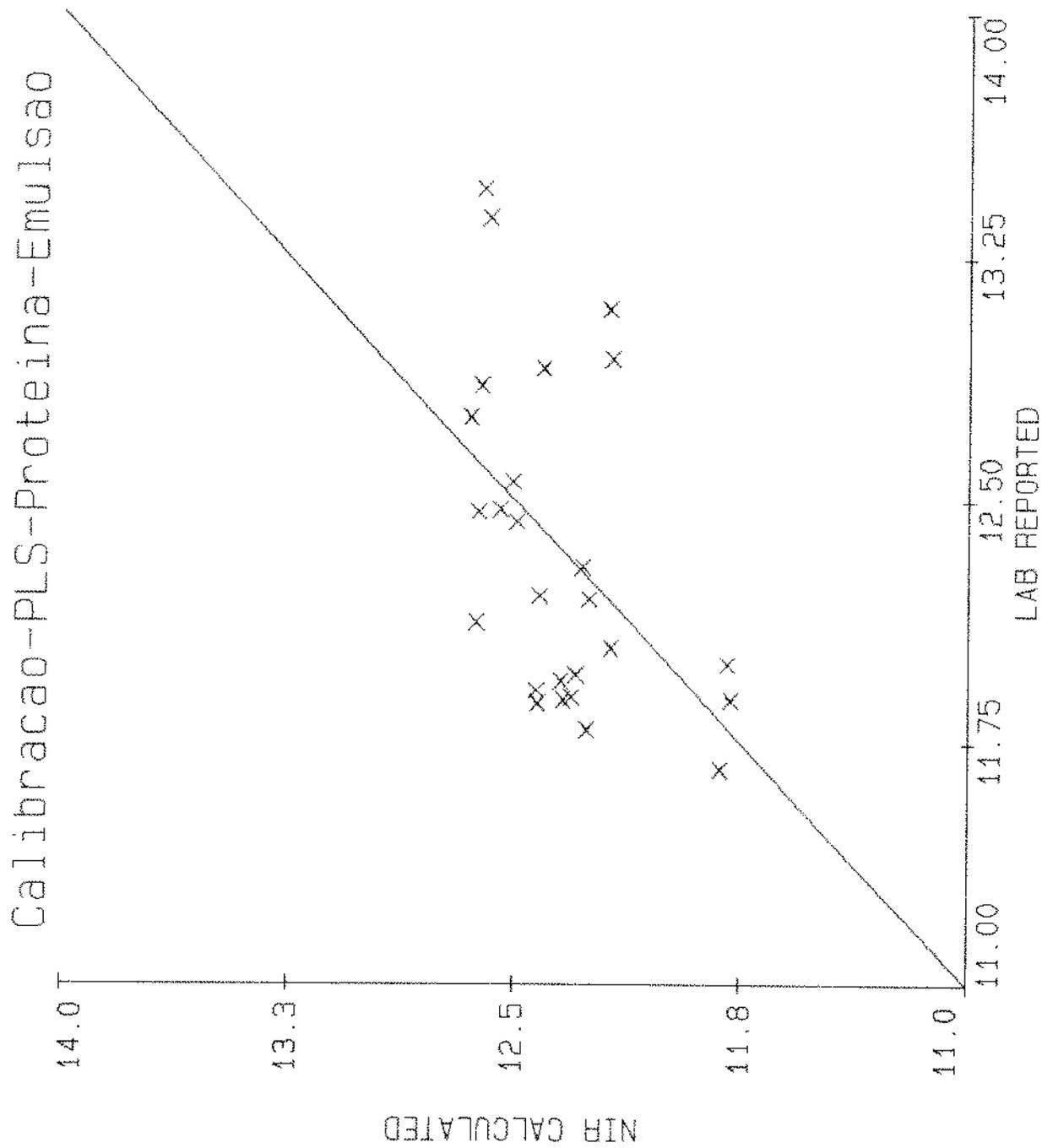
NIR CALCULATED

### 8.5.4. Resultados de proteína na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados

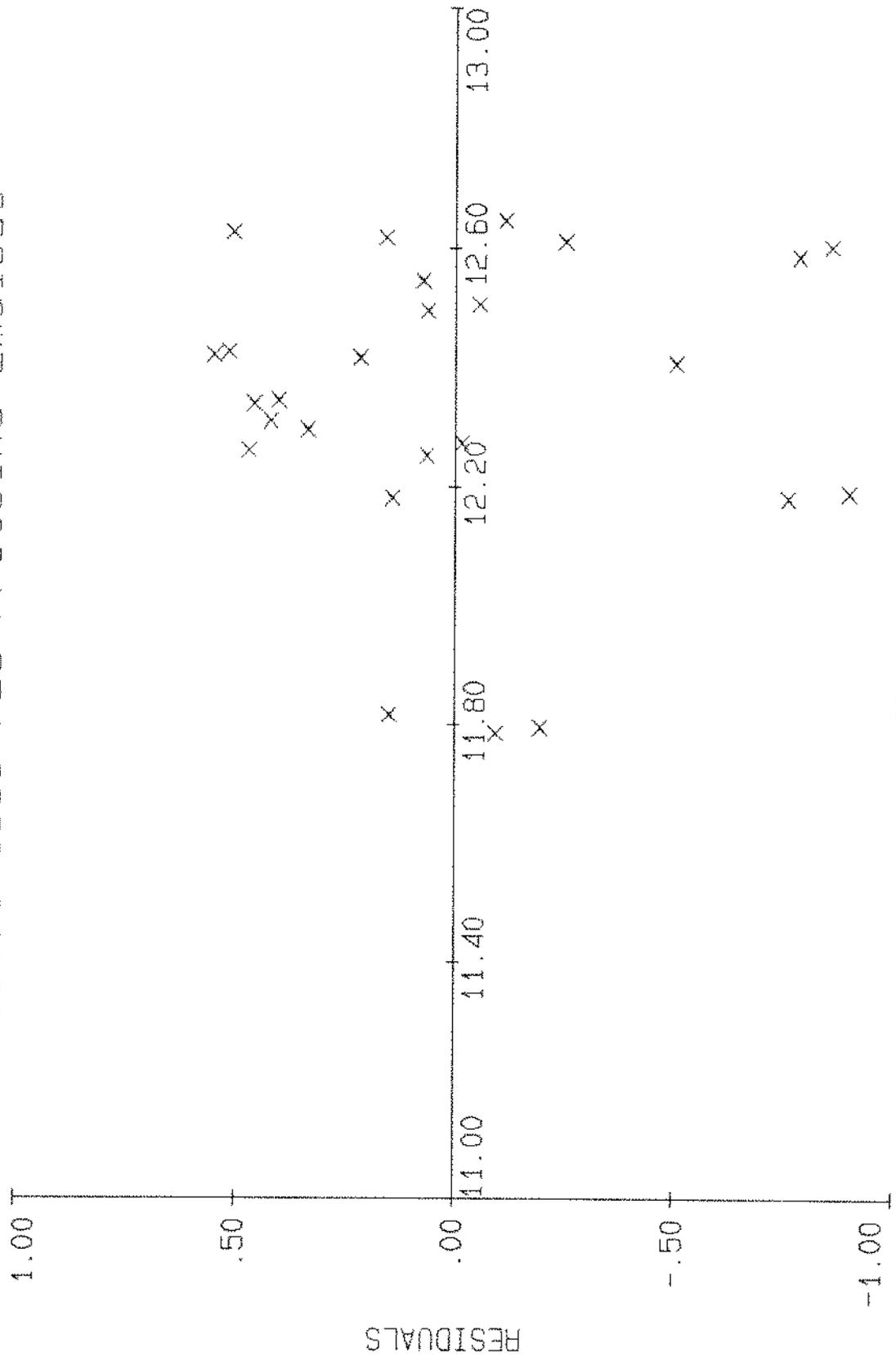
| File: C:\NIRS\NEWEN01\EMULSAO\2NDEM01                                                                                                                                                         |                | PLS Regression Results          |       |       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|-------|-------|-----------|
| Created:                                                                                                                                                                                      | Feb 7, 1997    | Number of factors computed = 15 |       |       |           |
| Time:                                                                                                                                                                                         | 15:44:50       | Factor                          | MSECV | R     | Std Error |
| Instrument:                                                                                                                                                                                   | 6500           | < 1>                            | .057  | .4869 | .4542     |
| Number of spectra:                                                                                                                                                                            | 26             | 2                               | .054  | .5660 | .4379     |
| Constituent: 1,                                                                                                                                                                               | proteína       | 3                               | .048  | .7345 | .3686     |
| Math:                                                                                                                                                                                         | 2nd derivative | 4                               | .053  | .7485 | .3686     |
| Segment:                                                                                                                                                                                      | 20             | 5                               | .049  | .7983 | .3431     |
| Gap:                                                                                                                                                                                          | 0              | 6                               | .055  | .8293 | .3266     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 7                               | .065  | .8849 | .2797     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 8                               | .074  | .9050 | .2629     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 9                               | .079  | .9447 | .2089     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 10                              | .078  | .9587 | .1872     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 11                              | .082  | .9727 | .1580     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 12                              | .086  | .9831 | .1294     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 13                              | .086  | .9920 | .0929     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 14                              | .086  | .9961 | .0681     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 15                              | .084  | .9969 | .0636     |
|                                                                                                                                                                                               |                | Number of factors to use = 1    |       |       |           |
| Select<br>0 Continue<br>1 Number of factors<br>2 List residuals<br>3 Plot residuals<br>4 Plot lab<br>5 Plot MSECv vs Factor<br>6 Plot/Save loadings<br>7 Plot/Save weights<br>8 Save equation |                |                                 |       |       |           |

### 8.5.5. Dados de proteína na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos tratados

| NIRSystems Calculated Results |          |        |        |          |         |
|-------------------------------|----------|--------|--------|----------|---------|
| Spl No.                       | Spl Name | Lab %  | NIR %  | Residual | Outlier |
| 1                             | 001      | 12.470 | 12.544 | .074     |         |
| 2                             | 002      | 11.880 | 12.339 | .459     |         |
| 3                             | 003      | 11.940 | 12.344 | .404     |         |
| 4                             | 004      | 11.790 | 12.261 | .471     |         |
| 5                             | 005      | 11.960 | 12.296 | .336     |         |
| 6                             | 006      | 11.890 | 12.311 | .421     |         |
| 7                             | 007      | 12.560 | 12.504 | -.056    |         |
| 8                             | 008      | 12.430 | 12.493 | .063     |         |
| 10                            | 010      | 12.200 | 12.416 | .216     |         |
| 11                            | 011      | 11.870 | 12.421 | .551     |         |
| 12                            | 012      | 11.910 | 12.426 | .516     |         |
| 13                            | 013      | 13.370 | 12.586 | -.784    |         |
| 14                            | 014      | 12.460 | 12.617 | .157     |         |
| 15                            | 015      | 12.120 | 12.626 | .506     |         |
| 16                            | 016      | 13.460 | 12.603 | -.857    |         |
| 17                            | 017      | 12.860 | 12.610 | -.250    |         |
| 18                            | 018      | 12.760 | 12.645 | -.115    |         |
| 20                            | 020      | 12.290 | 12.274 | -.016    |         |
| 21                            | 021      | 12.190 | 12.254 | .064     |         |
| 22                            | 022      | 11.880 | 11.786 | -.094    |         |
| 23                            | 023      | 11.990 | 11.795 | -.195    |         |
| 24                            | 024      | 11.670 | 11.819 | .149     |         |
| 25                            | 025      | 12.940 | 12.181 | -.759    |         |
| 26                            | 026      | 12.040 | 12.183 | .143     |         |
| 27                            | 027      | 13.090 | 12.191 | -.899    |         |
| 28                            | 028      | 12.910 | 12.407 | -.503    |         |



# Calibracao-PLS-Proteina-Emulsao



### 8.5.8. Resultados estatísticos dos dados de proteína na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados

Calibration file: PROTCAL Data file: 2NDEMUI

#### STATISTICAL SUMMARY

Bias = -.265 Std. Error of Bias = .151  
 Std. Dev. of Differences = .818  
 Root Mean Square (RMS) = .861

#### \*\* Information for Slope and Intercept Correction \*\*

Slope Adjustment = 1.348 Std. Error of Slope = .173  
 Intercept Adjustment = -4.03 Std. Error of Performance = .814  
 Simple Correlation = .361

#### \*\* Results Achievable by Eliminating Special Causes \*\*

Achievable Std. Error of Prediction = .509  
 Prediction Stability Coefficient = .591

Press any key to continue

#### NIRSystems Calculated Results

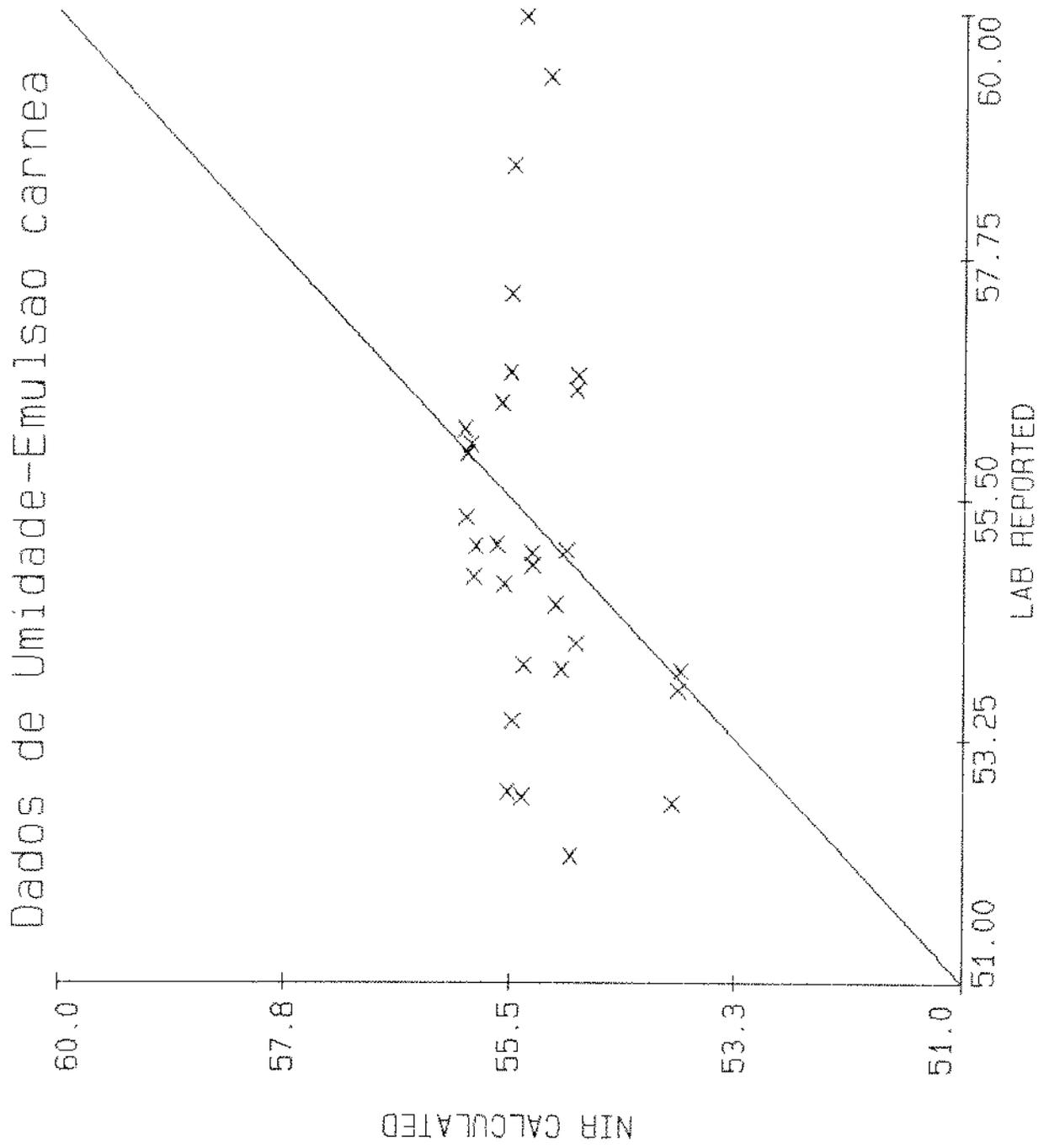
| Spl No. | Spl Name | Lab Value | NIR Value | Residual | Group | Average | Range |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1       | 001      | 12.470    | 12.544    | .074     |       |         |       |
| 2       | 002      | 11.880    | 12.339    | .459     |       |         |       |
| 3       | 003      | 11.940    | 12.344    | .404     |       |         |       |
| 4       | 004      | 11.790    | 12.261    | .471     | 1     | .352    | .397  |
| 5       | 005      | 11.960    | 12.296    | .336     |       |         |       |
| 6       | 006      | 11.890    | 12.311    | .421     |       |         |       |
| 7       | 007      | 12.560    | 12.504    | -.056    |       |         |       |
| 8       | 008      | 12.430    | 12.493    | -.063    | 2     | .191    | .477  |
| 9       | 009      | 13.900    | 12.505    | -1.395   |       |         |       |
| 10      | 010      | 12.200    | 12.416    | .216     |       |         |       |
| 11      | 011      | 11.870    | 12.421    | .551     |       |         |       |
| 12      | 012      | 11.910    | 12.426    | .516     | 3     | -.028   | 1.946 |
| 13      | 013      | 13.370    | 12.586    | -.784    |       |         |       |
| 14      | 014      | 12.460    | 12.617    | .157     |       |         |       |
| 15      | 015      | 12.120    | 12.626    | .506     |       |         |       |
| 16      | 016      | 13.480    | 12.603    | -.857    | 4     | -.244   | 1.363 |
| 17      | 017      | 12.860    | 12.610    | -.250    |       |         |       |
| 18      | 018      | 12.760    | 12.645    | -.115    |       |         |       |
| 19      | 019      | 14.090    | 12.303    | -1.787   |       |         |       |
| 20      | 020      | 12.290    | 12.274    | -.016    | 5     | -.542   | 1.771 |
| 21      | 021      | 12.190    | 12.254    | .064     |       |         |       |
| 22      | 022      | 11.880    | 11.786    | -.094    |       |         |       |
| 23      | 023      | 11.990    | 11.795    | -.195    |       |         |       |
| 24      | 024      | 11.670    | 11.819    | .149     | 6     | -.019   | .343  |
| 25      | 025      | 12.940    | 12.181    | -.759    |       |         |       |
| 26      | 026      | 12.040    | 12.183    | .143     |       |         |       |
| 27      | 027      | 13.090    | 12.191    | -.899    |       |         |       |
| 28      | 028      | 12.910    | 12.407    | -.503    | 7     | -.505   | 1.042 |
| 29      | 029      | 14.860    | 12.411    | -2.449   |       |         |       |
| 30      | 030      | 14.810    | 12.481    | -2.329   |       |         |       |

8.6. Resultados de umidade na emulsão cárnea por PLS com resíduos não tratados

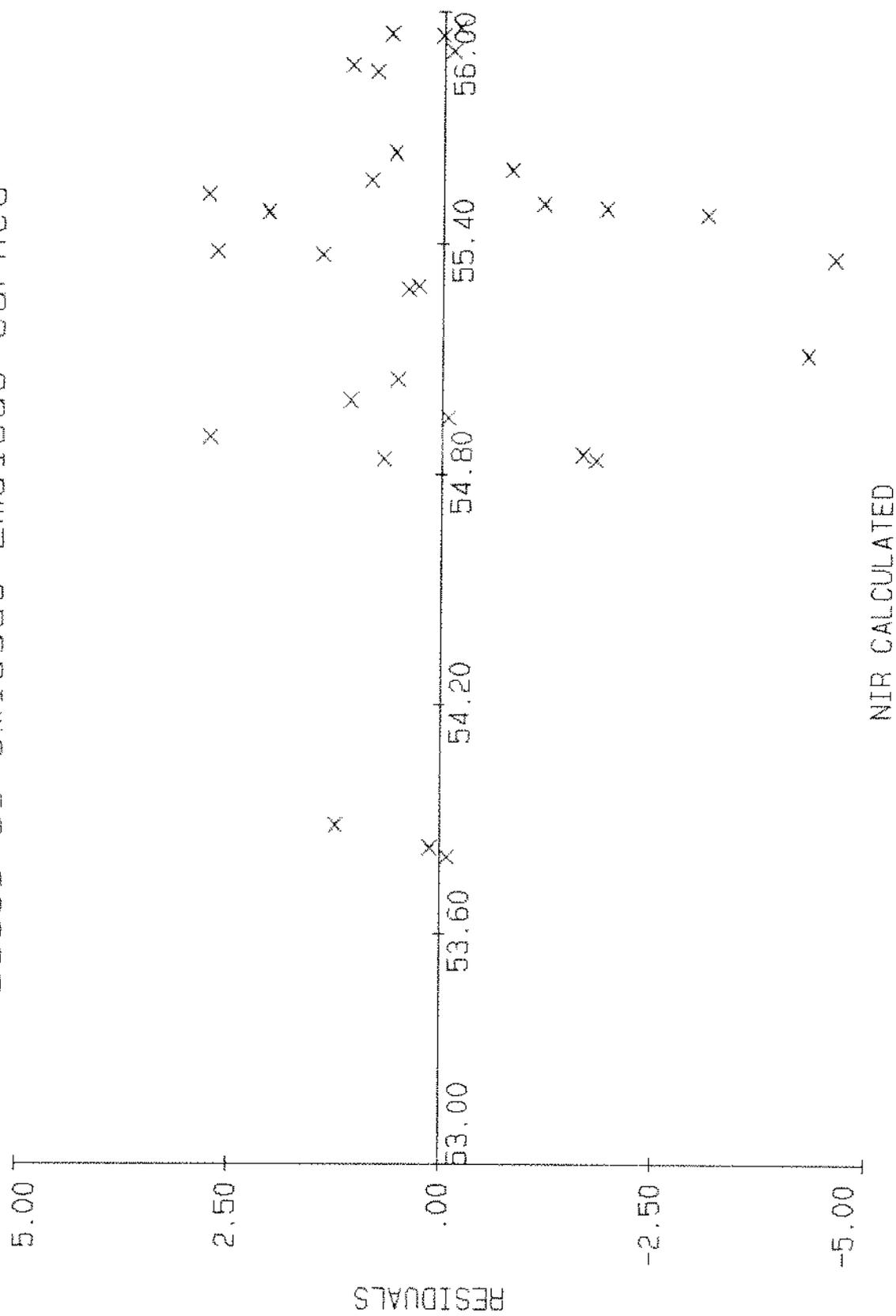
| File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEM01                                                                                                                                                         |                | PLS Regression Results          |       |       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|-------|-------|-----------|
| Created:                                                                                                                                                                                      | Feb 7, 1997    | Number of factors computed = 15 |       |       |           |
| Time:                                                                                                                                                                                         | 15:44:50       | Factor                          | MSECV | R     | Std Error |
| Instrument:                                                                                                                                                                                   | 6500           | < 1 >                           | 1.088 | .3084 | 1.8551    |
| Number of spectra:                                                                                                                                                                            | 30             | 2                               | 1.088 | .6631 | 1.4865    |
| Constituent: 4,                                                                                                                                                                               | umidade        | 3                               | .978  | .7329 | 1.3770    |
| Math:                                                                                                                                                                                         | 2nd derivative | 4                               | .917  | .7409 | 1.3862    |
| Segment:                                                                                                                                                                                      | 20             | 5                               | 1.346 | .7770 | 1.3260    |
| Gap:                                                                                                                                                                                          | 0              | 6                               | 1.758 | .8310 | 1.1971    |
|                                                                                                                                                                                               |                | 7                               | 1.735 | .8714 | 1.0794    |
|                                                                                                                                                                                               |                | 8                               | 2.792 | .8808 | 1.0664    |
|                                                                                                                                                                                               |                | 9                               | 3.143 | .8912 | 1.0468    |
|                                                                                                                                                                                               |                | 10                              | 3.509 | .9200 | .9278     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 11                              | 3.301 | .9356 | .8586     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 12                              | 3.145 | .9532 | .7566     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 13                              | 3.459 | .9724 | .6019     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 14                              | 3.784 | .9815 | .5102     |
|                                                                                                                                                                                               |                | 15                              | 3.932 | .9946 | .2871     |
|                                                                                                                                                                                               |                | Number of factors to use = 1    |       |       |           |
| Select<br>0 Continue<br>1 Number of factors<br>2 List residuals<br>3 Plot residuals<br>4 Plot lab<br>5 Plot MSECV vs Factor<br>6 Plot/Save loadings<br>7 Plot/Save weights<br>8 Save equation |                |                                 |       |       |           |

8.6.1. Dados de umidade na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados

| NIRSystems Calculated Results |          |        |        |          |         |
|-------------------------------|----------|--------|--------|----------|---------|
| Spl No.                       | Spl Name | Lab %  | NIR %  | Residual | Outlier |
| 1                             | 001      | 55.070 | 55.633 | .563     |         |
| 2                             | 002      | 55.000 | 55.288 | .288     |         |
| 3                             | 003      | 54.880 | 55.281 | .401     |         |
| 4                             | 004      | 52.170 | 54.897 | 2.727    |         |
| 5                             | 005      | 55.020 | 54.949 | -.071    |         |
| 6                             | 006      | 53.910 | 54.992 | 1.082    |         |
| 7                             | 007      | 56.390 | 55.589 | -.801    |         |
| 8                             | 008      | 52.760 | 55.524 | 2.764    |         |
| 9                             | 009      | 54.710 | 55.562 | .852     |         |
| 10                            | 010      | 58.600 | 55.476 | -3.124   |         |
| 11                            | 011      | 57.410 | 55.492 | -1.918   |         |
| 12                            | 012      | 56.680 | 55.503 | -1.177   |         |
| 13                            | 013      | 56.010 | 55.896 | -.114    |         |
| 14                            | 014      | 55.930 | 55.938 | .008     |         |
| 15                            | 015      | 56.150 | 55.960 | -.190    |         |
| 16                            | 016      | 55.060 | 55.843 | .783     |         |
| 17                            | 017      | 54.780 | 55.860 | 1.080    |         |
| 18                            | 018      | 55.320 | 55.941 | .621     |         |
| 19                            | 019      | 59.960 | 55.363 | -4.597   |         |
| 20                            | 020      | 59.410 | 55.114 | -4.296   |         |
| 21                            | 021      | 54.520 | 55.048 | .528     |         |
| 22                            | 022      | 53.890 | 53.800 | -.090    |         |
| 23                            | 023      | 53.710 | 53.826 | .116     |         |
| 24                            | 024      | 52.660 | 53.886 | 1.226    |         |
| 25                            | 025      | 54.160 | 54.840 | .680     |         |
| 26                            | 026      | 56.650 | 54.839 | -1.811   |         |
| 27                            | 027      | 56.510 | 54.852 | -1.658   |         |
| 28                            | 028      | 53.950 | 55.370 | 1.420    |         |
| 29                            | 029      | 52.720 | 55.376 | 2.656    |         |
| 30                            | 030      | 53.430 | 55.479 | 2.049    |         |



Dados de Unidade-Emulsao carnea



### 8.6.4. Resultados estatísticos dos dados de umidade na emulsão cárnea por PLS com resíduos não tratados

Calibration file: MOISCALE      Data file: 2NDEMUI

STATISTICAL SUMMARY

Bias = .369E-05      Std. Error of Bias = .339  
 Std. Dev. of Differences = 1.82  
 Root Mean Square (RMS) = 1.82

\*\* Information for Slope and Intercept Correction \*\*

Slope Adjustment = 1.000      Std. Error of Slope = .177  
 Intercept Adjustment = .242E-02      Std. Error of Performance = 1.82  
 Simple Correlation = .308

\*\* Results Achievable by Eliminating Special Causes \*\*

Achievable Std. Error of Prediction = 1.47  
 Prediction Stability Coefficient = .806

Press any key to continue

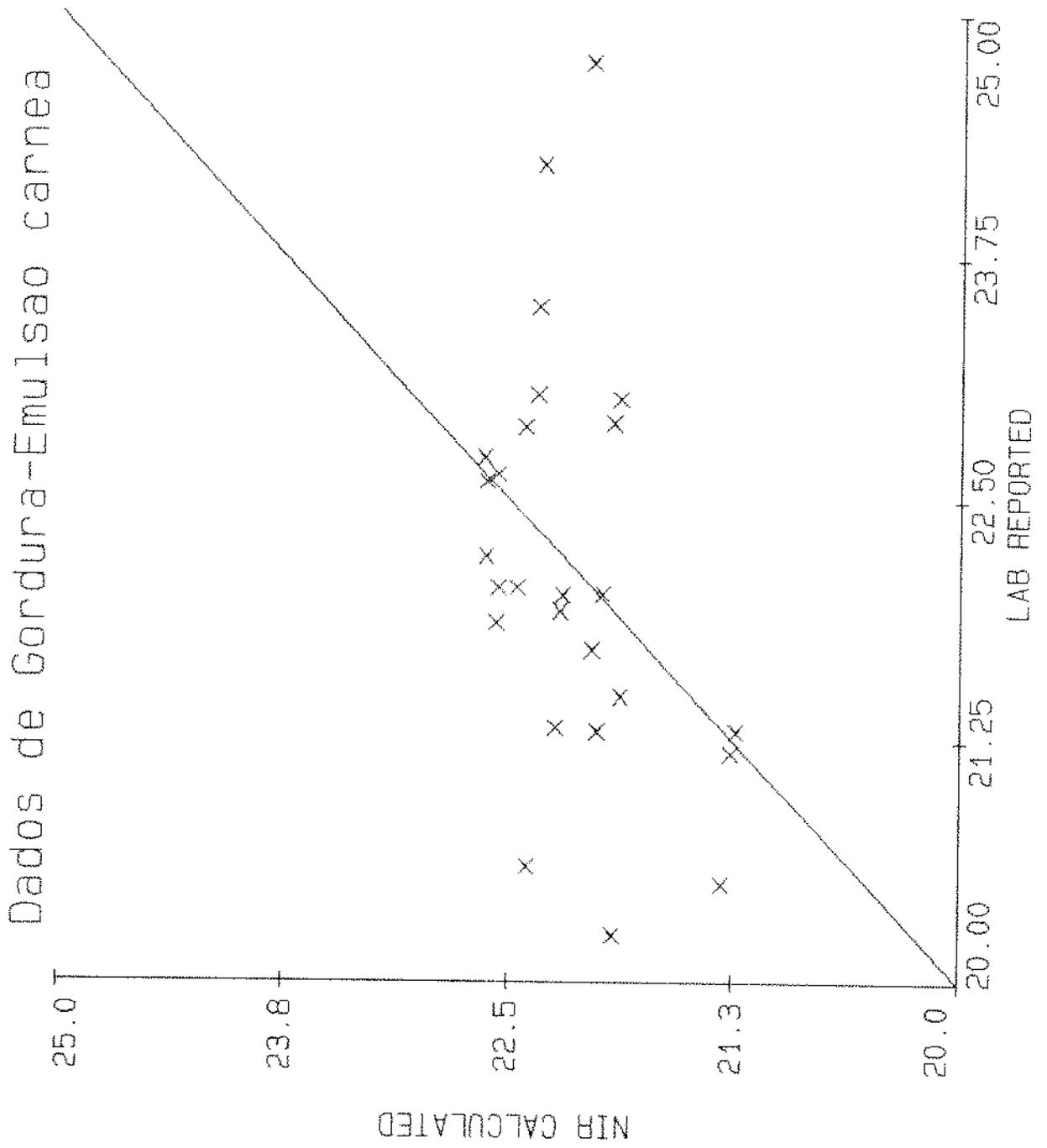
| Spl No. | Spl Name | Lab Value | NIR Value | Residual | Group | Average | Range |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1       | 001      | 55.070    | 55.633    | .563     |       |         |       |
| 2       | 002      | 55.000    | 55.288    | .288     |       |         |       |
| 3       | 003      | 54.880    | 55.281    | .401     |       |         |       |
| 4       | 004      | 52.170    | 54.897    | 2.727    | 1     | .995    | 2.439 |
| 5       | 005      | 55.020    | 54.949    | -.071    |       |         |       |
| 6       | 006      | 53.910    | 54.992    | 1.082    |       |         |       |
| 7       | 007      | 56.390    | 55.589    | -.801    |       |         |       |
| 8       | 008      | 52.760    | 55.524    | 2.764    | 2     | .743    | 3.566 |
| 9       | 009      | 54.710    | 55.562    | .852     |       |         |       |
| 10      | 010      | 58.600    | 55.476    | -3.124   |       |         |       |
| 11      | 011      | 57.410    | 55.492    | -1.918   |       |         |       |
| 12      | 012      | 56.680    | 55.503    | -1.177   | 3     | -1.341  | 3.976 |
| 13      | 013      | 56.010    | 55.896    | -.114    |       |         |       |
| 14      | 014      | 55.930    | 55.938    | .008     |       |         |       |
| 15      | 015      | 56.150    | 55.960    | -.190    |       |         |       |
| 16      | 016      | 55.060    | 55.843    | .783     | 4     | .122    | .973  |
| 17      | 017      | 54.780    | 55.860    | 1.080    |       |         |       |
| 18      | 018      | 55.320    | 55.941    | .621     |       |         |       |
| 19      | 019      | 59.960    | 55.363    | -4.597   |       |         |       |
| 20      | 020      | 59.410    | 55.114    | -4.296   | 5     | -1.798  | 5.678 |
| 21      | 021      | 54.520    | 55.048    | .528     |       |         |       |
| 22      | 022      | 53.890    | 53.800    | -.090    |       |         |       |
| 23      | 023      | 53.710    | 53.826    | .116     |       |         |       |
| 24      | 024      | 52.660    | 53.886    | 1.226    | 6     | .445    | 1.315 |
| 25      | 025      | 54.160    | 54.840    | .680     |       |         |       |
| 26      | 026      | 56.650    | 54.839    | -1.811   |       |         |       |
| 27      | 027      | 56.510    | 54.852    | -1.658   |       |         |       |
| 28      | 028      | 53.950    | 55.370    | 1.420    | 7     | -.342   | 3.230 |
| 29      | 029      | 52.720    | 55.376    | 2.656    |       |         |       |
| 30      | 030      | 53.430    | 55.479    | 2.049    |       |         |       |

**8.7. Resultados de gordura na emulsão cámea por PLS com resíduos não tratados**

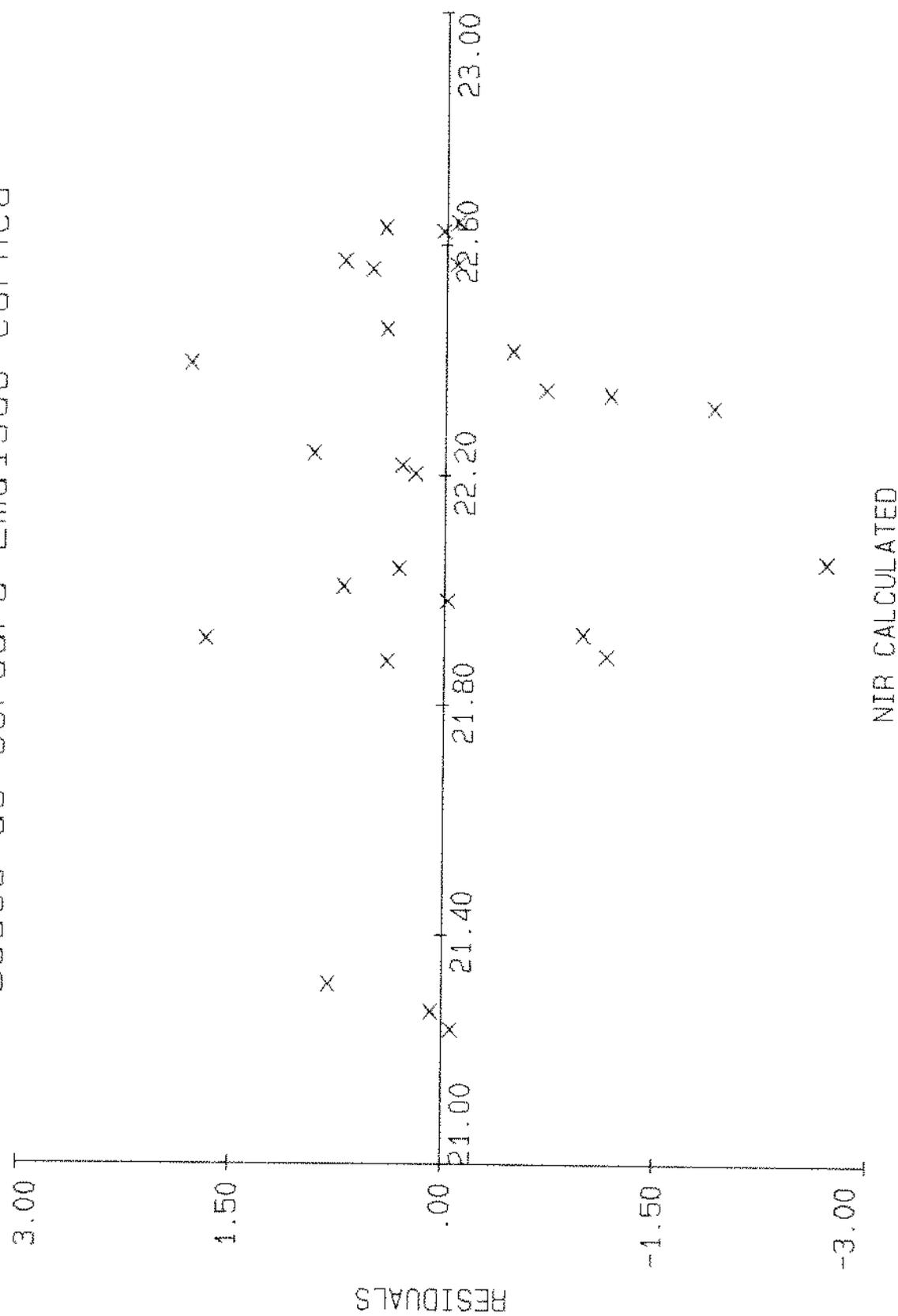
| File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEMUL                                                                                                                                                         |             | PLS Regression Results          |       |       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|-------|-------|-----------|
| Created:                                                                                                                                                                                      | Feb 7, 1997 | Number of factors computed = 15 |       |       |           |
| Time:                                                                                                                                                                                         | 15:44:50    | Factor                          | MSECV | R     | Std Error |
| Instrument:                                                                                                                                                                                   | 6500        | < 1>                            | .422  | .3112 | 1.1555    |
| Number of spectra:                                                                                                                                                                            | 30          | 2                               | .421  | .6641 | .9257     |
| Constituent: 3,                                                                                                                                                                               | gordura     | 3                               | .377  | .7359 | .8544     |
| Math: 2nd derivative                                                                                                                                                                          |             | 4                               | .353  | .7438 | .8601     |
| Segment:                                                                                                                                                                                      | 20          | 5                               | .516  | .7800 | .8218     |
| Gap:                                                                                                                                                                                          | 0           | 6                               | .676  | .8332 | .7419     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 7                               | .665  | .8773 | .6583     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 8                               | 1.071 | .8844 | .6553     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 9                               | 1.202 | .8958 | .6394     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 10                              | 1.338 | .9212 | .5741     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 11                              | 1.252 | .9366 | .5312     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 12                              | 1.191 | .9540 | .4677     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 13                              | 1.305 | .9731 | .3705     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 14                              | 1.423 | .9820 | .3142     |
|                                                                                                                                                                                               |             | 15                              | 1.478 | .9947 | .1763     |
|                                                                                                                                                                                               |             | Number of factors to use = 1    |       |       |           |
| Select<br>0 Continue<br>1 Number of factors<br>2 List residuals<br>3 Plot residuals<br>4 Plot lab<br>5 Plot MSECV vs Factor<br>6 Plot/Save loadings<br>7 Plot/Save weights<br>8 Save equation |             |                                 |       |       |           |

**8.7.1. Dados de gordura na emulsão cámea para calibração no NIRS com resíduos não tratados**

| NIRSystems Calculated Results |          |        |        |          |         |
|-------------------------------|----------|--------|--------|----------|---------|
| Spl No.                       | Spl Name | Lab %  | NIR %  | Residual | Outlier |
| 1                             | 001      | 22.040 | 22.394 | .354     |         |
| 2                             | 002      | 22.000 | 22.175 | .175     |         |
| 3                             | 003      | 21.920 | 22.171 | .251     |         |
| 4                             | 004      | 20.240 | 21.932 | 1.692    |         |
| 5                             | 005      | 22.010 | 21.965 | -.045    |         |
| 6                             | 006      | 21.300 | 21.992 | .692     |         |
| 7                             | 007      | 22.880 | 22.367 | -.513    |         |
| 8                             | 008      | 20.600 | 22.326 | 1.726    |         |
| 9                             | 009      | 21.800 | 22.350 | .550     |         |
| 10                            | 010      | 24.220 | 22.294 | -1.926   |         |
| 11                            | 011      | 23.500 | 22.304 | -1.196   |         |
| 12                            | 012      | 23.050 | 22.311 | -.739    |         |
| 13                            | 013      | 22.640 | 22.559 | -.081    |         |
| 14                            | 014      | 22.600 | 22.585 | -.015    |         |
| 15                            | 015      | 22.720 | 22.599 | -.121    |         |
| 16                            | 016      | 22.040 | 22.526 | .486     |         |
| 17                            | 017      | 21.860 | 22.537 | .677     |         |
| 18                            | 018      | 22.200 | 22.587 | .387     |         |
| 19                            | 019      | 25.090 | 22.221 | -2.869   |         |
| 20                            | 020      | 24.750 | 22.067 | -2.683   |         |
| 21                            | 021      | 21.720 | 22.025 | .305     |         |
| 22                            | 022      | 21.300 | 21.241 | -.059    |         |
| 23                            | 023      | 21.190 | 21.256 | .066     |         |
| 24                            | 024      | 20.510 | 21.294 | .784     |         |
| 25                            | 025      | 21.480 | 21.895 | .415     |         |
| 26                            | 026      | 23.030 | 21.894 | -1.136   |         |
| 27                            | 027      | 22.900 | 21.902 | -.998    |         |
| 28                            | 028      | 21.320 | 22.228 | .908     |         |
| 29                            | 029      | 20.600 | 22.232 | 1.632    |         |
| 30                            | 030      | 21.020 | 22.298 | 1.278    |         |



Dados de Gordura-Emulsao carnea



**8.7.4. Resultados estatísticos dos dados de gordura na emulsão cárnea por PLS com resíduos não tratados**

Calibration file: FATCALE      Data file: 2NDEM01

STATISTICAL SUMMARY

Bias = .000      Std. Error of Bias = .211  
 Std. Dev. of Differences = 1.14  
 Root Mean Square (RMS) = 1.14

**\*\* Information for Slope and Intercept Correction \*\***

Slope Adjustment = 1.000      Std. Error of Slope = .176  
 Intercept Adjustment = .210E-03      Std. Error of Performance = 1.14  
 Simple Correlation = .311

**\*\* Results Achievable by Eliminating Special Causes \*\***

Achievable Std. Error of Prediction = .921  
 Prediction Stability Coefficient = .811

Press any key to continue

NIRSystems Calculated Results

| Spl No. | Spl Name | Lab Value | NIR Value | Residual | Group | Average | Range |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1       | 001      | 22.040    | 22.394    | .354     |       |         |       |
| 2       | 002      | 22.000    | 22.175    | .175     |       |         |       |
| 3       | 003      | 21.920    | 22.171    | -.251    |       |         |       |
| 4       | 004      | 20.240    | 21.932    | 1.692    | 1     | .618    | 1.517 |
| 5       | 005      | 22.010    | 21.965    | -.045    |       |         |       |
| 6       | 006      | 21.300    | 21.992    | -.692    |       |         |       |
| 7       | 007      | 22.880    | 22.367    | -.513    |       |         |       |
| 8       | 008      | 20.600    | 22.326    | 1.726    | 2     | .465    | 2.240 |
| 9       | 009      | 21.800    | 22.350    | .550     |       |         |       |
| 10      | 010      | 24.220    | 22.294    | -1.926   |       |         |       |
| 11      | 011      | 23.500    | 22.304    | -1.196   |       |         |       |
| 12      | 012      | 23.050    | 22.311    | -.739    | 3     | -.828   | 2.476 |
| 13      | 013      | 22.640    | 22.559    | -.081    |       |         |       |
| 14      | 014      | 22.600    | 22.585    | -.015    |       |         |       |
| 15      | 015      | 22.720    | 22.599    | -.121    |       |         |       |
| 16      | 016      | 22.040    | 22.526    | .486     | 4     | .067    | .607  |
| 17      | 017      | 21.860    | 22.537    | .677     |       |         |       |
| 18      | 018      | 22.200    | 22.587    | .387     |       |         |       |
| 19      | 019      | 25.090    | 22.221    | -2.869   |       |         |       |
| 20      | 020      | 24.750    | 22.067    | -2.683   | 5     | -1.122  | 3.546 |
| 21      | 021      | 21.720    | 22.025    | .305     |       |         |       |
| 22      | 022      | 21.300    | 21.241    | -.059    |       |         |       |
| 23      | 023      | 21.190    | 21.256    | .066     |       |         |       |
| 24      | 024      | 20.510    | 21.294    | .784     | 6     | .274    | .843  |
| 25      | 025      | 21.480    | 21.895    | .415     |       |         |       |
| 26      | 026      | 23.030    | 21.894    | -1.136   |       |         |       |
| 27      | 027      | 22.900    | 21.902    | -.998    |       |         |       |
| 28      | 028      | 21.320    | 22.228    | .908     | 7     | -.203   | 2.044 |
| 29      | 029      | 20.600    | 22.232    | 1.632    |       |         |       |
| 30      | 030      | 21.020    | 22.298    | 1.278    |       |         |       |

**8.8. Resultados de carboidratos na emulsão cárnea por PLS com resíduos não tratados**

| <pre> File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEM01 Created: Feb 7, 1997 Time: 15:44:50 Instrument: 6500 Number of spectra: 30 Constituent: 2, carboidrat Math: 2nd derivative Segment: 20 Gap: 0                 </pre> | <p style="text-align: center;"><u>PLS Regression Results</u></p> <p>Number of factors computed = 15</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>MSECV</th> <th>R</th> <th>Std Error</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt; 1 &gt;</td><td>.002</td><td>.3121</td><td>.0863</td></tr> <tr><td>2</td><td>.002</td><td>.6670</td><td>.0689</td></tr> <tr><td>3</td><td>.002</td><td>.7297</td><td>.0644</td></tr> <tr><td>4</td><td>.002</td><td>.7376</td><td>.0649</td></tr> <tr><td>5</td><td>.003</td><td>.7722</td><td>.0623</td></tr> <tr><td>6</td><td>.004</td><td>.8268</td><td>.0564</td></tr> <tr><td>7</td><td>.004</td><td>.8725</td><td>.0501</td></tr> <tr><td>8</td><td>.006</td><td>.8777</td><td>.0503</td></tr> <tr><td>9</td><td>.007</td><td>.9076</td><td>.0451</td></tr> <tr><td>10</td><td>.008</td><td>.9182</td><td>.0437</td></tr> <tr><td>11</td><td>.007</td><td>.9335</td><td>.0406</td></tr> <tr><td>12</td><td>.007</td><td>.9517</td><td>.0358</td></tr> <tr><td>13</td><td>.008</td><td>.9717</td><td>.0284</td></tr> <tr><td>14</td><td>.009</td><td>.9811</td><td>.0240</td></tr> <tr><td>15</td><td>.009</td><td>.9948</td><td>.0131</td></tr> </tbody> </table> <p>Number of factors to use = 1</p> | Factor | MSECV     | R | Std Error | < 1 > | .002 | .3121 | .0863 | 2 | .002 | .6670 | .0689 | 3 | .002 | .7297 | .0644 | 4 | .002 | .7376 | .0649 | 5 | .003 | .7722 | .0623 | 6 | .004 | .8268 | .0564 | 7 | .004 | .8725 | .0501 | 8 | .006 | .8777 | .0503 | 9 | .007 | .9076 | .0451 | 10 | .008 | .9182 | .0437 | 11 | .007 | .9335 | .0406 | 12 | .007 | .9517 | .0358 | 13 | .008 | .9717 | .0284 | 14 | .009 | .9811 | .0240 | 15 | .009 | .9948 | .0131 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|---|-----------|-------|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|---|------|-------|-------|----|------|-------|-------|----|------|-------|-------|----|------|-------|-------|----|------|-------|-------|----|------|-------|-------|----|------|-------|-------|
| Factor                                                                                                                                                                                                           | MSECV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | R      | Std Error |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| < 1 >                                                                                                                                                                                                            | .002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .3121  | .0863     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                | .002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .6670  | .0689     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                | .002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .7297  | .0644     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                | .002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .7376  | .0649     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                | .003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .7722  | .0623     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                | .004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .8268  | .0564     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 7                                                                                                                                                                                                                | .004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .8725  | .0501     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 8                                                                                                                                                                                                                | .006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .8777  | .0503     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 9                                                                                                                                                                                                                | .007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9076  | .0451     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 10                                                                                                                                                                                                               | .008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9182  | .0437     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 11                                                                                                                                                                                                               | .007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9335  | .0406     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 12                                                                                                                                                                                                               | .007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9517  | .0358     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 13                                                                                                                                                                                                               | .008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9717  | .0284     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 14                                                                                                                                                                                                               | .009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9811  | .0240     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |
| 15                                                                                                                                                                                                               | .009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | .9948  | .0131     |   |           |       |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |   |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |    |      |       |       |

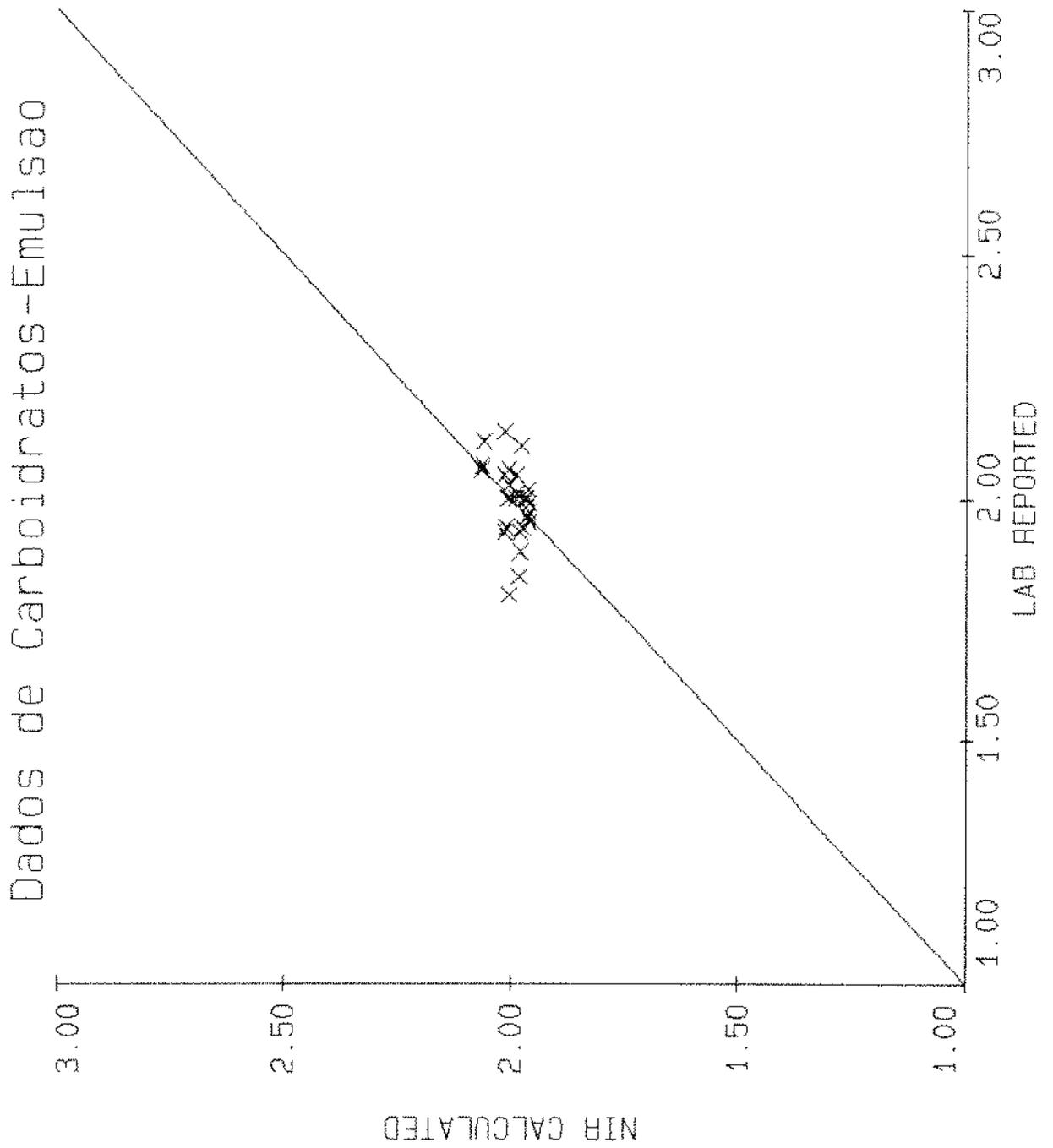
  

|                        |
|------------------------|
| Select                 |
| 0 Continue             |
| 1 Number of factors    |
| 2 List residuals       |
| 3 Plot residuals       |
| 4 Plot lab             |
| 5 Plot MSECv vs Factor |
| 6 Plot/Save loadings   |
| 7 Plot/Save weights    |
| 8 Save equation        |

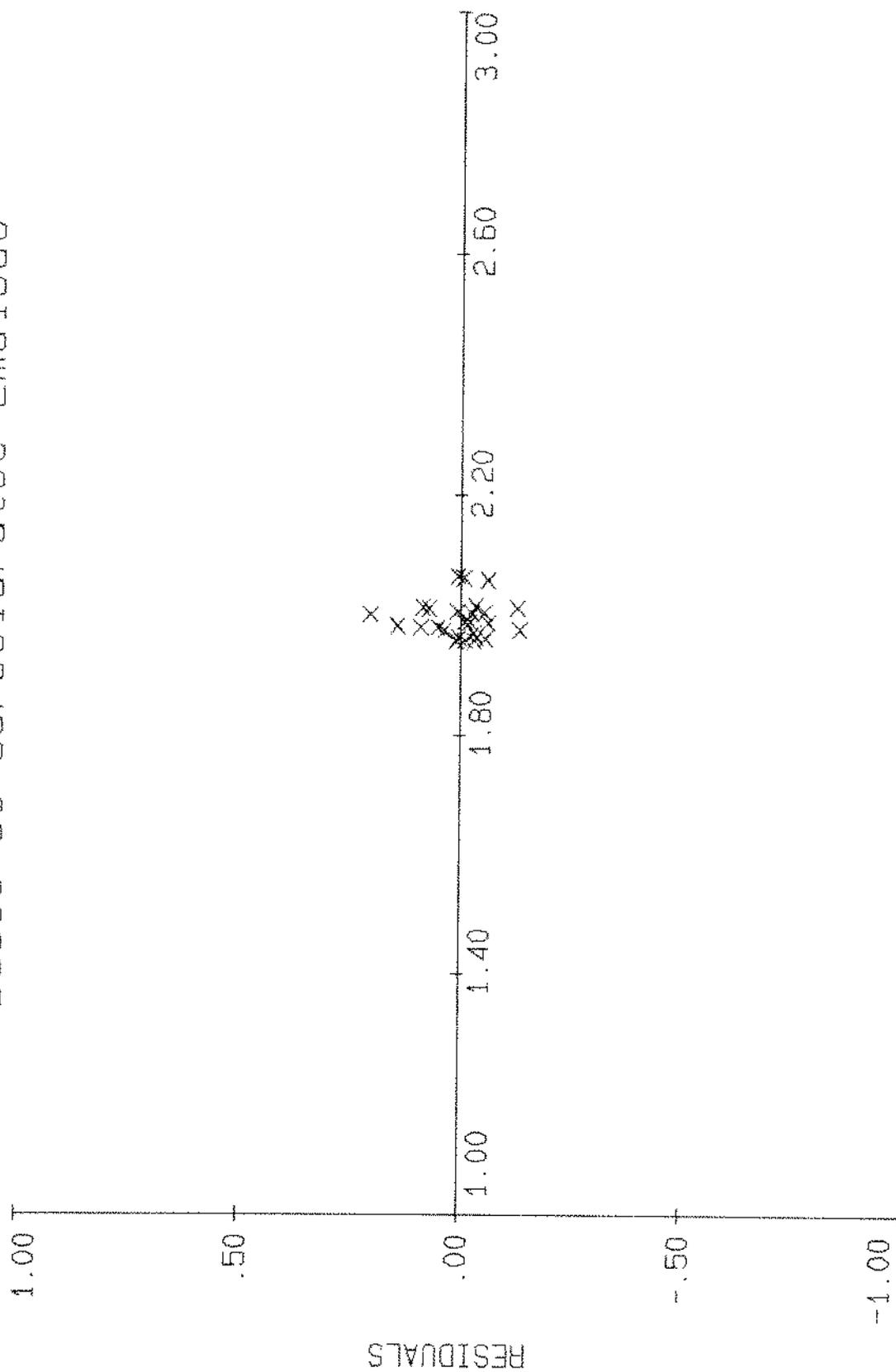
**8.8.1. Dados de carboidratos na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados**

NIRSystems Calculated Results

| Spl No. | Spl Name | Lab % | NIR % | Residual | Outlier |
|---------|----------|-------|-------|----------|---------|
| 1       | 001      | 2.000 | 1.975 | -.025    |         |
| 2       | 002      | 2.000 | 1.992 | -.008    |         |
| 3       | 003      | 2.010 | 1.992 | -.018    |         |
| 4       | 004      | 2.140 | 2.011 | -.129    |         |
| 5       | 005      | 2.000 | 2.008 | .008     |         |
| 6       | 006      | 2.060 | 2.006 | -.054    |         |
| 7       | 007      | 1.940 | 1.979 | .039     |         |
| 8       | 008      | 2.110 | 1.982 | -.128    |         |
| 9       | 009      | 2.020 | 1.980 | -.040    |         |
| 10      | 010      | 1.840 | 1.985 | .145     |         |
| 11      | 011      | 1.890 | 1.984 | .094     |         |
| 12      | 012      | 1.930 | 1.983 | .053     |         |
| 13      | 013      | 1.960 | 1.965 | .005     |         |
| 14      | 014      | 1.970 | 1.963 | -.007    |         |
| 15      | 015      | 1.950 | 1.962 | .012     |         |
| 16      | 016      | 2.000 | 1.967 | -.033    |         |
| 17      | 017      | 2.020 | 1.966 | -.054    |         |
| 18      | 018      | 1.990 | 1.962 | -.028    |         |
| 19      | 019      | 1.780 | 1.991 | .211     |         |
| 20      | 020      | 1.800 | 2.002 | .202     |         |
| 21      | 021      | 2.030 | 2.005 | -.025    |         |
| 22      | 022      | 2.060 | 2.063 | .003     |         |
| 23      | 023      | 2.070 | 2.062 | -.008    |         |
| 24      | 024      | 2.120 | 2.059 | -.061    |         |
| 25      | 025      | 2.050 | 2.014 | -.036    |         |
| 26      | 026      | 1.930 | 2.014 | .084     |         |
| 27      | 027      | 1.940 | 2.014 | .074     |         |
| 28      | 028      | 2.050 | 1.990 | -.060    |         |
| 29      | 029      | 2.110 | 1.989 | -.121    |         |
| 30      | 030      | 2.080 | 1.984 | -.096    |         |



# Dados de Carboidratos-Emulsao



NIR CALCULATED

### 8.8.4. Resultados estatísticos dos dados de carboidratos na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados

Calibration file: CARBCALE      Data file: 2NDEMUI

#### STATISTICAL SUMMARY

Bias =  $-.731E-06$       Std. Error of Bias =  $.157E-01$   
 Std. Dev. of Differences =  $.848E-01$   
 Root Mean Square (RMS) =  $.848E-01$

#### \*\* Information for Slope and Intercept Correction \*\*

Slope Adjustment = 1.000      Std. Error of Slope = .176  
 Intercept Adjustment =  $-.103E-03$       Std. Error of Performance =  $.848E-01$   
 Simple Correlation = .312

#### \*\* Results Achievable by Eliminating Special Causes \*\*

Achievable Std. Error of Prediction =  $.688E-01$   
 Prediction Stability Coefficient = .812

Press any key to continue

#### NIRSystems Calculated Results

| Spl No. | Spl Name | Lab Value | NIR Value | Residual | Group | Average | Range |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1       | 001      | 2.000     | 1.975     | -.025    |       |         |       |
| 2       | 002      | 2.000     | 1.992     | -.008    |       |         |       |
| 3       | 003      | 2.010     | 1.992     | -.018    |       |         |       |
| 4       | 004      | 2.140     | 2.011     | -.129    | 1     | -.045   | .121  |
| 5       | 005      | 2.000     | 2.008     | .008     |       |         |       |
| 6       | 006      | 2.060     | 2.006     | -.054    |       |         |       |
| 7       | 007      | 1.940     | 1.979     | .039     |       |         |       |
| 8       | 008      | 2.110     | 1.982     | -.128    | 2     | -.034   | .167  |
| 9       | 009      | 2.020     | 1.980     | -.040    |       |         |       |
| 10      | 010      | 1.840     | 1.985     | .145     |       |         |       |
| 11      | 011      | 1.890     | 1.984     | .094     |       |         |       |
| 12      | 012      | 1.930     | 1.983     | .053     | 3     | .063    | .185  |
| 13      | 013      | 1.960     | 1.965     | .005     |       |         |       |
| 14      | 014      | 1.970     | 1.963     | -.007    |       |         |       |
| 15      | 015      | 1.950     | 1.962     | .012     |       |         |       |
| 16      | 016      | 2.000     | 1.967     | -.033    | 4     | -.006   | .045  |
| 17      | 017      | 2.020     | 1.966     | -.054    |       |         |       |
| 18      | 018      | 1.990     | 1.962     | -.028    |       |         |       |
| 19      | 019      | 1.780     | 1.991     | .211     |       |         |       |
| 20      | 020      | 1.800     | 2.002     | .202     | 5     | .083    | .265  |
| 21      | 021      | 2.030     | 2.005     | -.025    |       |         |       |
| 22      | 022      | 2.060     | 2.063     | .003     |       |         |       |
| 23      | 023      | 2.070     | 2.062     | -.008    |       |         |       |
| 24      | 024      | 2.120     | 2.059     | -.061    | 6     | -.023   | .065  |
| 25      | 025      | 2.050     | 2.014     | -.036    |       |         |       |
| 26      | 026      | 1.930     | 2.014     | .084     |       |         |       |
| 27      | 027      | 1.940     | 2.014     | .074     |       |         |       |
| 28      | 028      | 2.050     | 1.990     | -.060    | 7     | .015    | .145  |
| 29      | 029      | 2.110     | 1.989     | -.121    |       |         |       |
| 30      | 030      | 2.080     | 1.984     | -.096    |       |         |       |

### 8.9. Resultados de resíduo mineral fixo na emulsão cárnica por PLS com resíduos não tratados

```
File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEMUI
Created: Feb 7, 1997
Time: 15:44:50
Instrument: 6500
Number of spectra: 30
Constituent: 5, ResMinFix
Math: 2nd derivative
Segment: 20
Gap: 0
```

- ```
Select
0 Continue
1 Number of factors
2 List residuals
3 Plot residuals
4 Plot lab
5 Plot MSECY vs Factor
6 Plot/Save loadings
7 Plot/Save weights
8 Save equation.
```

#### PLS Regression Results

Number of factors computed = 15

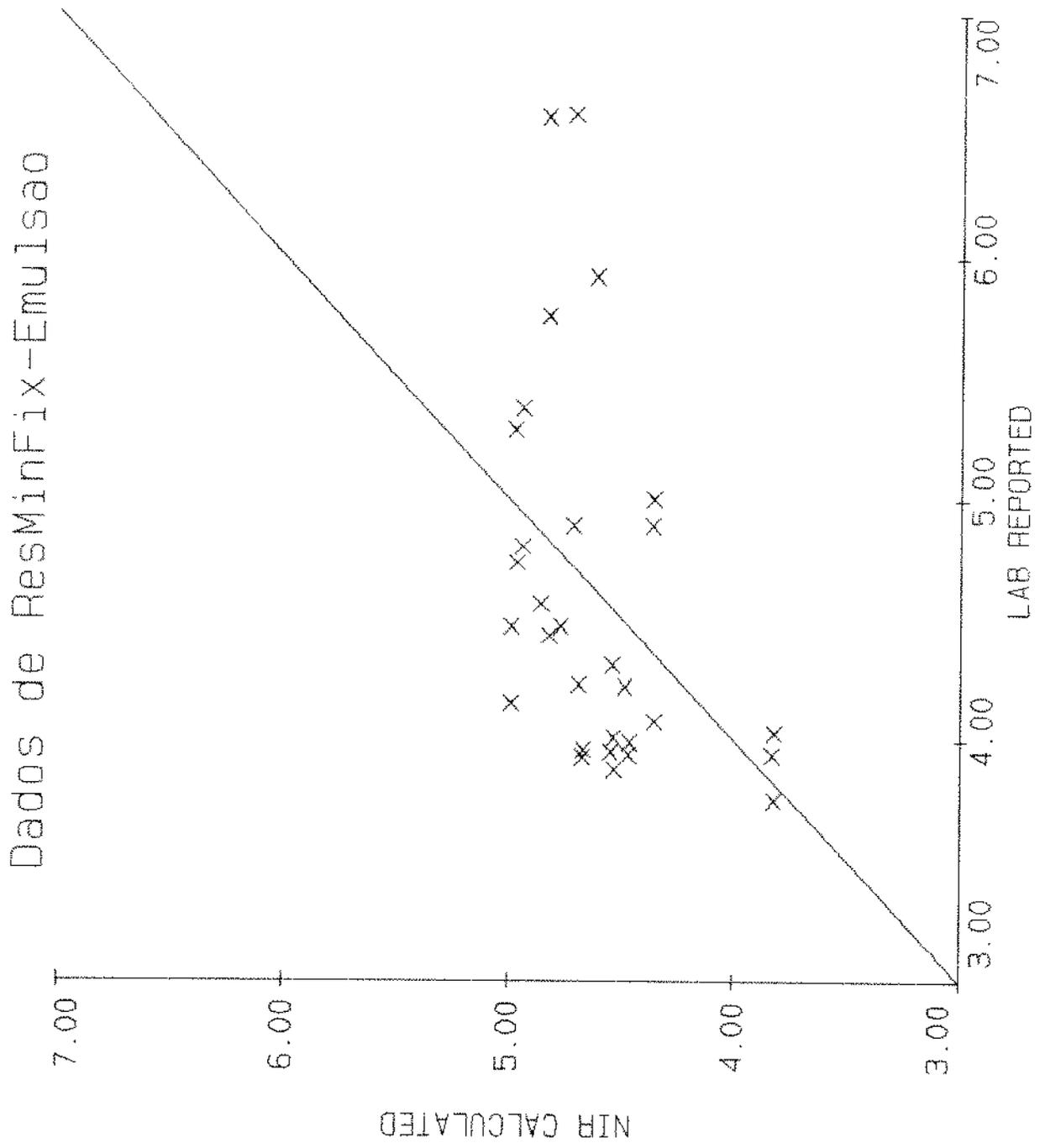
Factor	MSECV	R	Std Error
< 1 >	.159	.4210	.7211
2	.156	.5476	.6774
3	.307	.5872	.6679
4	.335	.6629	.6300
5	.303	.7759	.5417
6	.295	.8358	.481e
7	.271	.8631	.4530
8	.322	.8781	.4442
9	.259	.8967	.4168
10	.246	.9300	.3548
11	.269	.9502	.3091
12	.269	.9623	.2774
13	.280	.9771	.2236
14	.335	.9908	.1534
15	.340	.9947	.1156

Number of factors to use = 1

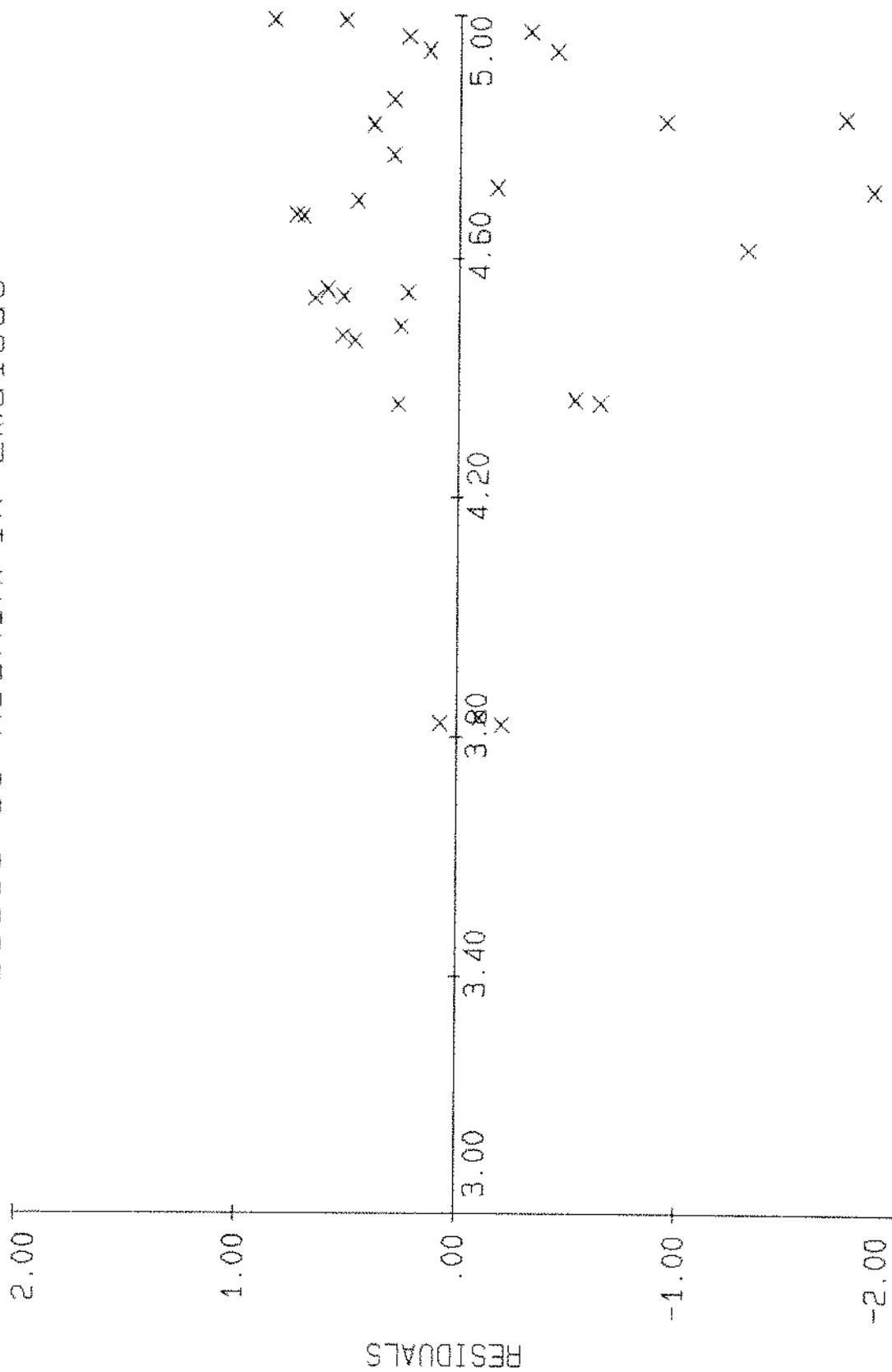
### 8.9.1 Dados de resíduo mineral fixo na emulsão cárnica para calibração no NIRS com resíduos não tratados

#### NIRSystems Calculated Results

Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	001	4.470	4.771	.301	
2	002	3.940	4.469	.529	
3	003	3.990	4.461	.471	
4	004	3.880	4.531	.651	
5	005	4.010	4.536	.526	
6	006	3.950	4.547	.597	
7	007	4.560	4.860	.300	
8	008	4.430	4.820	.390	
9	009	5.760	4.826	-.934	
10	010	4.230	4.693	.463	
11	011	3.930	4.671	.741	
12	012	3.960	4.668	.708	
13	013	5.290	4.972	-.318	
14	014	4.470	4.991	.521	
15	015	4.150	4.991	.841	
16	016	5.380	4.940	-.440	
17	017	4.800	4.942	.142	
18	018	4.730	4.964	.234	
19	019	5.920	4.616	-1.304	
20	020	4.310	4.542	.232	
21	021	4.220	4.485	.265	
22	022	3.940	3.834	-.106	
23	023	4.030	3.822	-.208	
24	024	3.750	3.825	.075	
25	025	4.890	4.362	-.528	
26	026	4.080	4.355	.275	
27	027	5.000	4.357	-.643	
28	028	4.890	4.716	-.174	
29	029	6.580	4.713	-1.867	
30	030	6.570	4.832	-1.738	



Dados de ResMinFix-Emulsao



### 8.9.4. Resultados de resíduo mineral fixo na emulsão cárnea por PLS com resíduos tratados

<pre> File: C:\NIRS\NEWEMO1\EMULSAO\2NDEMU1 Created:      Feb  7, 1997 Time:        15:44:50 Instrument:   6500 Number of spectra: 26 Constituent: 5,      ResMinFix Math:        2nd derivative               Segment: 20               Gap:     0           </pre>	<p style="text-align: center;">PLS Regression Results</p> <hr/> <p>Number of factors computed = 15</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>MSECV</th> <th>R</th> <th>Std Error</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt; 1 &gt;</td><td>.046</td><td>.4906</td><td>.4085</td></tr> <tr><td>2</td><td>.043</td><td>.5712</td><td>.3931</td></tr> <tr><td>3</td><td>.039</td><td>.7373</td><td>.3308</td></tr> <tr><td>4</td><td>.045</td><td>.7517</td><td>.3305</td></tr> <tr><td>5</td><td>.040</td><td>.7984</td><td>.3092</td></tr> <tr><td>6</td><td>.045</td><td>.8301</td><td>.2938</td></tr> <tr><td>7</td><td>.053</td><td>.8852</td><td>.2518</td></tr> <tr><td>8</td><td>.060</td><td>.9048</td><td>.2372</td></tr> <tr><td>9</td><td>.065</td><td>.9447</td><td>.1883</td></tr> <tr><td>10</td><td>.063</td><td>.9587</td><td>.1686</td></tr> <tr><td>11</td><td>.067</td><td>.9728</td><td>.1421</td></tr> <tr><td>12</td><td>.069</td><td>.9834</td><td>.1155</td></tr> <tr><td>13</td><td>.070</td><td>.9922</td><td>.0825</td></tr> <tr><td>14</td><td>.070</td><td>.9961</td><td>.0608</td></tr> <tr><td>15</td><td>.068</td><td>.9969</td><td>.0568</td></tr> </tbody> </table> <p>Number of factors to use = 1</p>	Factor	MSECV	R	Std Error	< 1 >	.046	.4906	.4085	2	.043	.5712	.3931	3	.039	.7373	.3308	4	.045	.7517	.3305	5	.040	.7984	.3092	6	.045	.8301	.2938	7	.053	.8852	.2518	8	.060	.9048	.2372	9	.065	.9447	.1883	10	.063	.9587	.1686	11	.067	.9728	.1421	12	.069	.9834	.1155	13	.070	.9922	.0825	14	.070	.9961	.0608	15	.068	.9969	.0568
Factor	MSECV	R	Std Error																																																														
< 1 >	.046	.4906	.4085																																																														
2	.043	.5712	.3931																																																														
3	.039	.7373	.3308																																																														
4	.045	.7517	.3305																																																														
5	.040	.7984	.3092																																																														
6	.045	.8301	.2938																																																														
7	.053	.8852	.2518																																																														
8	.060	.9048	.2372																																																														
9	.065	.9447	.1883																																																														
10	.063	.9587	.1686																																																														
11	.067	.9728	.1421																																																														
12	.069	.9834	.1155																																																														
13	.070	.9922	.0825																																																														
14	.070	.9961	.0608																																																														
15	.068	.9969	.0568																																																														

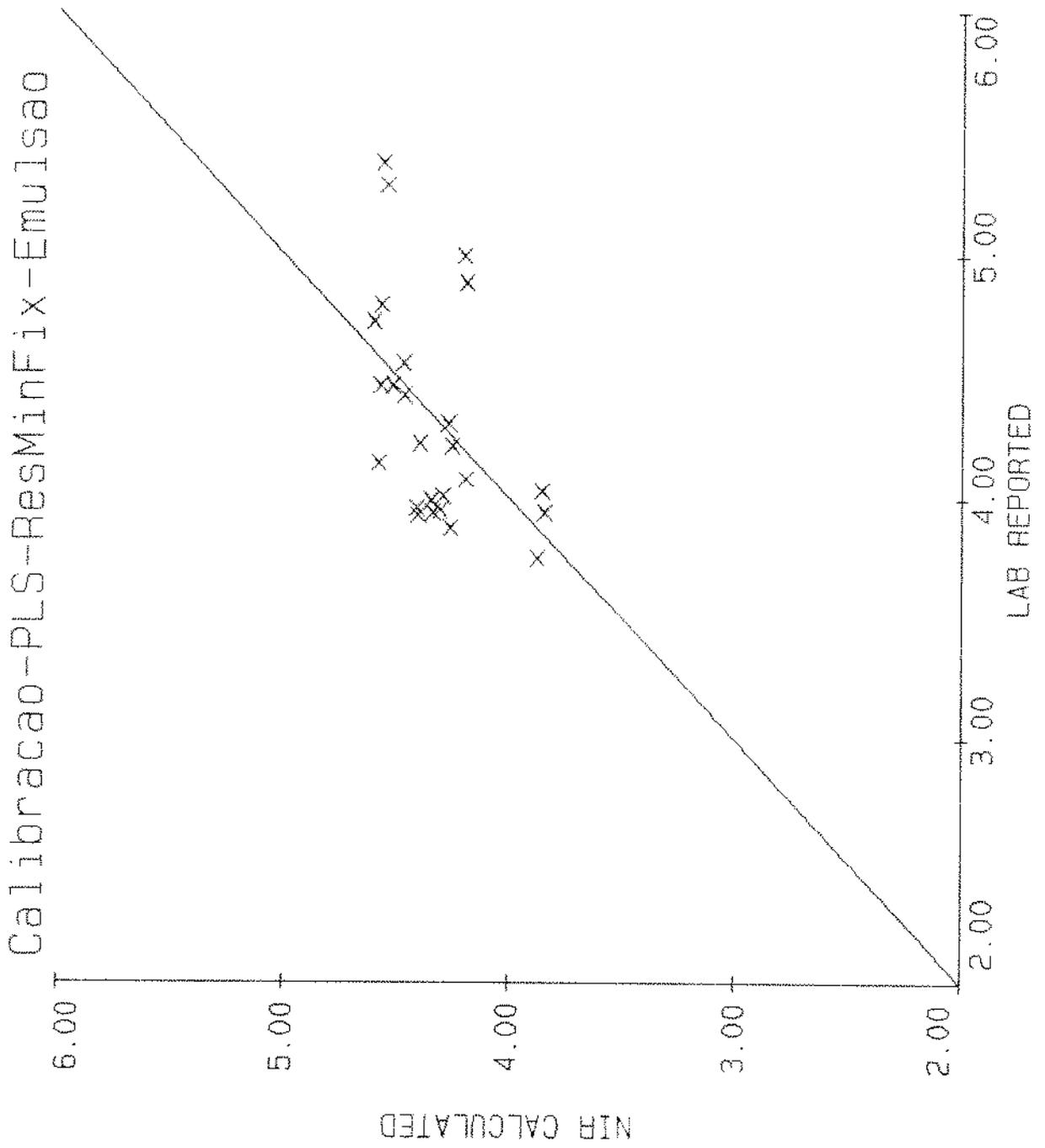
  

<pre> Select 0 Continue 1 Number of factors 2 List residuals 3 Plot residuals 4 Plot lab 5 Plot MSECV vs Factor 6 Plot/Save loadings 7 Plot/Save weights 8 Save equation           </pre>
---

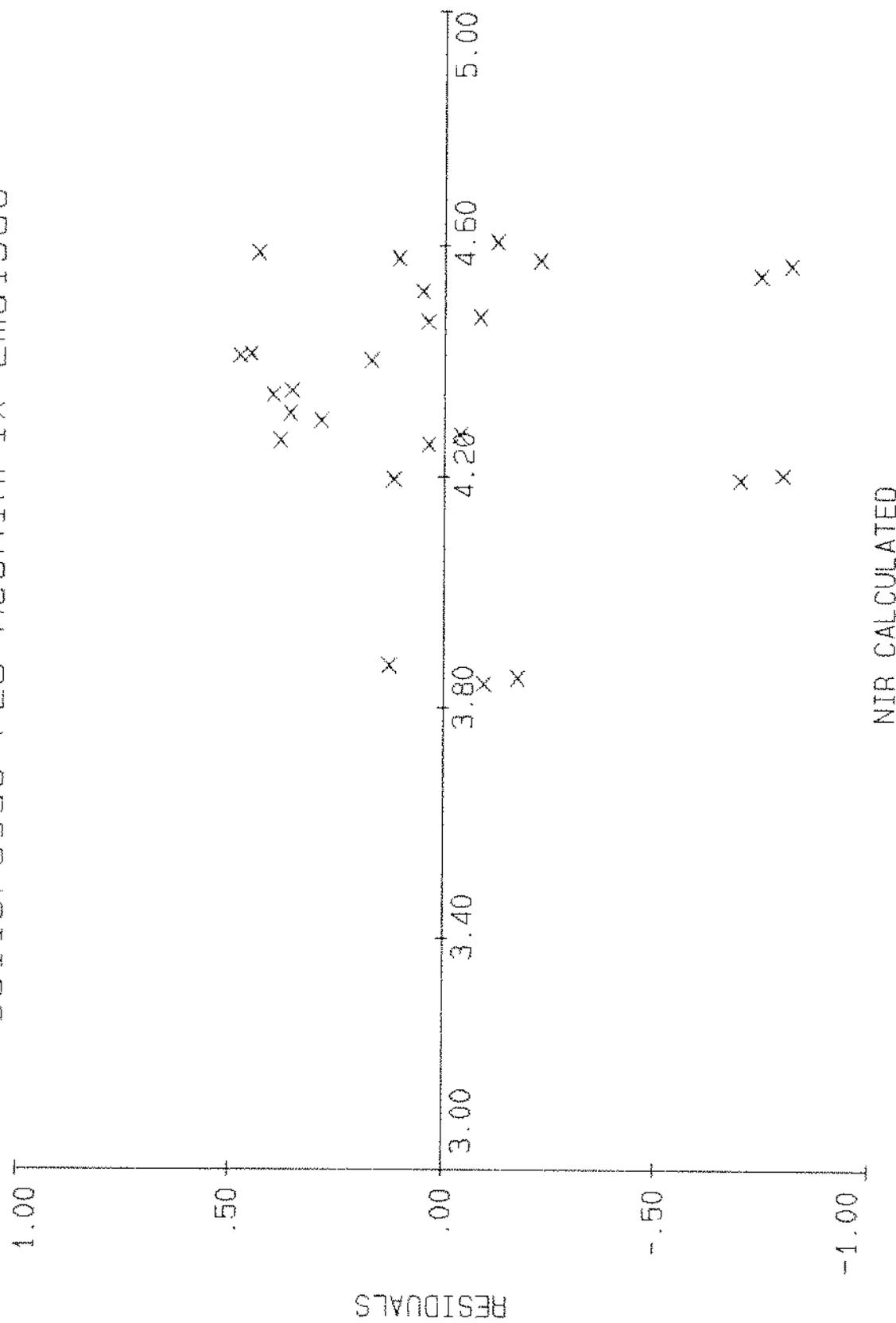
### 8.9.5. Dados de resíduo mineral fixo na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos tratados

NIRSystems Calculated Results

Spl No.	Spl Name	Lab ‡	NIR ‡	Residual	Outlier
1	001	4.470	4.538	.068	
2	002	3.940	4.351	.411	
3	003	3.990	4.356	.366	
4	004	3.880	4.283	.403	
5	005	4.010	4.314	.304	
6	006	3.950	4.327	.377	
7	007	4.560	4.503	-.057	
8	008	4.430	4.493	.063	
10	010	4.230	4.423	.193	
11	011	3.930	4.427	.497	
12	012	3.960	4.431	.471	
13	013	5.290	4.578	-.712	
14	014	4.470	4.606	.136	
15	015	4.150	4.614	.464	
16	016	5.380	4.593	-.787	
17	017	4.800	4.599	-.201	
18	018	4.730	4.630	-.100	
20	020	4.310	4.294	-.016	
21	021	4.220	4.276	.056	
22	022	3.940	3.851	-.089	
23	023	4.030	3.859	-.171	
24	024	3.750	3.880	.130	
25	025	4.890	4.210	-.680	
26	026	4.080	4.211	.131	
27	027	5.000	4.218	-.782	
28	028	4.890	4.415	-.475	



# Calibracao-PLS-ResMinFix-Emulsao



**8.9.8. Resultados estatísticos dos dados de resíduo mineral fixo na emulsão  
cárnea por PLS com resíduos tratados**

Calibration file: RESCALE      Data file: 2NDEMUI

STATISTICAL SUMMARY

Bias = -.237      Std. Error of Bias = .135  
 Std. Dev. of Differences = .731  
 Root Mean Square (RMS) = .769

**\*\* Information for Slope and Intercept Correction \*\***

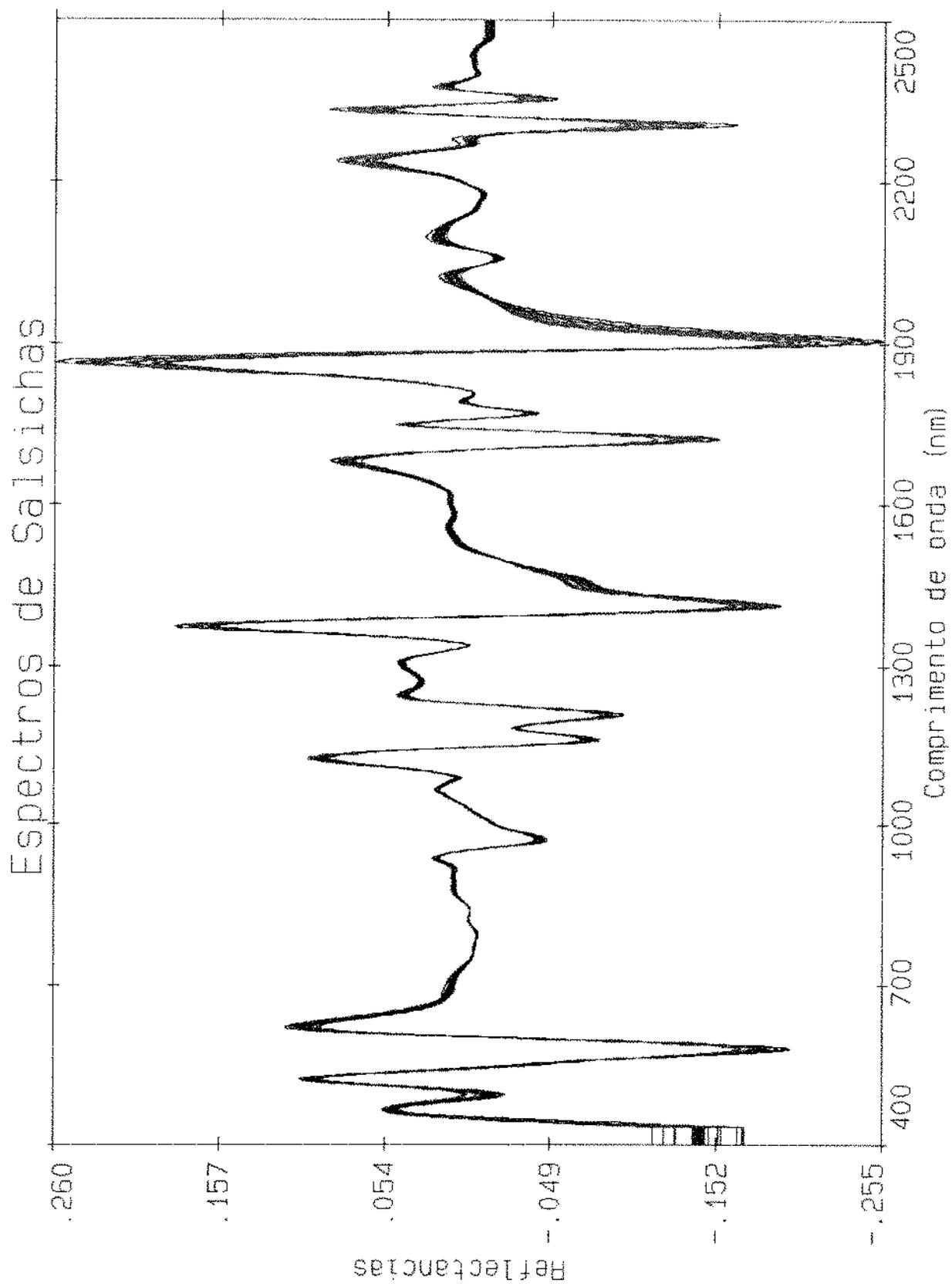
Slope Adjustment = 1.345      Std. Error of Slope = .173  
 Intercept Adjustment = -1.27      Std. Error of Performance = .727  
    Simple Correlation = .366

**\*\* Results Achievable by Eliminating Special Causes \*\***

Achievable Std. Error of Prediction = .456  
 Prediction Stability Coefficient = .593

Press any key to continue

Spl No.	Spl Name	Lab Value	NIR Value	Residual	Group	Average	Range
1	001	4.470	4.538	.068			
2	002	3.940	4.351	.411			
3	003	3.990	4.356	.366			
4	004	3.880	4.283	.403	1	.312	.343
5	005	4.010	4.314	.304			
6	006	3.950	4.327	.377			
7	007	4.560	4.503	-.057			
8	008	4.430	4.493	.063	2	.172	.434
9	009	5.760	4.504	-1.256			
10	010	4.230	4.423	.193			
11	011	3.930	4.427	.497			
12	012	3.960	4.431	.471	3	-.024	1.753
13	013	5.290	4.578	-.712			
14	014	4.470	4.606	.136			
15	015	4.150	4.614	.464			
16	016	5.380	4.593	-.787	4	-.225	1.251
17	017	4.800	4.599	-.201			
18	018	4.730	4.630	-.100			
19	019	5.920	4.321	-1.599			
20	020	4.310	4.294	-.016	5	-.479	1.583
21	021	4.220	4.276	.056			
22	022	3.940	3.851	-.089			
23	023	4.030	3.859	-.171			
24	024	3.750	3.880	.130	6	-.019	.301
25	025	4.890	4.210	-.680			
26	026	4.080	4.211	.131			
27	027	5.000	4.218	-.782			
28	028	4.890	4.415	-.475	7	-.452	.913
29	029	6.580	4.419	-2.161			
30	030	6.570	4.483	-2.087			



**8.11. Resultados de proteína nas salsichas industrializadas por PLS com resíduo não tratados**

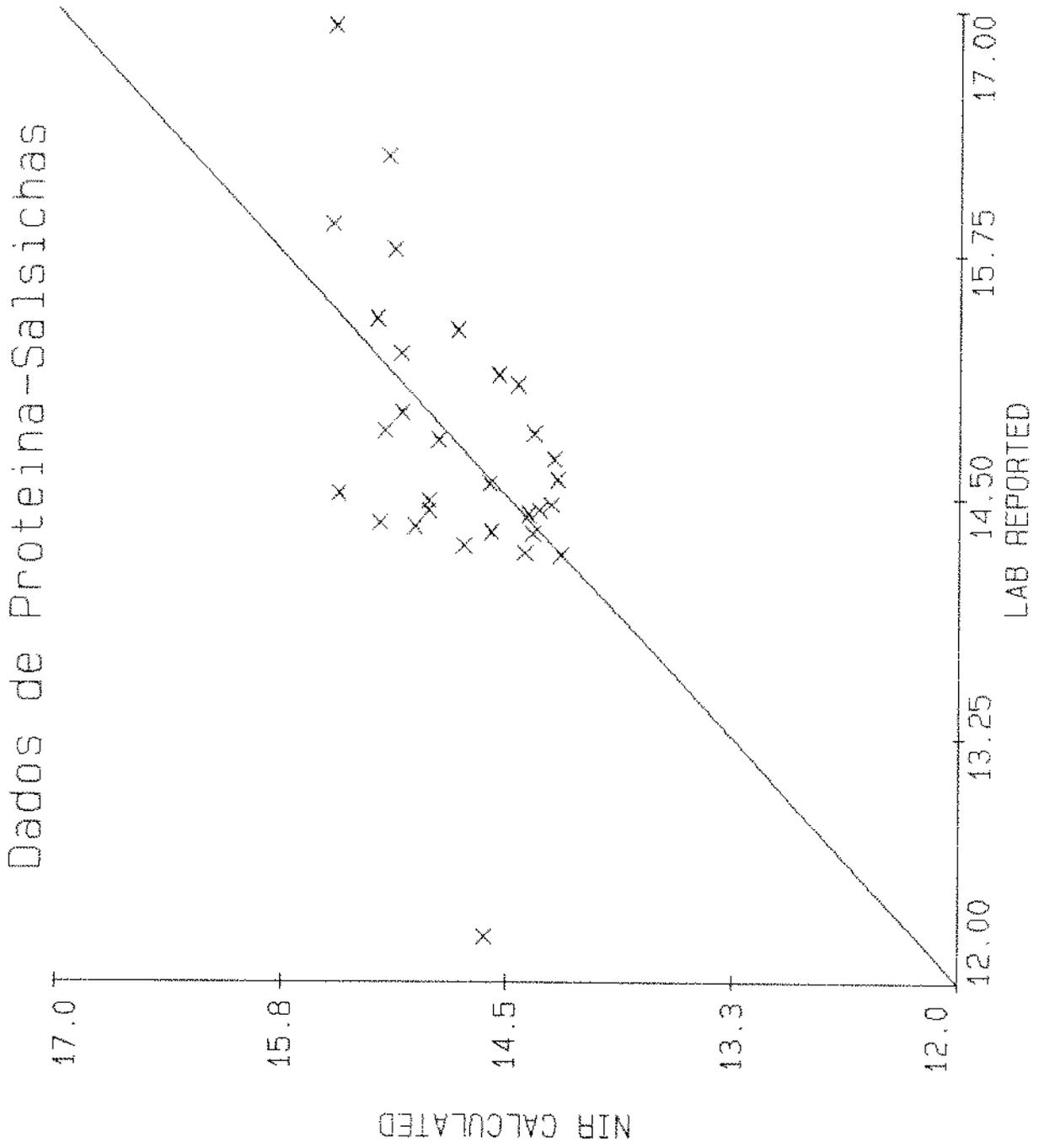
		PLS Regression Results			
File:	C:\NIRS\NEWEMO1\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15			
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error
Time:	20:55:52	< 1>	.171	.5038	.7141
Instrument:	6500	2	.208	.5664	.6938
Number of spectra:	30	3	.206	.6277	.6679
Constituent: 1,	PROTEINA	4	.242	.6520	.6634
Math:	2nd derivative	5	.241	.6928	.6439
Segment:	20	6	.247	.7258	.6275
Gap:	0	7	.269	.8147	.5408
		8	.238	.8491	.5043
		9	.248	.8972	.4320
		10	.253	.9288	.3719
		11	.246	.9410	.3489
		12	.274	.9672	.2693
		13	.304	.9767	.2347
		14	.306	.9856	.1908
		15	.304	.9932	.1359
		Number of factors to use = 1			

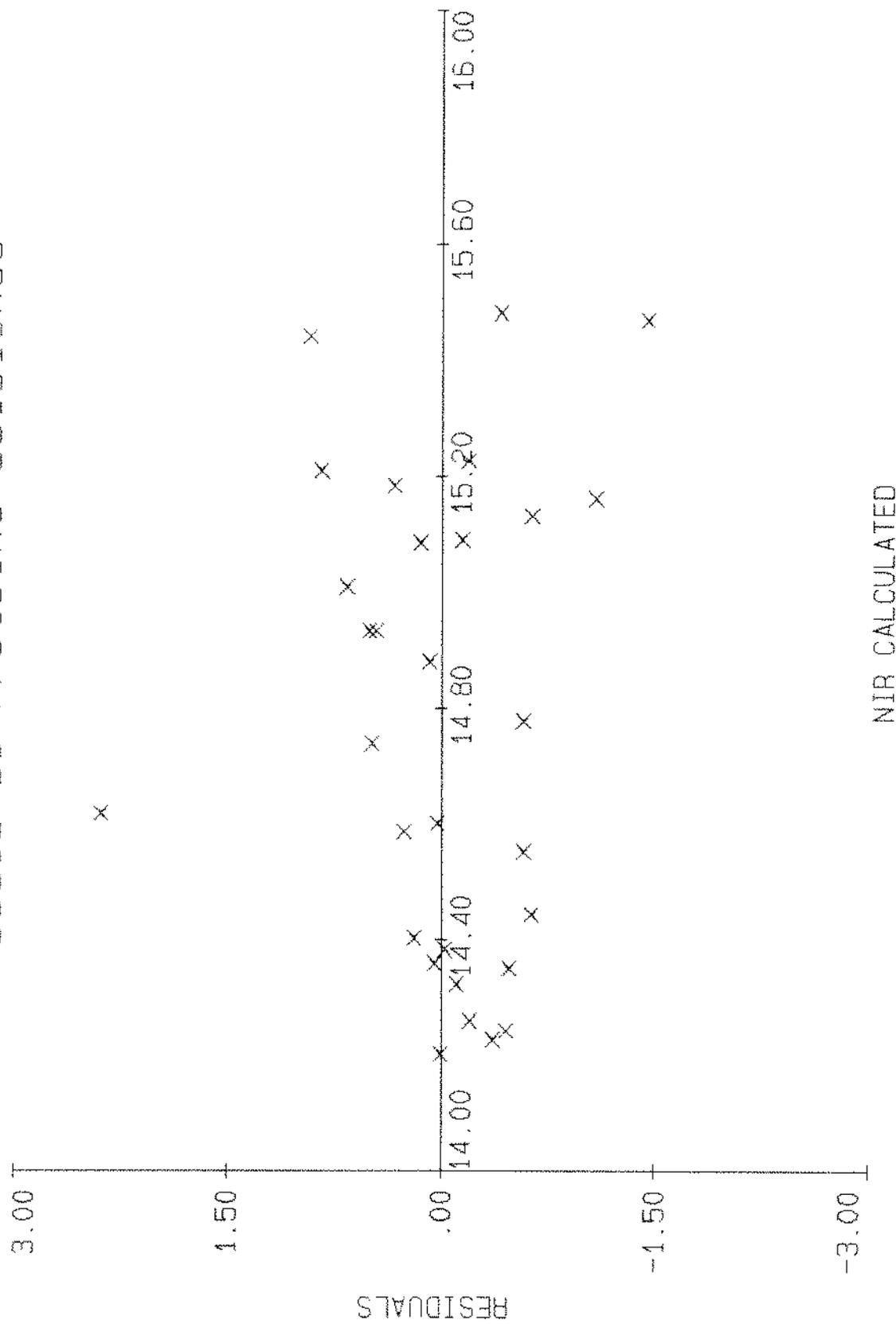
Select	
0	Continue
1	Number of factors
2	List residuals
3	Plot residuals
4	Plot lab
5	Plot MSECv vs Factor
6	Plot/Save loadings
7	Plot/Save weights
8	Save equation

**8.11.1. Dados de proteína nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados**

Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	031	14.250	14.739	.489	
2	032	15.080	14.443	-.637	
3	033	14.430	14.323	-.107	
4	034	12.230	14.618	2.388	Residual
5	035	14.590	14.227	-.363	
6	036	14.200	14.203	.003	
7	037	14.410	14.383	-.027	
8	038	14.700	14.243	-.457	
9	039	14.460	14.260	-.200	
10	040	15.130	14.550	-.580	
11	041	14.830	14.350	-.480	
12	042	14.310	14.360	.050	
13	043	14.210	14.403	.193	
14	044	14.320	14.585	.265	
15	045	14.570	14.600	.030	
16	046	15.360	14.778	-.582	
17	047	14.350	15.012	.662	
18	048	15.240	15.093	-.147	
19	049	14.800	14.883	.083	
20		14.480	14.936	.456	
21	051	14.430	14.936	.506	
22	052	14.850	15.184	.334	
23	053	14.370	15.210	.840	
24	054	15.420	15.228	-.192	
25	055	14.520	15.440	.920	
26	056	16.920	15.469	-1.451	
27	057	15.900	15.481	-.419	
28	058	14.940	15.088	.148	
29	059	15.770	15.133	-.637	
30	060	16.250	15.163	-1.087	



# Dados de Proteína-Salsichas

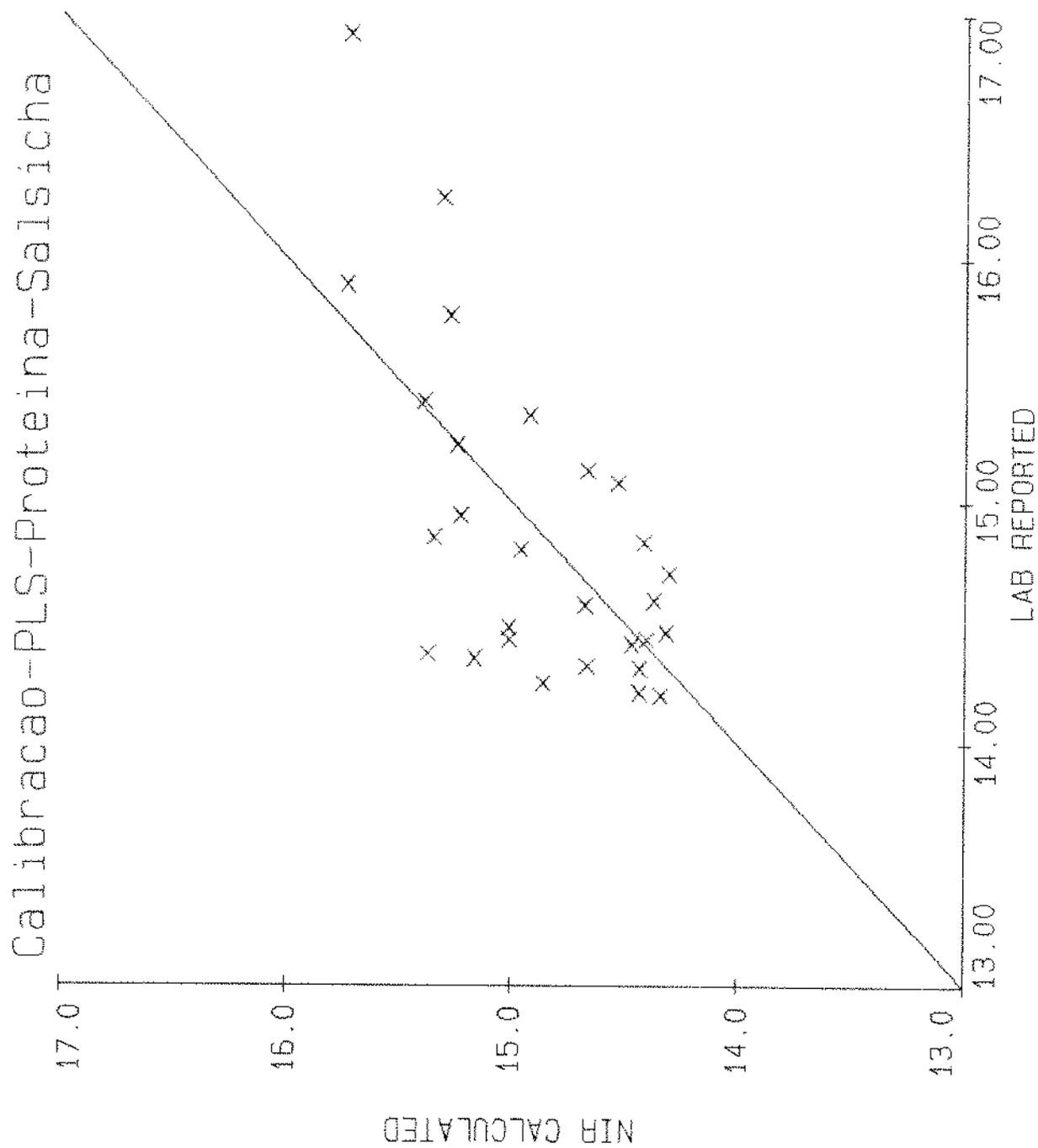


### 8.11.4. Resultados de proteína nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados

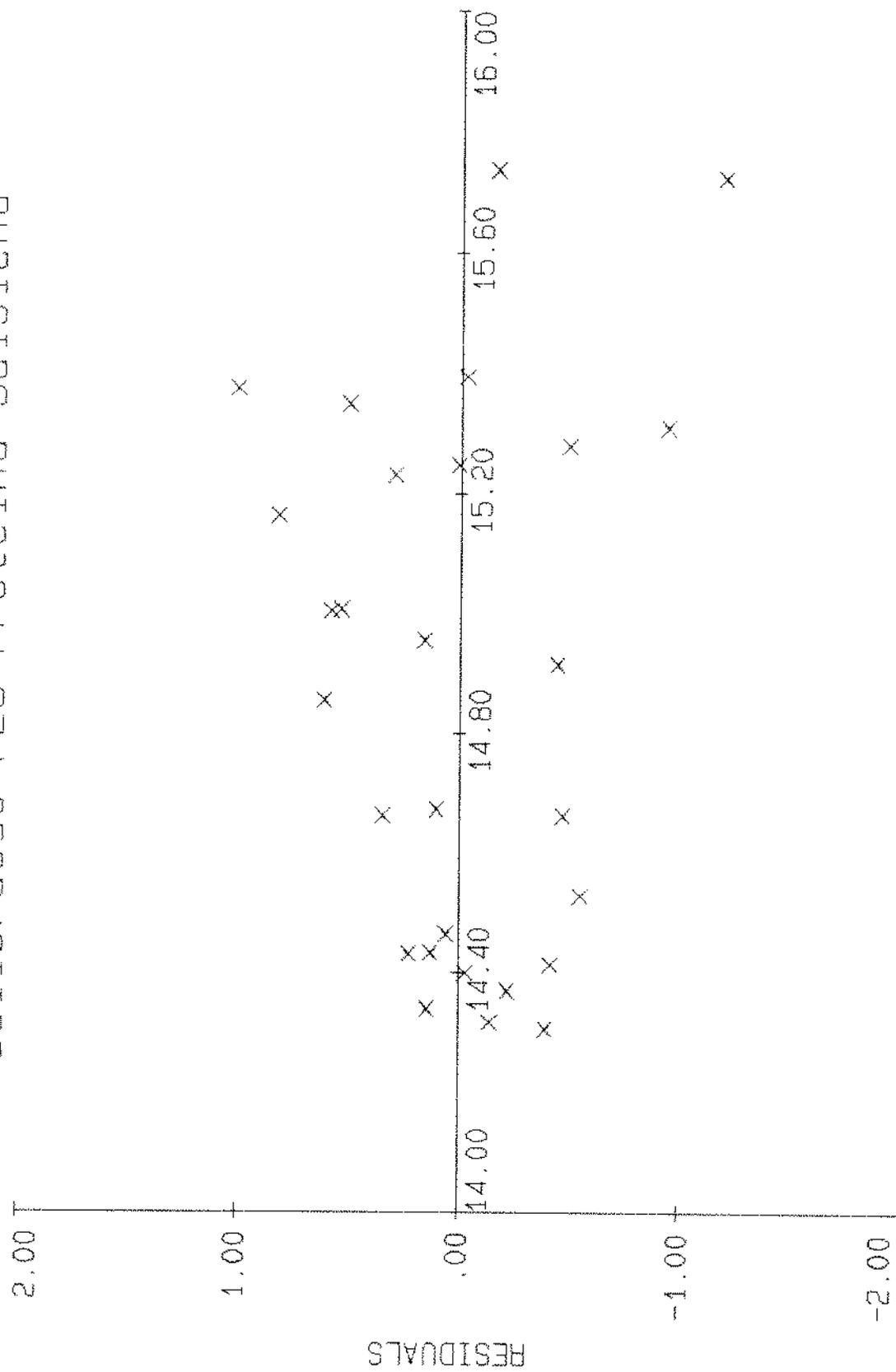
		PLS Regression Results			
File:	C:\NIRS\NEWEMOI\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15			
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error
Time:	20:55:52	< 1>	.100	.6612	.5160
Instrument:	6500	2	.092	.7288	.4803
Number of spectra:	28	3	.102	.7807	.4474
Constituent: 1,	PROTEINA	4	.108	.8363	.4010
Math:	2nd derivative	5	.116	.8397	.4060
Segment:	20	6	.099	.8569	.3945
Gap:	0	7	.135	.8759	.3783
		8	.167	.9074	.3382
		9	.177	.9549	.2456
		10	.194	.9648	.2236
		11	.215	.9786	.1805
		12	.208	.9850	.1564
		13	.191	.9898	.1337
		14	.192	.9956	.0909
		15	.190	.9990	.0453
		Number of factors to use = 1			
	Select				
	0 Continue				
	1 Number of factors				
	2 List residuals				
	3 Plot residuals				
	4 Plot lab				
	5 Plot MSECV vs Factor				
	6 Plot/Save loadings				
	7 Plot/Save weights				
	8 Save equation				

### 8.11.5. Dados de proteína nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados

NIRSystems Calculated Results					
Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	031	14.250	14.857	.607	
2	032	15.080	14.528	-.552	
3	033	14.430	14.400	-.030	
5	035	14.590	14.370	-.220	
6	036	14.200	14.341	.141	
7	037	14.410	14.465	.055	
8	038	14.700	14.306	-.394	
9	039	14.460	14.319	-.141	
10	040	15.130	14.662	-.468	
11	041	14.830	14.415	-.415	
12	042	14.310	14.434	.124	
13	043	14.210	14.432	.222	
14	044	14.320	14.662	.342	
15	045	14.570	14.672	.102	
16	046	15.360	14.918	-.442	
17	047	14.350	15.166	.816	
18	048	15.240	15.247	.007	
19	049	14.800	14.958	.158	
20		14.480	15.010	.530	
21	051	14.430	15.008	.578	
22	052	14.850	15.348	.498	
23	053	14.370	15.374	1.004	
24	054	15.420	15.393	-.027	
26	056	16.920	15.726	-1.194	
27	057	15.900	15.738	-.162	
28	058	14.940	15.231	.291	
29	059	15.770	15.279	-.491	
30	060	16.250	15.311	-.939	



# Calibracao-PLS-Proteina-Salsicha



### 8.12. Resultados de umidade nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados

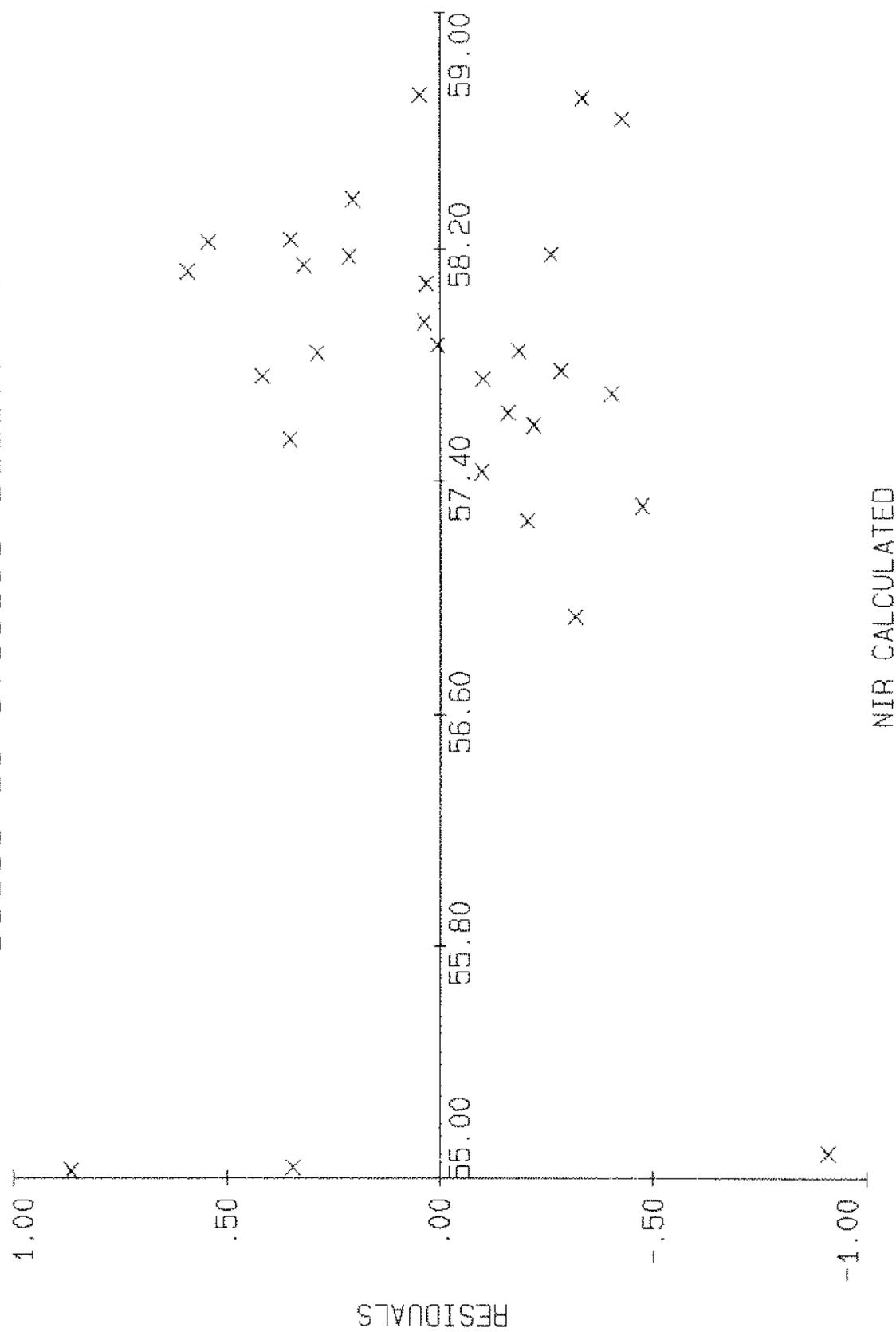
		PLS Regression Results																																																															
File:	C:\NIRS\NEWEMO1\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15																																																															
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error																																																												
Time:	20:55:52	1	.215	.5723	.8647																																																												
Instrument:	6500	2	.152	.7624	.6948																																																												
Number of spectra:	30	3	.120	.8542	.5688																																																												
Constituent:	2, UMIDADE	4	.098	.8813	.5273																																																												
Math:	2nd derivative	< 5 >	.086	.9303	.4176																																																												
Segment:	20	6	.079	.9430	.3873																																																												
Gap:	0	7	.071	.9552	.3521																																																												
		8	.069	.9586	.3468																																																												
		9	.083	.9671	.3176																																																												
		10	.099	.9817	.2440																																																												
		11	.108	.9851	.2261																																																												
		12	.113	.9921	.1697																																																												
		13	.122	.9935	.1582																																																												
		14	.124	.9966	.1185																																																												
		15	.127	.9982	.0902																																																												
		Number of factors to use = 5																																																															
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">Select</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Continue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Number of factors</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>List residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plot residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Plot lab</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Plot MSECv vs Factor</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Plot/Save loadings</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Plot/Save weights</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Save equation</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Select						0	Continue					1	Number of factors					2	List residuals					3	Plot residuals					4	Plot lab					5	Plot MSECv vs Factor					6	Plot/Save loadings					7	Plot/Save weights					8	Save equation				
Select																																																																	
0	Continue																																																																
1	Number of factors																																																																
2	List residuals																																																																
3	Plot residuals																																																																
4	Plot lab																																																																
5	Plot MSECv vs Factor																																																																
6	Plot/Save loadings																																																																
7	Plot/Save weights																																																																
8	Save equation																																																																

#### 8.12.1. Dados de umidade nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados

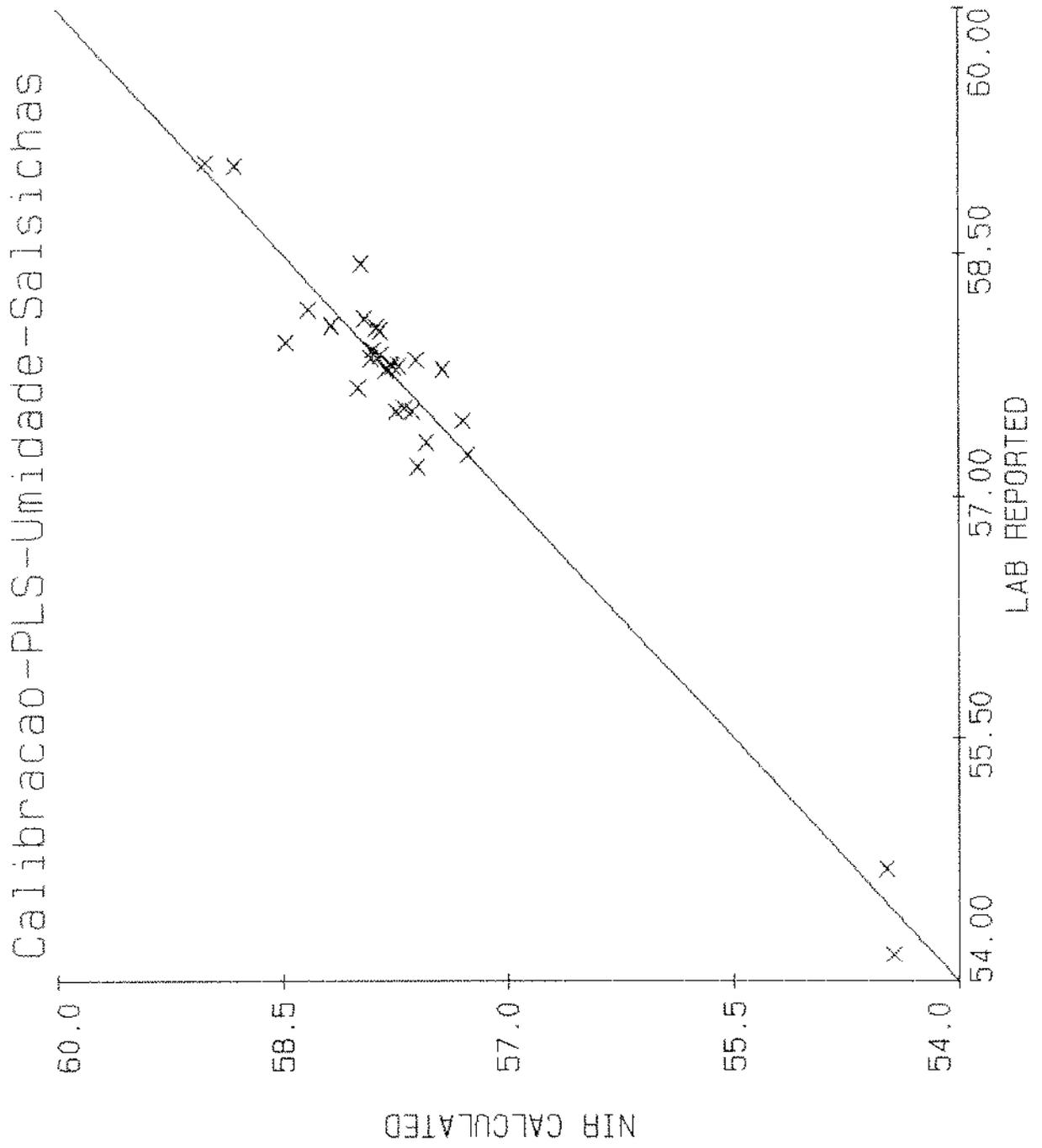
Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	031	57.470	57.265	-.205	
2	032	57.860	57.866	.006	
3	033	58.060	57.774	-.286	
4	034	57.260	56.941	-.319	
5	035	58.030	57.845	-.185	
6	036	57.910	57.945	.035	
7	037	57.850	57.748	-.102	
8	038	57.790	57.316	-.474	
9	039	57.530	57.431	-.099	
10	040	57.550	57.838	.288	
11	041	57.340	57.757	.417	
12	042	57.530	58.122	.592	
13	043	58.160	58.363	.203	
14	044	57.820	58.139	.319	
15	045	57.880	58.231	.351	
16	046	57.960	58.172	.212	
17	047	58.100	57.696	-.404	
18	048	57.790	57.632	-.158	
19	049	59.060	58.633	-.427	
20		58.670	58.717	.047	
21	051	59.040	58.706	-.334	
22	052	58.050	58.079	.029	
23	053	58.440	58.177	-.263	
24	054	57.680	58.222	.542	
25	055	54.690	55.036	.346	
26	056	54.160	55.025	.865	
27	057	55.990	55.082	-.908	
28	058	57.810	57.589	-.221	
29	059	57.810	57.590	-.220	
30	060	57.190	57.543	.353	



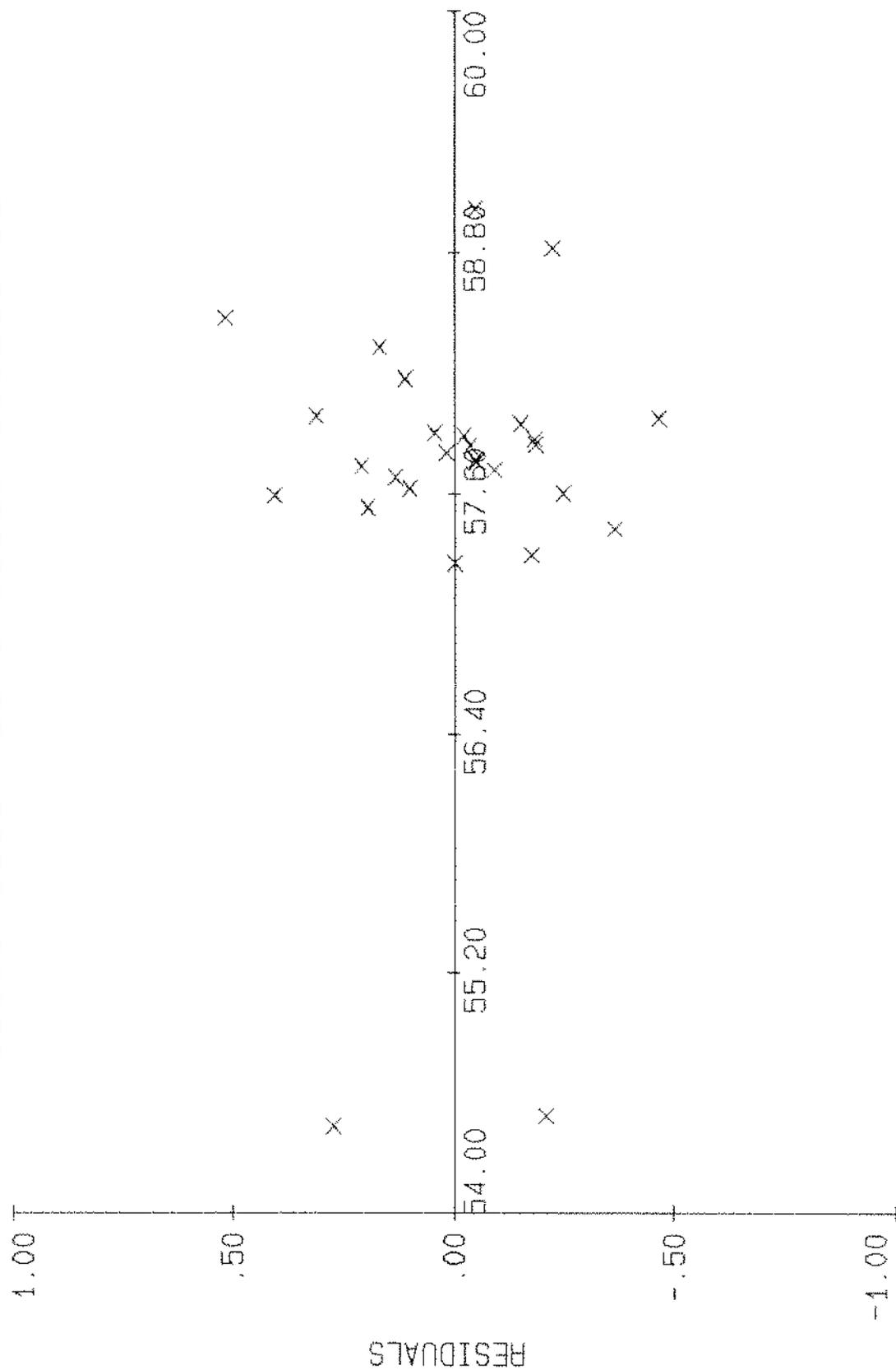
Dados de Umidade-Salsichas







# Calibracao-PLS-Umidade-Salsichas

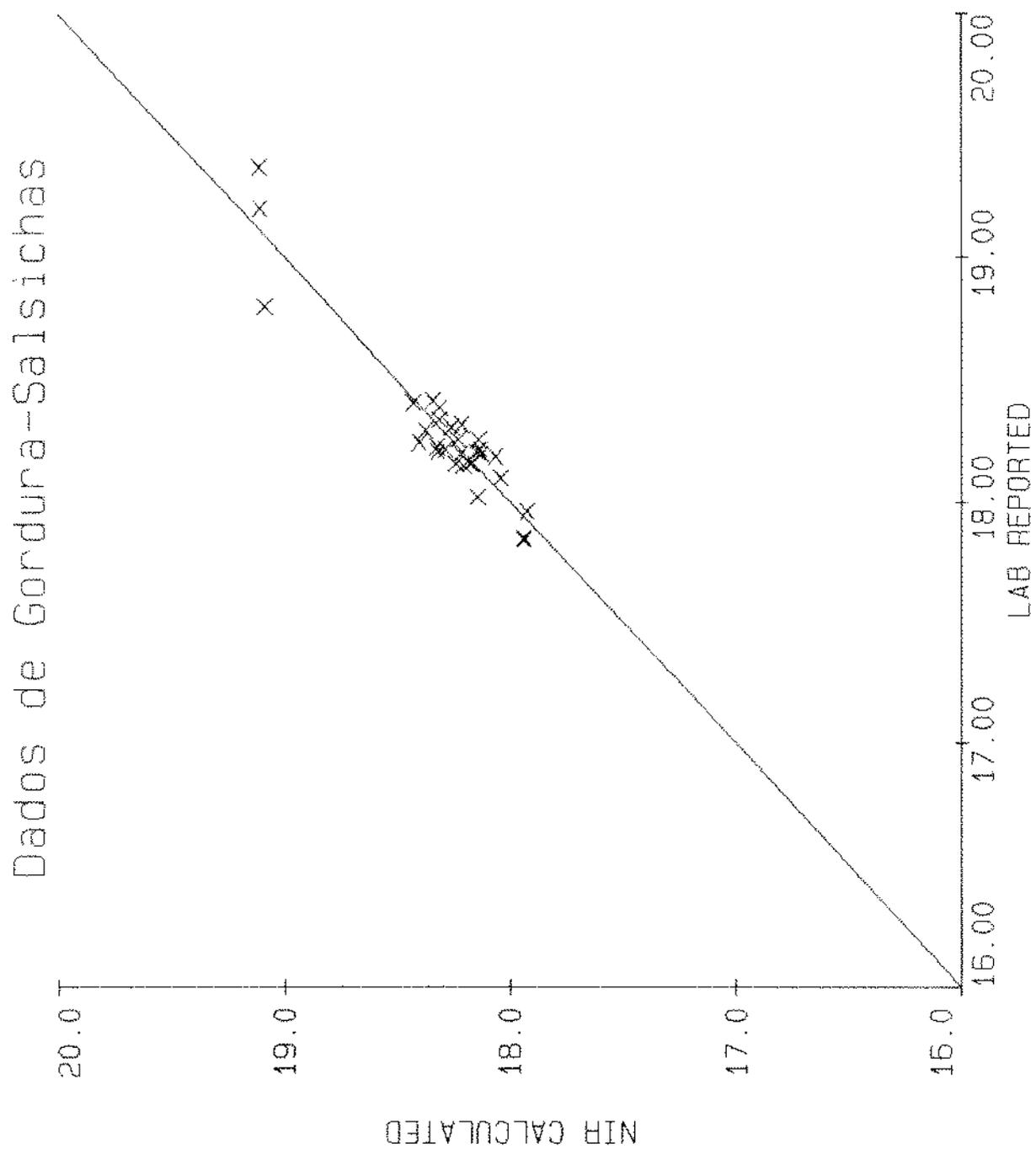


### 8.13. Resultados de gordura nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados

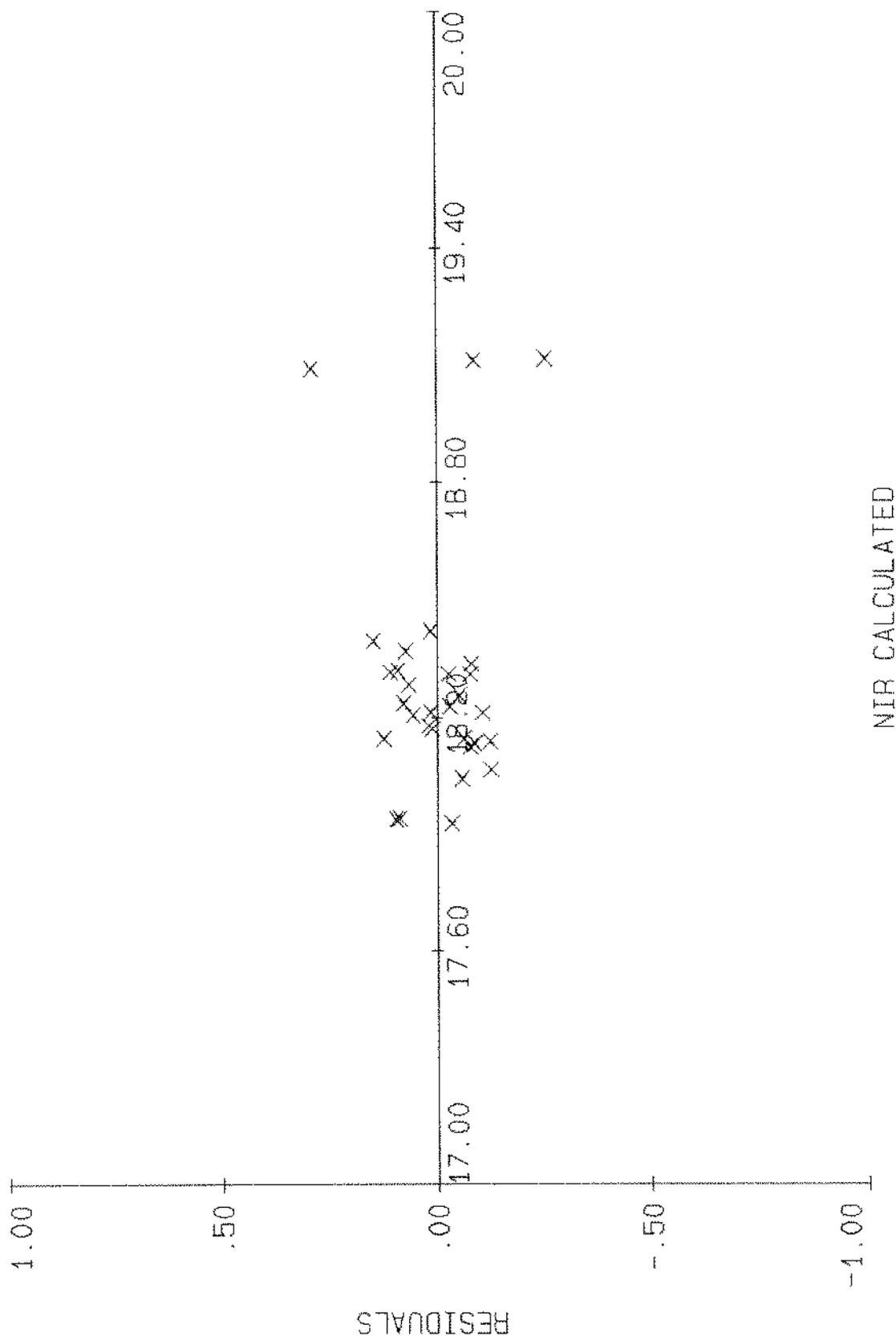
		PLS Regression Results																																																															
File:	C:\NIRS\NEWEM01\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15																																																															
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error																																																												
Time:	20:55:52	1	.021	.5731	.2700																																																												
Instrument:	6500	2	.015	.7645	.2163																																																												
Number of spectra:	30	3	.012	.8548	.1774																																																												
Constituent:	3, GORDURA	4	.010	.8823	.1641																																																												
Math:	2nd derivative	5	.008	.9299	.1309																																																												
Segment:	20	< 6 >	.008	.9433	.1206																																																												
Gap:	0	7	.007	.9557	.1094																																																												
		8	.007	.9592	.1075																																																												
		9	.008	.9669	.0994																																																												
		10	.010	.9819	.0757																																																												
		11	.011	.9851	.0707																																																												
		12	.011	.9921	.0531																																																												
		13	.012	.9935	.0497																																																												
		14	.012	.9969	.0354																																																												
		15	.012	.9983	.0275																																																												
		Number of factors to use = 6																																																															
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">Select</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Continue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Number of factors</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>List residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plot residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Plot lab</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Plot MSECV vs Factor</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Plot/Save loadings</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Plot/Save weights</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Save equation</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Select						0	Continue					1	Number of factors					2	List residuals					3	Plot residuals					4	Plot lab					5	Plot MSECV vs Factor					6	Plot/Save loadings					7	Plot/Save weights					8	Save equation				
Select																																																																	
0	Continue																																																																
1	Number of factors																																																																
2	List residuals																																																																
3	Plot residuals																																																																
4	Plot lab																																																																
5	Plot MSECV vs Factor																																																																
6	Plot/Save loadings																																																																
7	Plot/Save weights																																																																
8	Save equation																																																																

#### 8.13.1. Dados de gordura na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos não tratados

Spl No.	Spl Name	Lab ‡	NIR ‡	Residual	Outlier
1	031	18.340	18.312	-.028	
2	032	18.220	18.132	-.088	
3	033	18.160	18.171	.011	
4	034	18.410	18.425	.015	
5	035	18.160	18.238	.078	
6	036	18.200	18.215	.015	
7	037	18.220	18.286	.066	
8	038	18.250	18.399	.149	
9	039	18.300	18.374	.074	
10	040	18.310	18.258	-.052	
11	041	18.390	18.313	-.077	
12	042	18.320	18.213	-.107	
13	043	18.100	18.041	-.059	
14	044	18.210	18.146	-.064	
15	045	18.200	18.124	-.076	
16	046	18.190	18.064	-.126	
17	047	18.150	18.208	.058	
18	048	18.260	18.231	-.029	
19	049	17.840	17.937	.097	
20		17.960	17.925	-.035	
21	051	17.850	17.939	.089	
22	052	18.160	18.178	.018	
23	053	18.020	18.145	.125	
24	054	18.260	18.137	-.123	
25	055	19.200	19.112	-.088	
26	056	19.370	19.116	-.254	
27	057	18.800	19.091	.291	
28	058	18.230	18.322	.092	
29	059	18.210	18.320	.110	
30	060	18.420	18.340	-.080	



Dados de Gordura-Salsichas

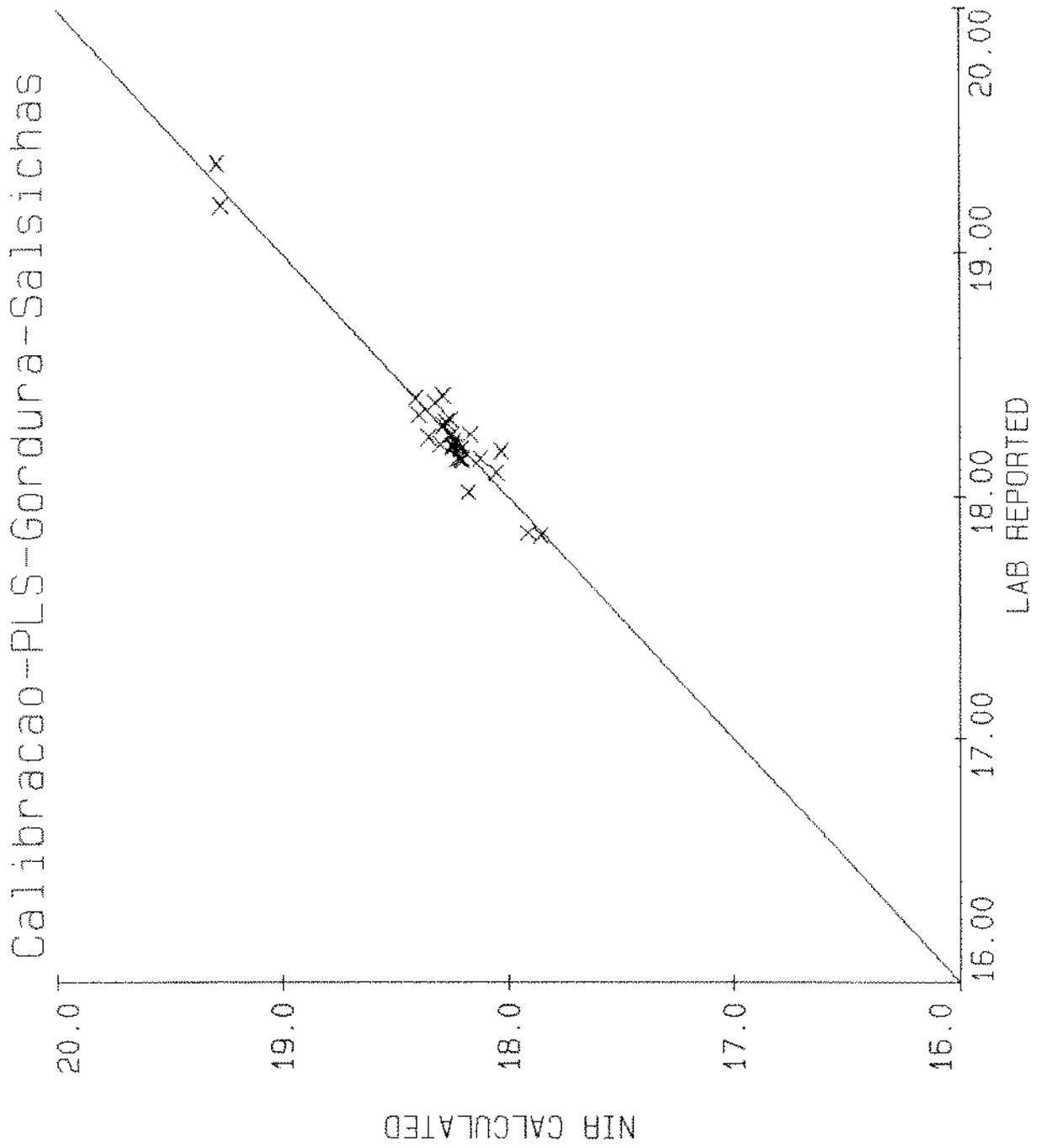


**8.13.4. Resultados de gordura nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados**

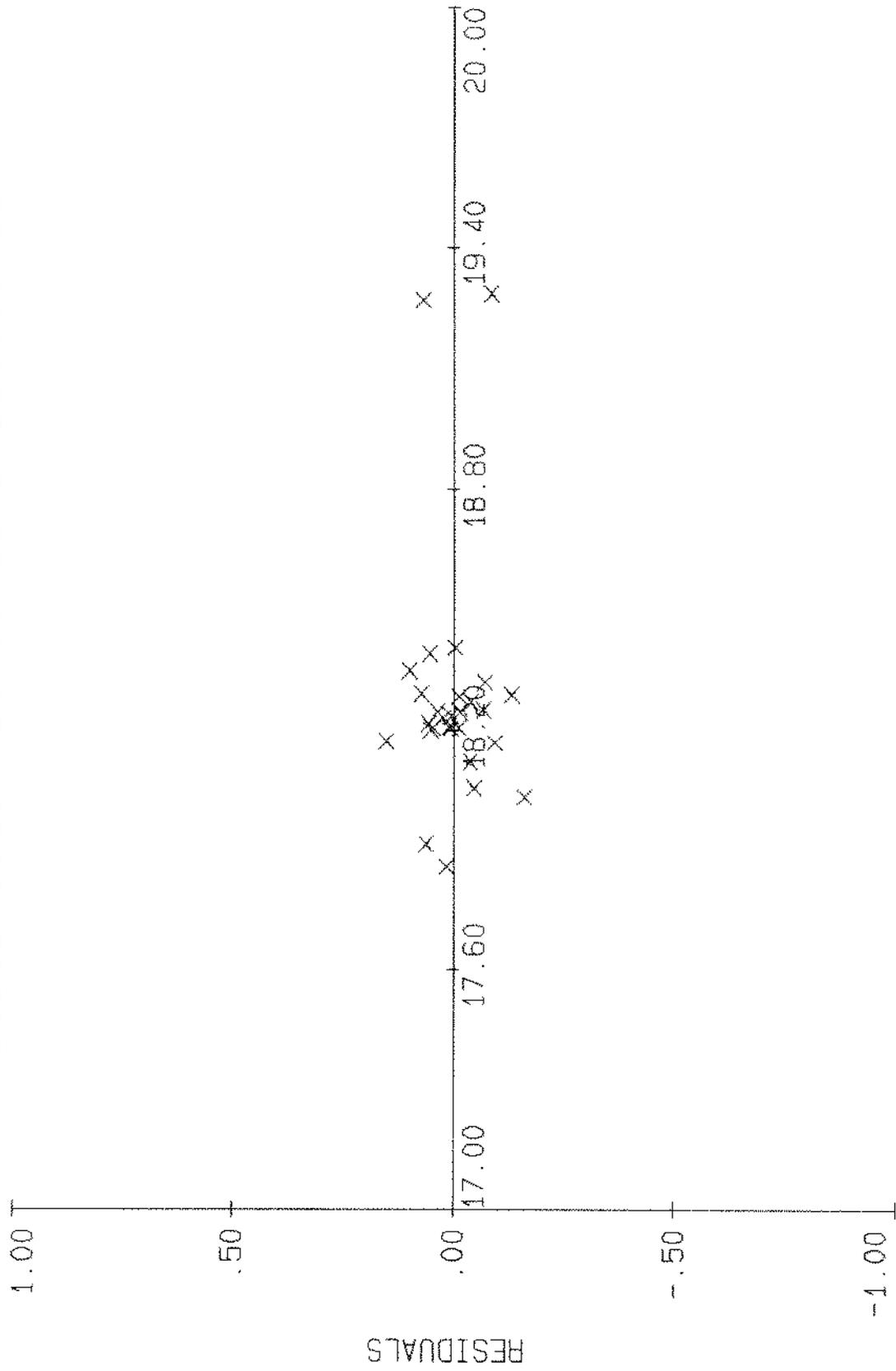
		PLS Regression Results																																																															
File:	C:\NIRS\NEWEMOI\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15																																																															
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error																																																												
Time:	20:55:52	1	.024	.5249	.2727																																																												
Instrument:	6500	2	.018	.7353	.2214																																																												
Number of spectra:	28	3	.012	.8520	.1746																																																												
Constituent:	3, GORDURA	4	.009	.8949	.1520																																																												
Math:	2nd derivative	5	.007	.9434	.1156																																																												
Segment:	20	6	.006	.9600	.0998																																																												
Gap:	0	< 7 >	.004	.9745	.0820																																																												
		8	.004	.9783	.0777																																																												
		9	.004	.9849	.0666																																																												
		10	.004	.9921	.0496																																																												
		11	.004	.9944	.0431																																																												
		12	.004	.9977	.0287																																																												
		13	.005	.9987	.0220																																																												
		14	.004	.9995	.0149																																																												
		15	.004	.9999	.0069																																																												
		Number of factors to use = 7																																																															
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">Select</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Continue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Number of factors</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>List residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plot residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Plot lab</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Plot MSECV vs Factor</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Plot/Save loadings</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Plot/Save weights</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Save equation</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Select						0	Continue					1	Number of factors					2	List residuals					3	Plot residuals					4	Plot lab					5	Plot MSECV vs Factor					6	Plot/Save loadings					7	Plot/Save weights					8	Save equation				
Select																																																																	
0	Continue																																																																
1	Number of factors																																																																
2	List residuals																																																																
3	Plot residuals																																																																
4	Plot lab																																																																
5	Plot MSECV vs Factor																																																																
6	Plot/Save loadings																																																																
7	Plot/Save weights																																																																
8	Save equation																																																																

**8.13.5. Dados de gordura na emulsão cárnea para calibração no NIRS com resíduos tratados**

Spl No.	Spl Name	Lab ‡	NIR ‡	Residual	Outlier
1	031	18.340	18.394	.054	
2	032	18.220	18.208	-.012	
3	033	18.160	18.122	-.038	
4	034	18.410	18.407	-.003	
5	035	18.160	18.218	.058	
6	036	18.200	18.207	.007	
7	037	18.220	18.294	.074	
8	038	18.250	18.350	.100	
9	039	18.300	18.286	-.014	
10	040	18.310	18.271	-.039	
11	041	18.390	18.320	-.070	
12	042	18.320	18.253	-.067	
13	043	18.100	18.054	-.046	
14	044	18.210	18.233	.023	
15	045	18.200	18.210	.010	
16	046	18.190	18.031	-.159	
17	047	18.150	18.202	.052	
18	048	18.260	18.246	-.014	
19	049	17.840	17.856	.016	
21	051	17.850	17.913	.063	
22	052	18.160	18.207	.047	
23	053	18.020	18.173	.153	
24	054	18.260	18.168	-.092	
25	055	19.200	19.269	.069	
26	056	19.370	19.284	-.086	
28	058	18.230	18.236	.006	
29	059	18.210	18.247	.037	
30	060	18.420	18.289	-.131	



# Calibracao-PLS-Gordura-Salsichas

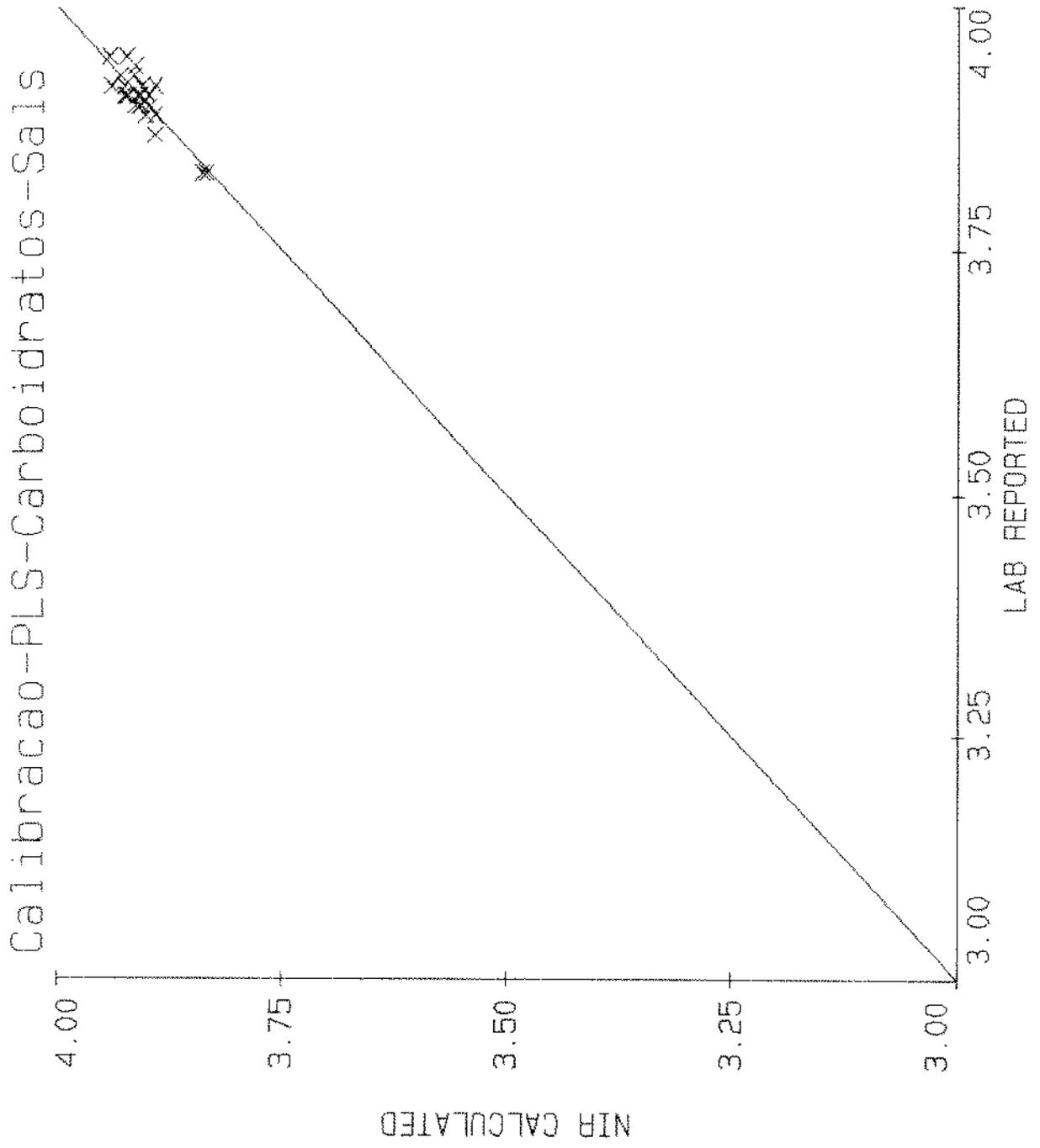


**8.14. Resultados de carboidratos nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados**

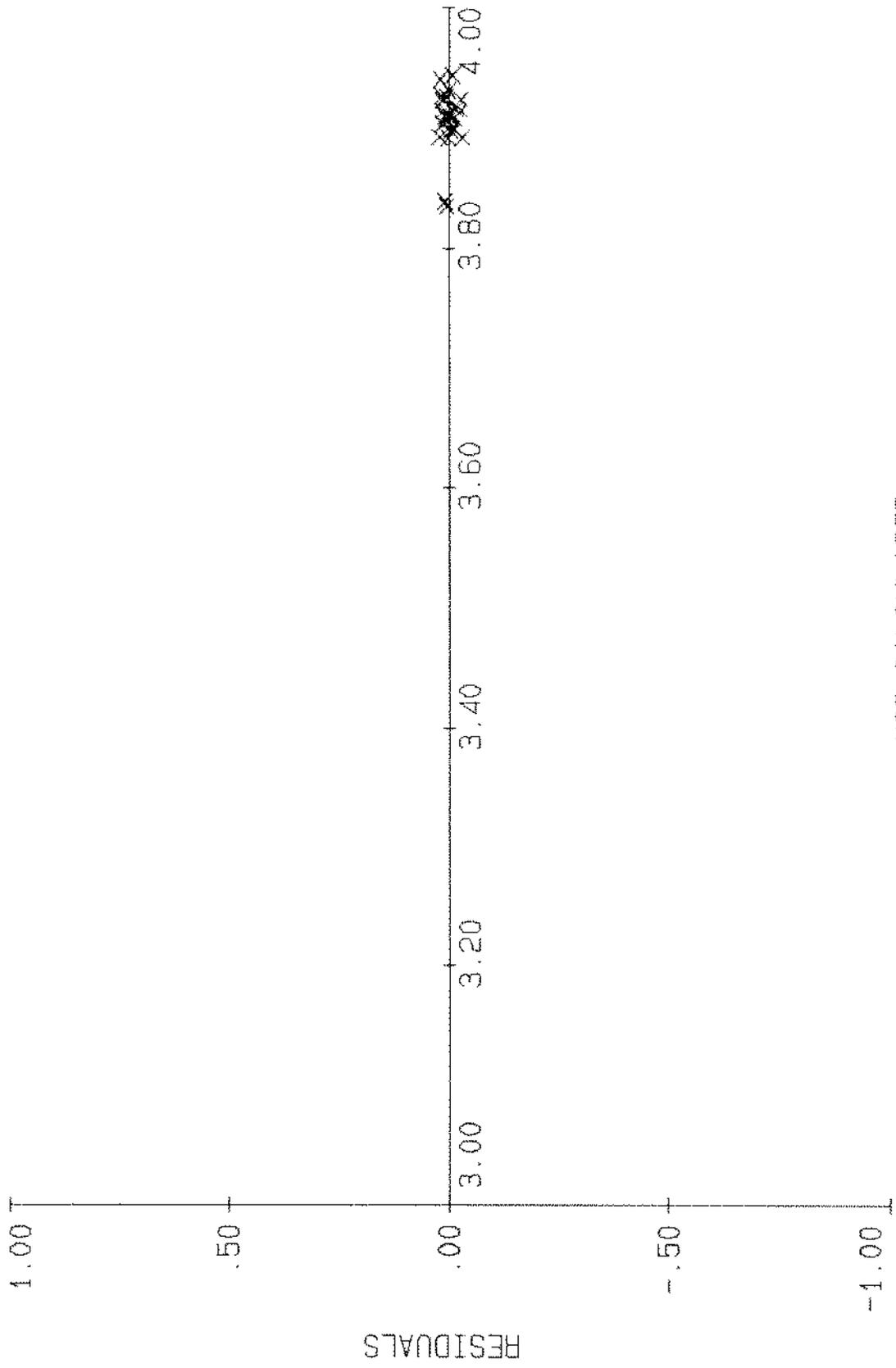
		PLS Regression Results			
File:	C:\NIRS\NEWEMOI\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15			
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error
Time:	20:55:52	1	.000	.4337	.0257
Instrument:	6500	2	.000	.6177	.0229
Number of spectra:	28	3	.000	.6866	.0216
Constituent: 4,	CARBOIDRAT	4	.000	.7882	.0186
Math:	2nd derivative	5	.000	.8393	.0168
Segment:	20	< 6 >	.000	.8723	.0155
Gap:	0	7	.000	.9190	.0128
		8	.000	.9383	.0115
		9	.000	.9622	.0093
		10	.000	.9747	.0079
		11	.000	.9805	.0071
		12	.000	.9913	.0049
		13	.000	.9966	.0032
		14	.000	.9986	.0021
		15	.000	.9994	.0015
		Number of factors to use = 6			
<hr/> Select					
0	Continue				
1	Number of factors				
2	List residuals				
3	Plot residuals				
4	Plot lab				
5	Plot MSECV vs Factor				
6	Plot/Save loadings				
7	Plot/Save weights				
8	Save equation				

**8.14.1. Dados de carboidratos nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados**

Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	031	3.940	3.913	-.027	
2	032	3.910	3.899	-.011	
3	033	3.900	3.909	.009	
4	034	3.950	3.943	-.007	
5	035	3.900	3.913	.013	
6	036	3.910	3.911	.001	
7	037	3.910	3.926	.016	
8	038	3.920	3.940	.020	
9	039	3.930	3.931	.001	
10	040	3.930	3.930	.000	
11	041	3.950	3.923	-.027	
12	042	3.930	3.915	-.015	
13	043	3.890	3.891	.001	
14	044	3.910	3.911	.001	
15	045	3.910	3.907	-.003	
16	046	3.910	3.910	.000	
17	047	3.900	3.907	.007	
18	048	3.920	3.907	-.013	
19	049	3.830	3.838	.008	
21	051	3.830	3.834	.004	
22	052	3.900	3.898	-.002	
23	053	3.870	3.892	.022	
24	054	3.920	3.891	-.029	
25	055	3.890	3.902	.012	
26	056	3.910	3.898	-.012	
28	058	3.920	3.926	.006	
29	059	3.910	3.923	.013	
30	060	3.910	3.922	.012	



Calibracao-PLS-Carboidratos-Sais



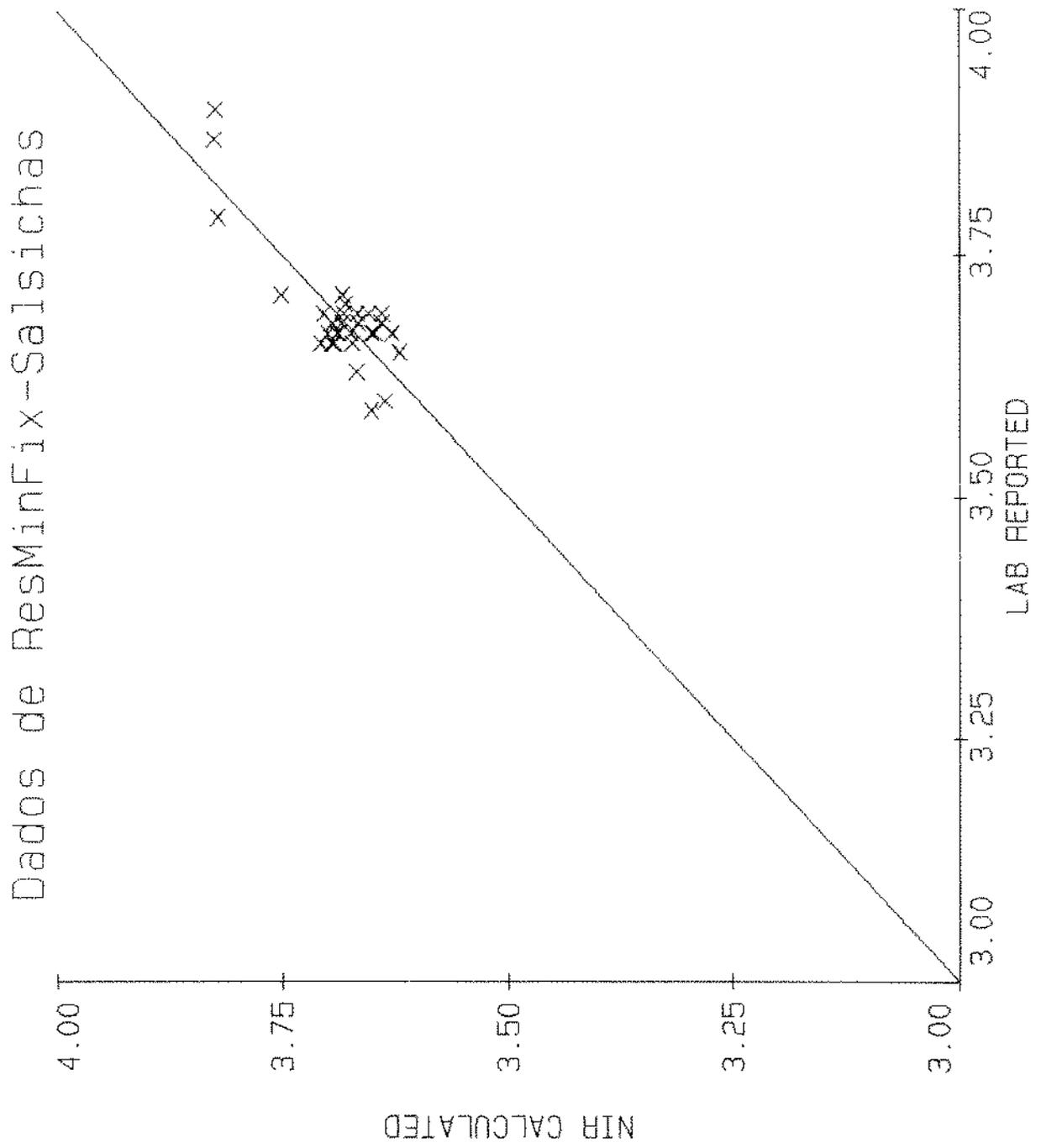
NIR CALCULATED

**8.15. Resultados de residuo mineral fixo nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos não tratados**

		PLS Regression Results																																																															
File:	C:\NIRS\NEWEN01\SALSICHA\SALSIN	Number of factors computed = 15																																																															
Created:	Feb 7, 1997	Factor	MSECV	R	Std Error																																																												
Time:	20:55:52	1	.001	.7081	.0457																																																												
Instrument:	6500	< 2 >	.000	.8398	.0358																																																												
Number of spectra:	30	3	.000	.8926	.0303																																																												
Constituent:	5, ResMinFix	4	.000	.9070	.0289																																																												
Math:	2nd derivative	5	.000	.9217	.0271																																																												
Segment:	20	6	.000	.9357	.0252																																																												
Gap:	0	7	.000	.9424	.0244																																																												
		8	.000	.9471	.0240																																																												
		9	.001	.9594	.0216																																																												
		10	.001	.9785	.0162																																																												
		11	.001	.9863	.0133																																																												
		12	.001	.9892	.0122																																																												
		13	.001	.9946	.0089																																																												
		14	.001	.9966	.0073																																																												
		15	.001	.9973	.0067																																																												
		Number of factors to use = 2																																																															
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">Select</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Continue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Number of factors</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>List residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plot residuals</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Plot lab</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Plot MSECV vs Factor</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Plot/Save loadings</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Plot/Save weights</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Save equation</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Select						0	Continue					1	Number of factors					2	List residuals					3	Plot residuals					4	Plot lab					5	Plot MSECV vs Factor					6	Plot/Save loadings					7	Plot/Save weights					8	Save equation				
Select																																																																	
0	Continue																																																																
1	Number of factors																																																																
2	List residuals																																																																
3	Plot residuals																																																																
4	Plot lab																																																																
5	Plot MSECV vs Factor																																																																
6	Plot/Save loadings																																																																
7	Plot/Save weights																																																																
8	Save equation																																																																

**8.15.1. Dados de residuo mineral fixo nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos não tratados**

Spl No.	Spl Name	Lab ‡	NIR ‡	Residual	Outlier
1	031	3.690	3.668	-.022	
2	032	3.670	3.628	-.042	
3	033	3.670	3.651	-.019	
4	034	3.710	3.751	.041	
5	035	3.660	3.708	.048	
6	036	3.670	3.700	.030	
7	037	3.670	3.674	.004	
8	038	3.680	3.684	.004	
9	039	3.690	3.683	-.007	
10	040	3.690	3.705	.015	
11	041	3.700	3.680	-.020	
12	042	3.690	3.655	-.035	
13	043	3.650	3.620	-.030	
14	044	3.670	3.648	-.022	
15	045	3.690	3.640	-.050	
16	046	3.660	3.693	.033	
17	047	3.660	3.696	.036	
18	048	3.680	3.695	.015	
19	049	3.590	3.652	.062	
20		3.680	3.640	-.040	
21	051	3.600	3.637	.037	
22	052	3.660	3.673	.013	
23	053	3.630	3.668	.038	
24	054	3.680	3.666	-.014	
25	055	3.870	3.825	-.045	
26	056	3.900	3.825	-.075	
27	057	3.790	3.822	.032	
28	058	3.670	3.690	.020	
29	059	3.670	3.688	.018	
30	060	3.710	3.684	-.026	



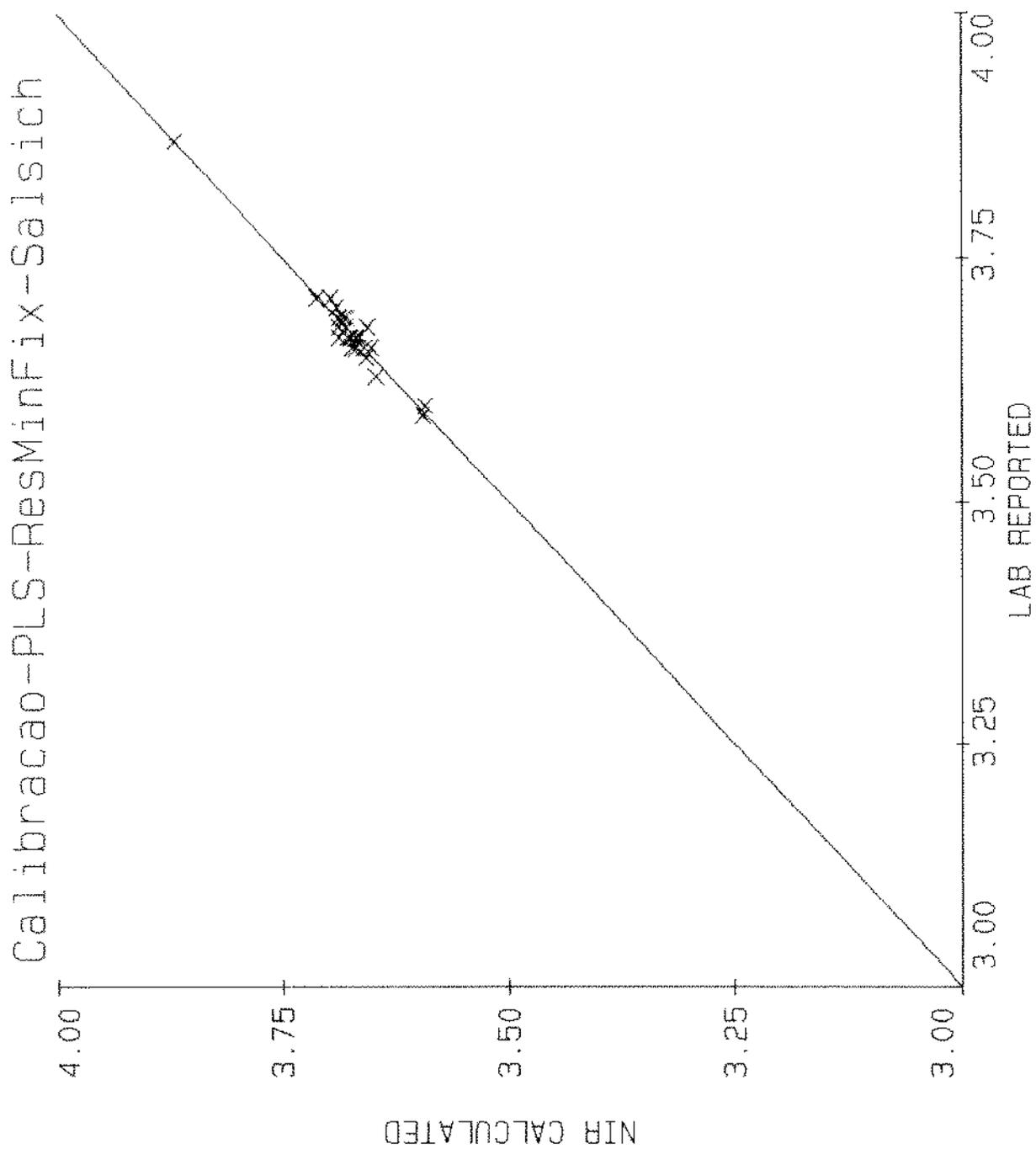


**8.15.4. Resultados de residuo mineral fixo nas salsichas industrializadas por PLS com resíduos tratados**

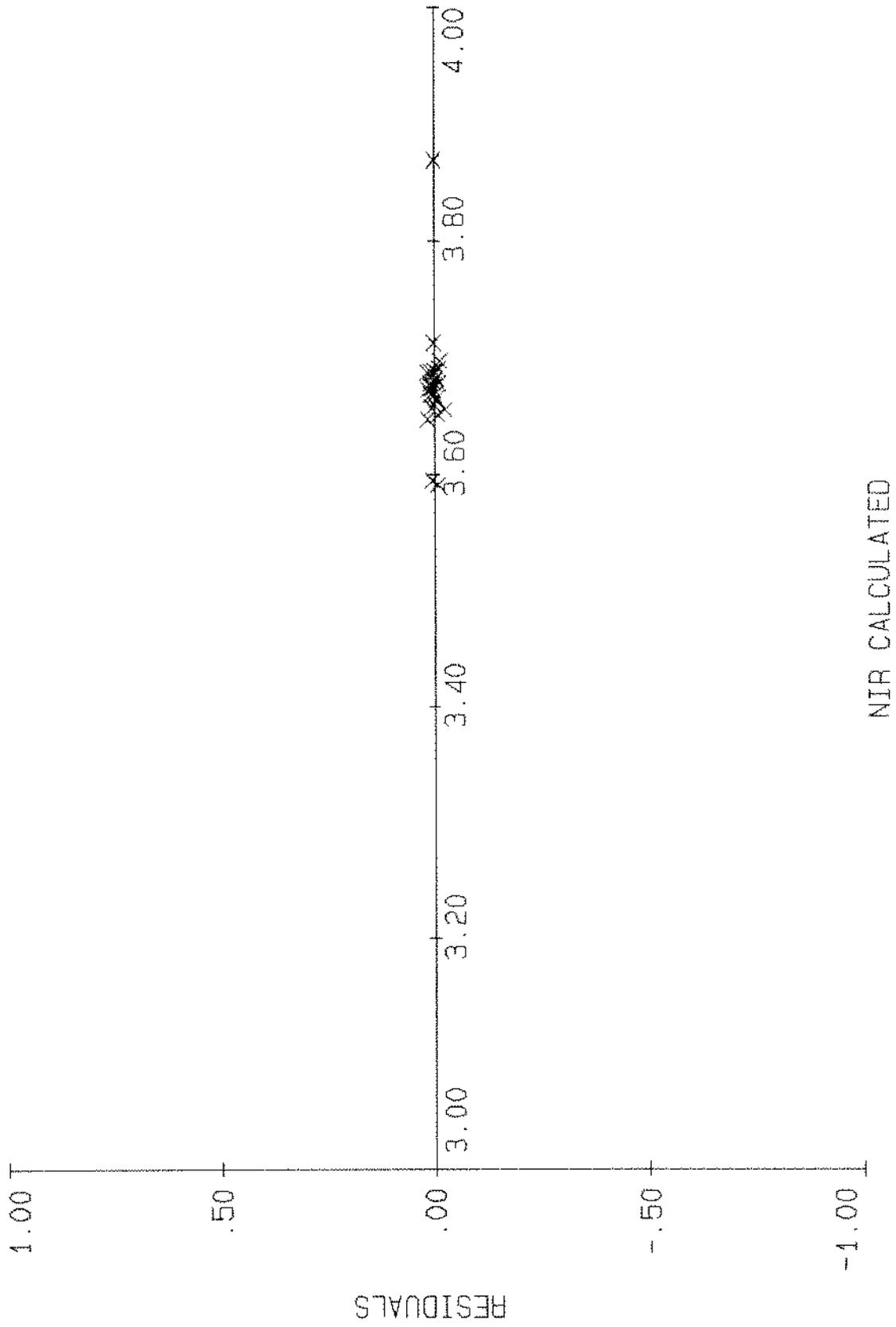
File: C:\NIRS\NEWEMOI\SALSICHA\SALSIN		<u>PLS Regression Results</u>																							
Created: Feb 7, 1997		Number of factors computed = 15																							
Time: 20:55:52		Factor	MSECV	R	Std Error																				
Instrument: 6500		1	.001	.6750	.0358																				
Number of spectra: 27		2	.001	.7794	.0310																				
Constituent: 5, ResMinFix		3	.001	.8661	.0253																				
Math: 2nd derivative		4	.001	.9021	.0223																				
Segment: 20		5	.001	.9596	.0149																				
Gap: 0		6	.001	.9722	.0127																				
		< 7 >	.000	.9803	.0110																				
		8	.000	.9831	.0105																				
		9	.000	.9874	.0093																				
		10	.000	.9917	.0078																				
		11	.000	.9938	.0070																				
		12	.000	.9964	.0055																				
		13	.000	.9980	.0043																				
		14	.000	.9989	.0033																				
		15	.000	.9993	.0027																				
		Number of factors to use = 7																							
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Select</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0 Continue</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 Number of factors</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 List residuals</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 Plot residuals</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 Plot lab</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 Plot MSECV vs Factor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 Plot/Save loadings</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 Plot/Save weights</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8 Save equation</td> <td></td> </tr> </table>						Select		0 Continue		1 Number of factors		2 List residuals		3 Plot residuals		4 Plot lab		5 Plot MSECV vs Factor		6 Plot/Save loadings		7 Plot/Save weights		8 Save equation	
Select																									
0 Continue																									
1 Number of factors																									
2 List residuals																									
3 Plot residuals																									
4 Plot lab																									
5 Plot MSECV vs Factor																									
6 Plot/Save loadings																									
7 Plot/Save weights																									
8 Save equation																									

**8.15.5. Dados de residuo mineral fixo nas salsichas industrializadas para calibração no NIRS com resíduos tratados**

Spl No.	Spl Name	Lab %	NIR %	Residual	Outlier
1	031	3.690	3.688	-.002	
2	032	3.670	3.673	.003	
3	033	3.670	3.665	-.005	
4	034	3.710	3.712	.002	
5	035	3.660	3.660	-.000	
6	036	3.670	3.669	-.001	
7	037	3.670	3.678	.008	
8	038	3.680	3.688	.008	
9	039	3.690	3.687	-.003	
10	040	3.690	3.687	-.003	
11	041	3.700	3.690	-.010	
12	042	3.690	3.678	-.012	
13	043	3.650	3.657	.007	
14	044	3.670	3.687	.017	
15	045	3.690	3.683	-.007	
16	046	3.660	3.651	-.009	
17	047	3.660	3.673	.013	
18	048	3.680	3.679	-.001	
19	049	3.590	3.595	.005	
21	051	3.600	3.592	-.008	
22	052	3.660	3.669	.009	
23	053	3.630	3.647	.017	
24	054	3.680	3.656	-.024	
25	055	3.870	3.869	-.001	
28	058	3.670	3.675	.005	
29	059	3.670	3.675	.005	
30	060	3.710	3.697	-.013	



Calibracao-PLS-ResMinFix-Salsich



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ADAMS, G. Microwave blood plasma defroster. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 26, n. 3, p. 156-159, 1991.
- 02 AOAC- **Official methods of analysis of AOAC international**. Gaithersburg, Maryland. e. 15, v. 1 e 2 , 1993
- 03 AOAC- **Official methods of analysis of AOAC international**. Gaithersburg, Maryland. e. 16 v 1 e 2 , 1997
- 04 ANDREWS, G. The myths, mysteries and magic of microwaves revealed. **Microwave World**, Manassas, v.14, n.2, p.19-20, Winter, 1993.
- 05 ANJOS, C.A.R.; FARIA, J.A.F. ; MARSAIOLI Jr. A continuous microwave drying of polyethylene terephthalate (PET), in **"PROCEEDING OF THE ICEF-INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD"**, 6th Tokyo: Blackie Academic & Professional (Chapman & Hall)", 1994. p. 796-798. (*Part 2 : Developments in Food Engineering*)
- 06 ANJOS, C.A.R.; FARIA, J.A.F. and MARSAIOLI Jr., A. prototype studies of a microwave rotary oven applied to the continuous drying of polyethylene terephthalate (PET) resin, in **"PROCEEDINGS OF THE MICROWAVE POWER SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL MICROWAVE POWER INSTITUTE, 29th"** Chicago, IL, USA, 1994. p. 214-217.

- 07 AREF, M.M. Microwave processing comes of age. **Canadian Food Industries** v.39, n.10, p. 34-37, 1968
- 08 AYOUB, J.A.; BERKOWITZ, D.; KENYON, E.M.; WADSWORTH, C.K. Continuous microwave sterilization of meat in flexible pouches. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, p. 309-13, 1974.
- 09 BALL, M.D., KEEFER, R; La CROIX, C.M.; LORENSON, C.P. Materials choice for active packing. **Microwave World**, Manassas, v. 14, n. 1, Summer, p. 24-5, 1993.
- 10 BUFFLER, C.R. **Microwave cooking and processing - Engineering fundamentals for the food scientist**. New York. Avi Book, 1993. 169p
- 11 CARDELLO , A.V. ; MATAS, A; SWEENEY, J. The standard seales of texture; rescaling by magnitude estimation. **J. Food Science**, Chicago v.47, p.1738 -1740, 1742. 1982.
- 12 CHANG, J.; BRODWIN, M. A new applicator for efficient uniform heating using a circular cylindrical geometry. **Journal of Microwave Power and Eletromagnetic Energy**, Manassas, v. 28, n. 1, p. 32-40, 1993
- 13 CHOI,Y.; OKOS, M.R. Thermal properties of liquid foods-review. in **Physical and chemical properties of food** (M.R. Okos, ed), ASAE, St. Joseph, MI, p. 35-37, 1986.
- 14 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; MARSAIOLI Jr., **Secador rotativo de operação contínua para secagem de alimentos granulados empregando microondas e ar quente em fluxo ou contra fluxo**. BR. INPI/P.I. n°8703812, 10/7/1987.

- 15 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; MARSAIOLI Jr., A. A prototype of a combined hot air and microwave rotary cylindrical oven for continuous drying of granular products, in **"ENGINEERING AND FOOD, PRESERVATION PROCESSES AND RELATED TECHNIQUES (v.II)**
- 16 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; JORGE Neto, G.; MARSAIOLI, Jr. Heating of soybeans by a continuous microwave rotary cylindrical oven. **WORLD CONGRESS OF FOOD TECHNOLOGY, 3.**, Barcelona ESPANHA, 20-23 feb. 1991a.
- 17 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; JORGE Neto, G.; MARSAIOLI, Jr. A.. Tratamento de soja em equipamento contínuo industrial a microondas, **Anais Conf. Apinco de Ciên. Tec. Avíc.** 1991b. p. 268-271.
- 18 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; MARSAIOLI, Jr.. A Prototype of a Combined hot air and microwave rotary cylindrical oven for continuous drying of granular products, TIZ International **Power Magazine**, v. 7, n. 113, p. 542, 1989.
- 19 CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G.; JORGE Neto, G. & MARSAIOLI, Jr. Continuous microwave heating of soybeans, **WORLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 8.** Toronto, CANADA, 20/9 04/10/1991c.
- 20 COSTELLO, C.A.; MORRIS, W.C.; BARWICK, J.R. Effects of heating bacon and sausage in nonwoven melt-blown material. **Journal of Food Science.** Chicago, v. 55, n. 2, p. 298-300, 1990.

- 21 CUNHA, M.L.; CANTO, M.W.; MARSAIOLI, Jr. A. Ensaio preliminares sobre a secagem de café cereja descascado por ar quente assistido a microondas. **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS 21**. 27-30 nov. 1995, Caxambu-MG.
- 22 CUNHA, M.L.; CANTO, M.W.; MARSAIOLI, Jr. A. A novel system for drying pulped coffee cherry beans by means of heated air assisted by microwaves. **INTERNATIONAL CONGRESS OF CHEMICAL AND PROCESS ENGINEERING, 12**. Praha, Czech Republic. 25-30 Aug. 1996.
- 23 CULLOTA, J.T.; CHEN, T.C. Hot water and microwave energy for precooking chicken parts effects on yield and organoleptic quality. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 38, p. 860-3, 1973.
- 24 DECAREAU, R.V. **Microwaves in the food processing industry**. New York: Academic Press Inc., 1985. 235p.
- 25 DECAREAU, R.V. **Microwaves processing and engineering**. New York: Ellis Horwood, 1986. 224p.
- 26 DATA, A.K.; HU, W. Optimization of quality in microwave heating. **Food Technology**, Chicago, p.53-56, Dec. 1992.
- 27 DOLANDE, J.; DATTA, A. Temperature profiles in microwave heating of solids: A systematic study. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 28, n.2, p.58-67, 1993
- 28 DREIER, W. Microwave oven calibration: first step in product development. **Prepared Foods**, p.100, Feb. 1989

- 29 DUNN, J.G.; VANKOUGHNETT, A.L.; WYSLOUZIL, W. **Microwave wiener processors**. National Research Council of Canada- Radio and Eletrical Engineering Division. Ottawa. ERB-864 (Unclassified ) Jan. 1972
- 30 EDGAR, R. The economics of microwave processing in the food industry. **Food Technology**, Chicago, p.106-112, Jun. 1986.
- 31 ELLEKJAER, M.R.; ISAKSSON, T.; SOLHEIM,R. Assessment of sensory quality of meat sausages using near infrared spectroscopy. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n. 3, p. 456-464, 1994.
- 32 ENGELDER, D. ; BUFFLER, C.R. Measuring dieletric properties of food products at microwave frequencies. **Microwave World**, Manassas, p. 6-15, Summer, 1991.
- 33 FREY, W. **Fabricacion fible de embutidos**. Editorial Acribia S.A., Espanha. 1983, 194 p.
- 34 FRIGOR S.A, DUPORT, B.; MARZAT, C. - **Procedé de décongélacion par micro-ondes de produits alimentaires et dispositiffs pour sa mise en couvre** Int. CI A 23L 3/385,A23 B4/87, H05 B 6/76, 8/80 6/78, A21 B 2/80; F24C 7/82. FR. 2 696 909. 21.10.92, 22.04.94 Institut National de La Proprieté Industrielle Paris-Fr
- 35 GELADI, P. MacDOUGALL, D.; MARTENS, H. Linearization and scatter corrections for near infrared reflectance spectra of meat. **Applied Spectroscopy**, Washington, v.39, n.3, 1985, 491-500.

- 36 GERLING, J.E. Microwaves in the food industry: promise and reality. **Food Technology**, Chicago, v., p. 82-83, jun. 1986.
- 37 GERLING, J.E. Microwave processing equipment. **Food Technology**, Chicago, v. 22, p.106-9, Jan. 1968
- 38 GEORGE, R.M. Recent progress in product, package and process design for microwaveable foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 4, p.390-394, Dec. 1993.
- 39 GIRARD, J.P. **Technología de la carne y de los produtos cárnicos**. Zaragoza, Acribia, 1991, 300 p.
- 40 GOLDBLITH, S.A.; WANG, D.I.C. Effect of microwaves on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. **Applied Microbiology**, Washington, v. 15, n. 6, p. 1371-5, Nov., 1967
- 41 HARLFINGER, L. Microwave sterilization. **Food Technology**, Chicago, p. 57- 61. Dec. 1992.
- 42 HEDDLESON, R.A.; DOORES, S; ANANTHESWARAN, R.C. Parameters affecting destruction of salmonella spp. by microwave heating. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, n. 2, p. 447-451, 1994.
- 43 HOLLYWOOD, N.W.; NAIDOO, R.I.; MITCHELL, G.E.; DOMMETT, T.W. Effect of microwave heating on microbial flora of frozen convenience foods. **Food Australia**, Sydney, n. 43, v. 4, p.160-163, Apr. 1991.
- 44 HOUBEN, J.; SCHOENMAKERS, L.; van PUTTEN, E.; van ROON, P.; KROL, B. Radio-frequency pasteurization of sausage emulsions as a

- continuous process. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas,. v.26, n.4, p. 202-205, 1991
- 45 HP - PN 8510-3 **Materials measurement** - Measuring the dielectric constant of solids with the HP 8510 network analyzer. August, 1985. HP. Co. USA 5954-1535
- 46 HP - PN 8550HA **Material measurement software**. HP. Co. Printed USA 2/91 5952-2383E.
- 47 HUNG,CC. **Water migration and structural transformation of oven cooked meat.**, Minneapolis, Minnesota 55455 USA. 1980. 238p Dissertation - Abstracts International B- 41(3) 1039. ORDER 80 -19535 Univesity of Minnesota Meat Poultry and Game
- 48 HUSQVARNA AKTEBOLAG, RISMAN, O. G.; BENGTSSON, E. **Method of preparing foodstuffs containing coagulating proteins and a device for performing the method.** Int.CI A 23L 3/30. US. 4,237,145 Jan. 29,1979 Dec.2, 1980.
- 49 JIA, X. Experimental and numerical study of microwave power distributions in microwave heating applicator. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 28, n.1, p. 25-31, 1993
- 50 JOLLY, P.; TURNER, I. Non-linear field solutions of one-dimensional microwave heating. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v.25, n. 1, p.3-15, 1990.
- 51 KARMAS, E. **Sausage casing technology**. London: Noyes Data Corporation, 1974. 365p.

- 52 KENYON, E.M.; WESTCOTT, D.E.; La CASSE, P.; GOULD, J.W. A system for continuous thermal processing of food pouches using microwave energy. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 36, p. 289-293, 1971.
- 53 LEE, C.M.; PATEL, K.M. Analyses of juiciness of commercial frankfurters. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 15, p. 67-73, 1984
- 54 LEFEUVRE, S.; AUDHUY-PEAUDECERF, M. Le couple emballage-produit dans un four microonde. **IAA**. p. 384-390, Jun. 1993.
- 55 LORENSON, C. The why's and how's of mathematical modeling for microwave heating. **Microwave World**, Manassas, v. 11, n. 1, p.14-23 Spring, 1990.
- 56 MARSAIOLI Jr., A. **Desenvolvimento da tecnologia de aplicação de microondas em secador cilíndrico-rotativo combinado com ar quente para produtos granulados**. Campinas, 1991. (Tese Doutor em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos; Universidade Estadual de Campinas
- 57 METAXAS, A.C; MEREDITH, R.J. **Industrial microwave heating**. London-UK. Peter Peregrinus Ltd. IEE Power Engineering Series, London, 4, 354p., 1988.
- 58 MOSKOWITZ, H.R. Relating subjective and instrumental measures. A psychophysical overview. **J. Food Quality**, Westport v. 4, p. 15-33, 1981
- 59 MOSKOWITZ, H.R.; DRAKE, B.; KESSON, C.A. Psychophysical measures of texture. **J. Texture Studies**, Westport, v.3, p. 135-145, 1981.

- 60 MUDGETT, R.E. Microwave properties and heating characteristics of foods. **Food Technology**, Chicago, p.84-93, Jun. 1986.
- 61 NELSON, S.; PRAKASH, A. ; LAWRENCE, K. Moisture and temperature dependence of the permittivities of some hydrocolloides at 2,45 Ghz. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 26, n. 3, p.178-185, 1991.
- 62 NICOLSON, A.M.; ROSS, G.F. Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techniques. **IEEE Trans. Instrum. Meas.** London, v.IM-19,p 399-382, NOV., 1970.
- 63 NOTT, B. Microwaves for the meat industry. **Food Processing Industry**, London
- 64 NYKVIST, W.E.; DECAREAU, R.V. Microwave meat roasting. **Journal of Microwave Power**, Manassas, v.11, n.1, p.3-24, 1976.
- 65 OLIVEIRA, E.M.; TERRA, N.N. Carne mecanicamente separada de frango - propriedades reológicas. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 205, p. 30-39,1994.
- 66 OHLSSON, T. Minimal processing-preservation methods of the future: an overview. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 341-344, Nov. 1994.
- 67 OHLSSON, T.; RISMAN, P.O. Temperature distribution of microwave heating-spheres and cylinders. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v.13, n. 4, p.303, 1978.

- 68 PARROT, D.L. Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates. **Food Technology**, Chicago, p. 68-72, Dec.1992.
- 69 PELEG, M.; MORMAND, M.D. A computer assisted analyses of some theorethical rate effects in mastication and in deformation testing of foods **Journal of Food Science**, Chicago, v.47, p.1572-8. 1982
- 70 POUGNET, M.; DOWNING, B.; MICHELSON, S. A cylindrical microwave cavity for laboratory applications **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 28, n. 2, p.114-18, 1993
- 71 PRICE, J.F.; SCHWEIGERT, B.S. **Ciência de la carne y de los productos cárnicos**. Editorial Acribia. Espanha, 1971, 486p.
- 72 PROSETYA, H.; DATTA, A. Batch microwave heating of liquids: an experimental study. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 26, n. 4, p. 215-226, 1991
- 73 PUSCHNER, H.A. **Device for the production of skinless sausages**. Int. Cl A22c 11/00 US. 3,537,385 July 20, 1967 Nov.3,1970.
- 74 RICHARDSON, P.S.; BOWS, J.R. **Product design for microwave reheating in process engineering in the food industry -2** (Convenience Foods and Quality Assurance) FIELD, R.W ; HOWELL, J.A. London. Elsievier Applied Science, 1990. 226p.
- 75 RINGLE, E.C.; DAVID, B.D. Measuring electric field distribution in a microwave oven. **Food Technology**, Chicago, p. 46-54, Dec. 1975.

- 76 RISMAN, O. P. Microwave food hazards. **Microwave World**, Manassas, v.14, n.2, p.21-22, 1993.
- 77 ROBERTS, J; WANG, F. Dielectric relaxation in water over the frequency range 13 f 18 Ghz using a resoante microwave cavity operating in the TM 010 Mode. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 28, n. 4, p. 196-205, 1993
- 78 ROCKWELL, W.C.; LOWE, E.; HUXSOLL. C.C.; MORGAN,Jr., A.I. Apparatus for experimental microwave processing, **Food Technology** Chicago, v. 21, p. 93-94, 1967.
- 79 ROUSSY, G.; MERCIER, A.; THIEBAUT, J.; VAUBOURG, J. Temperature runaway of microwave treated materials, study and control. **J. Microwave Power** , Manassas, v. 20, n. 1., p. 47-51, 1985.
- 80 SANIO, M. R.; SCHMIDT, P.S. Economic assessment of microwave and radio-frequency materials processing in **Microwave Processing of Materials**, Pittsburg-Pennsylvania. MRS, p. 337, 1991.
- 81 SASAKI, M.; OZAWA, S. Determination of the ingredientes of meat and products by near infrared spectroscopy. **Proc. of the 2nd International NIRS Conference Tsukuba**, Japan, 1989, 386-392
- 82 SASTRY, S.K.; PALANIAPPAN, S. Ohmic heating of liquid-particle mixtures. **Food Technology**, Chicago, p. 64-67, Dec. 1992.
- 83 SCHALCH, B.; EISGRUBER, H. Microwave-reheating of vaccum-packaged cooked sausage cold cuts for shelf life improvement. **Die Fleischerei**, Frankfurt, n. 9, p. 3-7, 1994

- 84 SCHIFFMANN, R.F. Food product development for microwave processing. **Food Technology**, Chicago, p. 94-98, Jun. 1986.
- 85 SCHIFFMANN, R.F. Microwave processing in the U.S. food industry. **Food Technology**, Chicago, p. 50-52, Dec. 1992.
- 86 SCHLEGEL, W. Commercial pasteurization and sterilization of food products using microwave technology. **Food Technology**, Chicago, p. 62-63, Dec. 1992.
- 87 SENISE, J.T.; BARBOSA, A.F.; PERIN, A.H.; ANDRADE, A.O.M.; SELMIKAITES, A.; CONCONE, B.R.V.; VARELLA, V.L. Sobre um tipo de aplicador modulado e compacto para o processamento industrial contínuo de fluídos por microondas. **Anais do Simpósio Internacional de Microondas no Desenvolvimento Industrial no Brasil**. CpQD Telebrás SBMO, 1985.
- 88 SINGH, R.P. **Energy in food processing**. New York, Elsevier, 375p. 1986
- 89 SLAUGHTER, D.C.; KLUETER, H.H.; MITCHELL, A.D. NORRIS, K.H. Near Infrared reflectance of ground hog carcass composition. **Proc. of the 2nd International NIRS Conference**, Tsukuba, Japan, 1989. 125-129
- 90 SMIT, J. **Linhas de comunicação**. São Paulo, Érica, 114p. 1987a
- 91 SMIT, J. **Microondas**. São Paulo, Érica, 135p. 1987b

- 92 SMITH, D.P. Food-finishing microwave tunnel utilizes jet impingement and infrared sensing for process control. **Food Technology**, Chicago, p.113-6, Jun. 1986.
- 93 SONG, C.; OTTO, R. Schnellbewertung von Wertbestimmenden Komponenten in Wurstware mittels Nahe-Infrarot-Transmissionsspektroskopie. **Z. Lebensm Unters Forch** v.201. p. 226-229, 1995
- 94 SPIESS, W.E.L. ; SCHUBERT, H. **Engineering and Food**, London & New York: Elsevier Sci. Publ., 1990. p. 679-685.
- 95 SZCZESNIAK, A.S. Correlating sensory with instrumental texture measurements - an overview of recent developments. **Journal of Texture Studies** Westport, v. 18, p 1-15, 1987.
- 96 SZCZESNIECK, A.S.; BOURNE, M.C. Sensory evaluation of food firmness. **J. Texture Studies**, Westport, v. 1, p. 52-64, 1969.
- 97 SWIFT, J.; TUOMY, J.M. Evaluation of Microwave Tempering of Meat for Use in Central Food Preparation Facilities. **Gold Cook Book**, N.Y. p. 3-10, Dec. 1977.
- 98 TAOUKIS, P.; DAVIS, E.A. ; DAVIS, H.T.; GORDON, J. Mathematical modeling of microwave tawing by the modified isotherm imigration method. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 2, p.465-463, 1987
- 99 THUERY, j. **Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications**. London, Artech House. 1992, 670p

- 100 TURNER, I; JOLLY, P.;. The Effect of Dielectric Properties on Microwave Drying Kinetics. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Manassas, v. 25, n.4, p. 211-223, 1990.
- 101 UNGER, S.G. Energy Utilization in the Leading Energy-Consuming Food Processing Industries. **Food Technology**, Chicago, p. 33-45, Dec. 1975
- 102 URBAIN, W.M.; CLEMENS, O.A.; BONHEIMER, H.P. A Continuous Frankfurter Process. **Food Technology**, Chicago, p. 26.-34, May, 1963
- 103 VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. **Compendium of Methods for the Microbiological examination of food**. New York, Apha, 3 e., 1992, 1219 p.
- 104 VELA, G.R.; WU, J.F. Mechanism of Lethal action of 2450 MHz radiation on Microorganisms. **Applied and Enviromental Microbiology**, Washington, p.550-3, Mar., 1979.
- 105 VELEY, V.F. **Modern microwave technology**, New Jersey, Prentice-Hall, Inc, e.10, 1987, 434p.
- 106 VINK, M. Co-extruded Sausage Plant. in **Food Factories Process, Equipament, Costs**. Alfred Bartolomai, VCH, 1987, p. 219-222.
- 107 WATANABE, W.; TAPE, N.W. Microwave Processing of Wieners. 1. Composition and Method of Preparation. **Canadian Institute Food Technology Journal**, Ottawa, v. 2, n. 2, p. 64-68, 1969.

- 108 WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near Infrared Technology** American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 1990
- 109 ZAGON, J.; DEHENE, L.I.; BÖGL, K.W. Effects of Microwave Heating on the Nutritive and Sensory Value of Food. **Food Tec.**, Frankfurt, n. 2, p 2-6, 1991.

## ERRATA

Página XX , onde lê-se Deutsch Internationale Normalisiche, leia-se Deutsches Institut fuer Normung (norma alemã)

Página 18, Figura 1- onde lê-se Tritutação, leia-se Trituração/Homogeneização

Página 21, linha 7. onde lê-se desdejado, leia-se desejado

Página 34, linha17, onde lê-se aconstantte, leia-se a constante

Página 35, linha 6 e 15 onde lê-se temepratura, leia-se temperatura

Página 35, linha 12, onde lê-se fenoômeneo, leia-se fenômeno

Página 35, linha 20, onde lê-se cP leia-se Cp

Página 37, equação 3, onde lê-se  $\vec{E}x\hat{n} = \mathbf{0}$ ,  $Hx\hat{n} = -\vec{J}_s$ , leia-se  $\vec{E}x\hat{n} = \mathbf{0}$ ,

$$Hx\hat{n} = -\vec{J}_s$$

Página 39, Equação 14, onde lê-se:  $\frac{H_t}{H_i} = \frac{h_1 E_t}{h_2 E_i} = \frac{2h_1}{h_1+h_2} = \frac{h_1}{h_2} T$ ,

$$\text{leia-se: } \frac{H_t}{H_i} = \frac{\eta_1 E_t}{\eta_2 E_i} = \frac{2\eta_1}{\eta_1+\eta_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} T$$

Página 40 linha 4 onde lê-se paraelo leia-se paralelo

Página 70, última linha, onde lê-se refletância, leia-se reflectância

Página 97, linha 1, onde lê-se reflexão G, leia-se reflexão  $\Gamma$

Página 97 Equação 53, onde lê-se G..., leia-se  $\Gamma$ ...

Página 97 Equação 55, onde lê-se -1, leia-se +1

Página 98 Equação 60, onde lê-se:  $Y_{in} = \frac{Y' + jY_0^2 \tan(K_x^2 d/2)}{Y_0^2 + jY' \tan(K_x^2 d/2)}$ ,

$$\text{leia-se } Y_{in} = Y_0^2 \frac{Y' + jY_0^2 \tan(K_x^2 d/2)}{Y_0^2 + jY' \tan(K_x^2 d/2)}$$

Página 98 última linha onde lê-se: ...admitâncias características (60) e (61)

respectivamente...,

leia-se:...admitâncias características (1) e (2) respectivamente

Página 99 Equação 62, onde lê-se: = tan..., leia-se: = -tan...

Página 99 onde lê-se: ...é o comprimento de onda no plano médio (11),  
leia-se: ... é o comprimento de uma onda plana no meio (1)

Página 100 Figura 13 eixo das abscissas, onde lê-se  $\lambda/a$ , leia-se  $a/\lambda$

Página 103, linha 6, onde lê-se Apêndice 5, eliminar citação.

Página 106, onde lê-se Apêndice 8.3, leia-se Apêndice 8.4

Página 122 linha 13, onde lê-se 1,53 leia-se 1,513

Página 123 onde lê-se Entretanto ... 2,31kg/h leia-se 2,351kg/h

Página 134 a 136 tabela 6 onde lê-se Eficiência kg/Wh leia-se kg/kWh

Página 134 Tabela 6 Teste 4 onde lê-se ...(1986) com 27 MHz , leia-se ...(1986).

Página 137 linha 14 onde lê-se ... logo não há, leia-se há diferenças...

Página 137 linha 15 onde lê-se Também não há..., leia-se Também há ...

Página 137 linha 15 onde lê-se...parâmetros..., leia-se parâmetros(Tabelas 7a e 7c)

Página 137 linha 19 onde lê-se (Tabela 7 e 8) leia-se Tabelas 8b e 8c)

Página 137 linha 20 onde lê-se Entretanto foram leia-se Entretanto não foram...

Página 138 linha 4 onde lê-se (Tabela 7 e 8) leia-se Tabelas 7b e 8a)

Página 151 item 5.8, linha 2 onde lê-se 45,45 % leia-se 49,35%

Página 151 item 5.8, linha 5 onde lê-se 1,4545 leia-se 2,026

Página 151 item 5.8, linha 5 onde lê-se 581,8W leia-se 810,53W

Página 151 item 5.8, linha 6 onde lê-se 4,039 leia-se 2,899

Página 151 item 5.8, linha 8 onde lê-se 0,36369 leia-se 0,31

Página 151 item 5.8, linha 9 onde lê-se 24,746 leia-se 34,490

Página 151 item 5.8, linha 9 onde lê-se 4,041 leia-se 2,899

Página 152 linha 1 onde lê-se 2,23 leia-se 3,10

Página 152 linha 3 onde lê-se 2,505 leia-se 1,80 ( ou 55,27% com economia de 44,73%)

Página 152 linha 4 onde lê-se 18,98 % leia-se 26,45%

Página 154 linha 4 onde lê-se WATANABE e TAPE, 1969 leia-se DUNN et alii, 1972

Página 154 linha 8 onde lê-se Não houve leia-se Houve

Página 223 referência 33 onde lê-se fible leia-se fiable

Página 224 referância 39 onde lê-se Tecnologia leia-se Tecnologia

Página 231 referência 97 onde lê-se **Gold Cook Book** leia-se **Gold Cook Book**

Nas referências inserir:

BENDER, F.E.; DOUGLAS, L.W., KRAMER, A. **Statistical Methods for Food Agriculture**. AVI Publishing, Westport, 1982. 345 p.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. Edgard Blücher, São Paulo, 1977, 264p.

- Página 119,120,121 substituir pelo seguinte texto:

## 5.2. Resultados das medidas dielétricas

Os dados obtidos com as leituras do sistema analisador de circuitos de microondas HP 8702 B e HP 85047A foram os seguintes:

TABELA 4 - Parâmetros "S" determinados com o sistema de analisador de circuitos de microondas HP 8702 B e HP 85047.

Condição da Célula	Parâmetro "S"	Valor do Parâmetro "S"
Célula vazia	$S_{12(\omega)}$	-1,1099 dB 151,77°
Célula com amostra	$S_{11(\omega)}$	-0,9544 dB -173,24°
Célula com amostra	$S_{12(\omega)}$	-17,0551 dB 63,008°

Através do valor de  $S_{11(\omega)}$  para a célula com amostra obteve-se atenuação de **0,9544 dB** que por definição de Decibel corresponde a 80,57 % de reflexão do campo emitido na porta 1 do sistema

$$S_{11(\omega)} = 10^{-0,9544 \text{ dB}/20 - \angle 173,24} = 0,8057 - i 0,3916$$

$$\Rightarrow |0,8057| \times 100 = 80,57\%$$

$$P_E - P_R = P_A \quad (66)$$

Se **Potência Emitida - Potência Refletida = Potência Absorvida**

então:

$$P_A = 1 - 0,8057^2 = 0,3508 \quad \text{ou} \quad P_A \Rightarrow |0,3508| \times 100 = 35,08\%$$

$$P_{T2}/P_E = |S_{12}|^2 = 0,1404^2 = 0,0197$$

$$\text{Atenuação} = e^{\alpha l} = \frac{|S_{12}|^2}{1 - |S_{11}|^2} = 0,09987 \text{ aplicando-se o } \ln \text{ em ambos termos tem-se:}$$

$$\alpha l = 2,8796$$

substituindo-se o valor de  $l = 0,00553 \text{ m}$ , na equação anterior

$$\text{tem-se: } \alpha = 520,72 \text{ Np/m}$$

$$\text{como: } \alpha * \lambda_g = 416,60 * 0,23156$$

$$\text{Atenuação no guia de onda: } \alpha * \lambda_g = 120,58 \text{ Np}$$

Substituindo-se os valores de  $S_{11(\omega)}$  e  $S_{12(\omega)} = S_{21(\omega)}$  nas equações 54 à 59, obtém-se:

$$1/\Lambda^2 = -34,3053 + i65,6982 \quad K = 0,0914 - i 0,4599$$

$$\Gamma = -0,9853 - i 0,5069 \quad T = 2,8045 - i 5,1794$$

$$\epsilon_r = 3,0692 - i 2,9521$$

$$\epsilon'_r = 3,0693$$

$$\epsilon''_r = 2,9520$$

$$\text{Tg } \delta = 0,9618$$

- Página XX - Introduzir na nomenclatura os seguintes símbolos:

W	water - água
P	protein - proteína
F	fat - gordura
C	carbohydrate - carboidrato
A	ash - cinzas
Y	admitância
$\vec{B}$	Componente tangencial de campo elétrico
$\vec{D}$	componente normal indução elétrica
$\vec{E}$	componente tangencial de campo elétrico

- Página XXII - Introduzir em Letras Gregas:

$\beta$  constante de propagação