



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**DENNY CARLOS RIBEIRO SANTOS**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FILÉS DE  
PIRAMUTABA (*Brachyplatystoma vaillantii*)**

BELÉM

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**DENNY CARLOS RIBEIRO SANTOS**

## **DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FILÉS DE PIRAMUTABA (*Brachyplatystoma vaillantii*)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**ORIENTADOR:**

Prof.Dr. EDER AUGUSTO FURTADO ARAUJO

**CO-ORIENTADORA:**

Prof.Dr<sup>a</sup>. SUEZILDE DA CONCEIÇÃO A.  
RIBEIRO

**BELÉM**

**2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DENNY CARLOS RIBEIRO SANTOS**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FILÉS DE PIRAMUTABA  
(*Brachyplatystoma vaillantii*)**

**BANCA EXAMINADORA :**

---

Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo  
(FEA/ITEC/UFPA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro  
(EAFC/Campus Castanhal)

---

Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues  
(FEA/ITEC/UFPA)

---

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria  
(FEQ/ITEC/UFPA)

---

Dra. Patrícia Moreira Azoubel  
(Embrapa Semi-árido)

**DEDICATÓRIA.** Dedico este trabalho principalmente à minha mãe que apoiou desde o início, da graduação até aqui.

## AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, sem o qual nada poderia ser possível.

Em especial aos meus pais, Maria de Lourdes e Manoel Dorizan por todo o apoio dado, desde o início da minha caminhada no mundo do saber com as primeiras palavras ensinadas, até este momento.

À Ana Claudia Pimentel, pela força, incentivo moral e algumas vezes financeiro e principalmente pela compreensão nos momentos em que não podia dar a devida atenção.

Ao meu irmão Dárlon Santos, D. Fátima Siqueira, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

Ao Prof<sup>o</sup>. Eder e Prof<sup>a</sup>. Susy pelas orientações e ajuda no trabalho.

Aos amigos do laboratório Daniela Cavalcante, Orquídea, Cristine Macedo, Patrícia Ledoux, Giane Galvão, Tiago Tavares, Jardilene, Priscila e Luisa Helena (Luisinha) pelas ajudas no trabalho, pelo apoio e por todos os momentos que passamos juntos para conseguir chegar até aqui. Não poderia esquecer da recente estagiária do Laboratório de Carnes e Derivados, Katiuscia Wellen, pela imprescindível ajuda nos momentos finais e à todos os outros que embora não estejam citados, de alguma forma me ajudaram nesta difícil conquista.

À responsável técnica da FRIVASA, Elizabeth, pela doação da matéria prima.

Ao Prof<sup>o</sup> Emerson, do Laboratório de oleoquímica e catálise da Faculdade de Química, e ao estagiário Renan, pela grande ajuda dada na obtenção de alguns resultados.

À Professora Eliana Pedrosa, diretora da Escola de Educação Tecnológica do Pará – Salvaterra, escola em que trabalho, pelo apoio, ajuda e compreensão para que eu pudesse terminar este trabalho e aos colegas de trabalho, os professores Alexandre, Pedro Julio, Loreno, Vivian, Rafaela, Dirlene, Joana Rosa, Thyellie, Roberto, Valdirene, Jociel pela fé em mim dada.

Por menor que se pensem que foi a ajuda para mim foi grandiosa.

**EPÍGRAFE.** O mundo não é dos mais fortes ou mais inteligentes e sim dos mais esforçados. (autor desconhecido)

## RESUMO

A Piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) é considerado o peixe de maior interesse comercial no estado do Pará, no entanto, sua comercialização acontece basicamente com pouco processamento, sendo o filé congelado o produto que apresenta o maior valor comercial. Neste trabalho foi estudado o processo de desidratação osmótica de Piramutaba em solução binária de NaCl (BSB) e solução ternária de NaCl e sacarose (BST). Foi avaliada a influência das variáveis temperatura, tempo de imersão e concentração das respectivas soluções sobre as respostas perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) e atividade de água ( $A_w$ ), com o objetivo de otimizar o processo através de Metodologia de Superfície de Resposta para cada solução estudada. A condição ótima de processo escolhida foi concentração de NaCl de 22,5%, temperatura de 46°C e tempo de imersão de 120 minutos, para a solução binária, enquanto que, para a solução ternária a condição selecionada foi concentração de NaCl de 12% e 36% de sacarose, temperatura de 46°C e tempo de imersão de 130 minutos. Os resultados das análises sensoriais mostraram que os produtos obtidos nas condições otimizadas apresentaram aceitabilidades de 68,9% e 80,4% para as amostras BSB e BST, respectivamente.

Palavras-chave: Piramutaba, desidratação osmótica.

## ABSTRACT

The piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) is considered the largest fish of commercial interest in Para state, however, their marketing happens mainly with little processing, and the filet frozen product having the greatest commercial value. This work was studied the process of osmotic dehydration of piramutaba in binary solution of NaCl (BSB) and ternary solution of NaCl and sucrose (BST). The influence of temperature, immersion time and concentration of their solutions on water loss responses (WL), weight loss (WL), solids gain (SG), regarding solid gain / water loss (GS / PA) and water activity ( $a_w$ ), with the objective of optimizing the process through response surface methodology for each solution studied. The optimum condition of process chosen the NaCl concentration was 22.5%, temperature 46°C and immersion time of 120 minutes for the binary solution, while for the selected condition ternary solution of NaCl concentration was 12% and 36% sucrose, temperature 46°C and immersion time of 130 minutes. The results of sensorial analysis showed that the products obtained in the optimized conditions showed acceptability 68.9% and 80.4% for samples BSB and BST, respectively.

Keywords: piramutaba, osmotic dehydration.

## SUMÁRIO

	Pág.	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	21
2.1	A PIRAMUTABA ( <i>Brachyplatystoma vaillantii</i> )	21
2.2	MICROBIOLOGIA E CONSERVAÇÃO DO PESCADO	27
2.3	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	30
<b>2.3.1</b>	<b>Características do tecido celular</b>	32
<b>2.3.2</b>	<b>Agente osmótica</b>	33
<b>2.3.3</b>	<b>Tempo de imersão</b>	35
<b>2.3.4</b>	<b>Concentração da solução</b>	35
<b>2.3.5</b>	<b>Temperatura</b>	36
<b>2.3.6</b>	<b>Cálculos da cinética de desidratação osmótica</b>	37
2.4	ATIVIDADE DE ÁGUA	38
2.5	CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA	40
2.6	PROTEÍNAS E TEMPERATURA DE DESNATURAÇÃO	41
2.7	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	43
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	45
3.1	MATERIAL	45
<b>3.1.1</b>	<b>Matéria- prima</b>	45
3.2	MÉTODOS	45
<b>3.2.1</b>	<b>Análises microbiológicas da matéria-prima</b>	45
<b>3.2.2</b>	<b>Análises físicas, sensoriais e físico-químicas da matéria-prima</b>	46
3.2.2.1	Análises físicas e sensoriais	46
3.2.2.2	Análises físico-químicas da piramutaba	46
<b>3.2.3</b>	<b>Obtenção das amostras e desidratação osmótica</b>	47
<b>3.2.4</b>	<b>Planejamento Experimental</b>	48
3.2.4.1	Solução Binária	49
3.2.4.2	Solução Ternária	50
<b>3.2.5</b>	<b>Otimização do processo</b>	51
<b>3.2.6.</b>	<b>Análises físicas e químicas do produto</b>	51
<b>3.2.6.1</b>	<b>Após desidratação osmótica</b>	51
<b>3.2.7</b>	<b>Análise sensorial</b>	51
<b>3.2.8</b>	<b>Análise térmica</b>	53
<b>3.2.9</b>	<b>Análise de dados</b>	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	55
4.1	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	55
4.2	ANÁLISES FÍSICAS, SENSORIAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DA PIRAMUTABA	55
<b>4.2.1</b>	<b>Análises físicas e sensoriais</b>	55
<b>4.2.2</b>	<b>Análises físico-químicas</b>	56
4.3	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO BINÁRIA DE NaCl	57
<b>4.3.1</b>	<b>Perda de água</b>	58
<b>4.3.2</b>	<b>Perda de Peso</b>	63
<b>4.3.3</b>	<b>Ganho de sólidos</b>	67
<b>4.3.4</b>	<b>Razão ganho de sólidos com perda de água (GS/PA)</b>	69
<b>4.3.5</b>	<b>Atividade de água (aw)</b>	71
<b>4.3.6</b>	<b>Otimização para solução binária</b>	75

4.4	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO TERNÁRIA DE NaCl + SACAROSE SEGUNDO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FRACIONÁRIO	77
4.4.1	<b>Perda de água</b>	78
4.4.2	<b>Perda de Peso</b>	79
4.4.3	<b>Ganho de sólidos</b>	81
4.4.4	<b>Razão GS/PA</b>	82
4.4.5	<b>Atividade de água</b>	83
4.5	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO DE NaCl + SACAROSE	85
4.5.1	<b>Perda de água</b>	86
4.5.2	<b>Perda de Peso</b>	90
4.5.3	<b>Ganho de sólidos</b>	94
4.5.4	<b>Razão ganho de sólidos com perda de água (GS/PA)</b>	96
4.5.5	<b>Atividade de água</b>	99
4.5.6	<b>Otimização para solução ternária</b>	103
4.6	ANÁLISE TÉRMICA	105
4.7	ANÁLISE SENSORIAL	108
5	<b>CONCLUSÃO</b>	111
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	112

**LISTA DE FOTOGRAFIAS E FLUXOGRAMA**

		Pág.
Fotografia 2.1	Piramutabas ( <i>Brachyplatystoma vaillantii</i> ).	21
Fotografia 2.2	Um exemplar raro de piramutaba albina	22
Fotografia 2.3	Foto ilustrativa do opérculo (op), brânquias (br), nadadeira peitoral (np) e linha lateral (li)	28
Fotografia 3.1	Parte posterior da segunda nadadeira dorsal	46
Fluxograma 3.1	Etapas do processo de desidratação osmótica	48

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Áreas de criação, alimentação e desova de dourada e de piramutaba no eixo Solimões-Amazonas.	22
Figura 2.2	Transferência de massa durante a desidratação osmótica	31
Figura 2.3	Efeito barreira do açúcar na matriz protéica imersa em solução aquosa ternária contendo sal e açúcar	35
Figura 2.4	Relação da taxa de deterioração dos alimentos em função da atividade de água	40
Figura 3.1	Ficha do Teste de Aceitação	53
Figura 4.1	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	60
Figura 4.2a	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.	62
Figura 4.2b	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 15% de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	62
Figura 4.2c	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) à temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	62
Figura 4.3	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	64
Figura 4.4a	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.	66
Figura 4.4b	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) à uma concentração de 15%, no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.	66
Figura 4.3c	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) e temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	66
Figura 4.5	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	68

Figura 4.6	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a relação entre o ganho de sólidos e a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	70
Figura 4.7	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	72
Figura 4.8a	Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	74
Figura 4.8b	Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 15%, no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	74
Figura 4.8c	Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) à temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	74
Figura 4.9a	Sobreposição das curvas de contorno PA e $a_w$ no tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl	76
Figura 4.9b	Sobreposição das curvas de contorno PA e $a_w$ na concentração de 15% na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl	76
Figura 4.10	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de sacarose e NaCl	79
Figura 4.11	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de sacarose e NaCl	80
Figura 4.12	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de sacarose e NaCl	82
Figura 4.13	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de sacarose e NaCl	83
Figura 4.14	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de sacarose e NaCl	84
Figura 4.15	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	87

Figura 4.16a	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando concentração de sacarose (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	89
Figura 4.16b	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 35% de sacarose no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	89
Figura 4.16c	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) a temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	89
Figura 4.17	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	91
Figura 4.18a	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando concentração de sacarose (%) e temperatura (°C) para 150 minutos de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	93
Figura 4.18b	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) para concentração de sacarose de 30% de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	93
Figura 4.18c	Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) para uma temperatura de 45°C de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	93
Figura 4.19	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	95
Figura 4.20	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	97
Figura 4.21	Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	100
Figura 4.22a	Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando concentração de sacarose (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	102

Figura 4.22b	Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) para concentração de sacarose de 30% de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	102
Figura 4.22c	Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) para uma temperatura de 45°C de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	102
Figura 4.23a	Sobreposição das curvas de contorno PA/aw no tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	104
Figura 4.23b	Sobreposição das curvas de contorno PA/aw na concentração de sacarose à 15% na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl + sacarose	104
Figura 4.23c	Sobreposição das curvas de contorno PA/aw numa temperatura de 45°C na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	104
Figura 4.24	Termograma do filé congelado de piramutaba	106
Figura 4.25	Termograma do músculo de piramutaba em solução de NaCl	107
Figura 4.26	Termograma do músculo de piramutaba em solução ternária	107
Figura 4.27	Histograma do teste de freqüência dos valores atribuídos à aceitação do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária	109

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 2.1	Composição química da piramutaba em base úmida ( <i>Brachyplatystoma vaillantii</i> ).	23
Tabela 2.2	Composição de ácidos graxos de peixes de água doce (% do peso total de ácidos graxos)	24
Tabela 2.3	Classificação dos peixes quanto ao teor de gordura e proteína	24
Tabela 2.4	Período de safra de pesca das principais espécies capturadas no município de Vigia no estado do Pará	26
Tabela 3.1	Definição dos níveis das três variáveis estudadas na desidratação osmótica de piramutaba utilizando solução binária	49
Tabela 3.2	Matriz de planejamento experimental de desidratação osmótica de piramutaba em solução binária de NaCl contendo dados codificados e reais	49
Tabela 3.3	Matriz de planejamento experimental fracionário $2^{4-1}$ para desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de NaCl com sacarose, contendo dados codificados e reais	50
Tabela 3.4	Ingredientes utilizados na formulação de bolinho de piramutaba	52
Tabela 4.1	Caracterização microbiológica de filé dorsal de piramutaba	55
Tabela 4.2	Características físicas da piramutaba	56
Tabela 4.3	Caracterização físico-química em base úmida e valor energético de filé de piramutaba ( <i>Brachyplatystoma vaillantii</i> ).	56
Tabela 4.4	Resultados obtidos para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de files de piramutaba em solução binária de NaCl	58
Tabela 4.5	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	59
Tabela 4.6	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	60
Tabela 4.7	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	63
Tabela 4.8	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	64
Tabela 4.9	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.	67
Tabela 4.10	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	68
Tabela 4.11	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a razão entre GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	69

Tabela 4.12	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	70
Tabela 4.13	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl	71
Tabela 4.14	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.	73
Tabela 4.15	Resultados obtidos para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), obtidos segundo planejamento experimental fracionário, na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução ternária de NaCl+sacarose	78
Tabela 4.16	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para perda de água	78
Tabela 4.17	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para perda de peso	80
Tabela 4.18	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para ganho de sólidos	81
Tabela 4.19	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para razão GS/PA	82
Tabela 4.20	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para atividade de água	84
Tabela 4.21	Resultados obtidos para perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, relação GS/PA e atividade de água, obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução ternária de NaCl+sacarose.	85
Tabela 4.22	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	86
Tabela 4.23	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	88
Tabela 4.24	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	90
Tabela 4.25	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	92
Tabela 4.26	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl e sacarose.	

Tabela 4.27	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	95
Tabela 4.28	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose	96
Tabela 4.29	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	97
Tabela 4.30	Valores experimentais e valores preditos pelo modelo codificado para a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose	98
Tabela 4.31	Efeito estimado, erro puro, $t^2$ e significância estatística para a GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose	99
Tabela 4.32	Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose	100
Tabela 4.33	Valores experimentais e valores preditos pelo modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose	101
Tabela 4.34	Caracterização sensorial para o atributo sabor do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária	109
Tabela 4.35	Resultados da análise de variância (ANOVA) para o atributo sabor do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária	110

## 1. INTRODUÇÃO

No dias atuais, devido ao grande crescimento populacional, há uma grande demanda por proteínas de origem animal, como por exemplo, as carnes, principalmente as de alto valor biológico e de rápida digestibilidade. Os pescados estão entre as fontes protéicas que se enquadram nessa categoria, por isso, vêm a ser uma matéria prima que pode atender a essas exigências.

A piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) é um dos pescados de maior importância para o estado do Pará, principalmente porque é o segundo mais exportado depois do camarão. Essa característica econômica atende várias classes da cadeia produtiva dessa matéria prima, que vai desde a pesca de subsistência até a indústria. No entanto, esse produto é comercializado, em quase toda sua totalidade, na forma *in natura* ou com pouco processamento, sendo que o produto de maior valor agregado são os filés.

A carne de peixe é um produto que possui maior probabilidade de deterioração, principalmente devido a sua composição físico-química, forma de captura, habitat e flora microbiana. É tido como o mais susceptível do que os outros produtos cárneos, por ter rápida ação destrutiva de suas enzimas, característica menos ácida da carne e facilidade de oxidação dos lipídeos, bem como da atividade de microrganismos deterioradores (LEITÃO, 1977; LISTON, 1980).

Em várias partes do mundo os produtos de carne (carne, pescados e produtos de aquicultura) não são consumidos imediatamente. Em geral, são processados usando técnicas tradicionais que envolvem salga, secagem, defumação e marinação ou combinações dessas operações. São exemplos de produtos tradicionais de carne porco salgada (Europa), charque e carne de sol (Brasil), salmão defumado (França), tilápia seca (Mali) (COLLIGNAN et al, 2001).

A desidratação osmótica de filés de piramutaba é um processo de conservação no qual se faz a remoção parcial da água do alimento através da utilização solutos, como por exemplo, sal ou açúcar. No caso o alimento perde água para um tipo de solução hipertônica, que pode ser binária e/ou ternária.

A desidratação osmótica é uma técnica de conservação que visa manter a maioria das propriedades sensoriais e nutricionais, bem como, agregar valor ao produto.

Por isso o objetivo geral deste trabalho foi otimizar o processo de desidratação osmótica de filés de piramutaba em soluções binária (NaCl-água) e ternária (NaCl-sacarose-água) e avaliar, no produto da condição otimizada, o nível de degradação das proteínas, os danos causados pelo processo de desidratação por meio da análise por microscopia, bem como avaliá-la sensorialmente.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar a matéria-prima, através de análises físicas, químicas e microbiológicas;
- Avaliar a influência da temperatura, concentração de NaCl, concentração de sacarose e tempo de imersão nas respostas perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, relação ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) e atividade de água na desidratação osmótica de filés de piramutaba;
- Otimizar o processo de desidratação osmótica de piramutaba utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta, determinando, através da sobreposição das curvas de PA e atividade de água, na região de maior perda de água, com menor atividade de água;
- Estudar a influência do conteúdo de cloreto de sódio em solução binária e da sacarose conjuntamente com o cloreto de sódio em solução ternária, na temperatura de desnaturação das principais proteínas (miosina e actina) do filé de piramutaba, através de análise termogravimétrica;
- Caracterizar o produto final microbiológica e sensorialmente.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 A PIRAMUTABA (*Brachyplatystoma vaillantii*)

A piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*), Fotografia 2.1 e 2.2, pertence à família Pimelodidae. Os membros dessa família apresentam corpo nú, sem placas ou escamas, apenas coberto por pele; três pares de barbilhões longos; aberturas branquiais amplas; dentes viliformes; nadadeiras peitorais e dorsal geralmente com o primeiro raio transformado em espinho pungente. Seu corpo é robusto, sua maxila superior um pouco mais longa que a inferior, sua coloração é uniformemente acinzentada, sendo mais clara no ventre; ocorre ao longo do sistema do Solimões-Amazonas e nos principais afluentes de água branca, embora também seja conhecida em sistemas de água preta, como no rio Orinoco (Venezuela); é pouco freqüente em áreas de floresta alagada na várzea. É um animal piscívoro, e em sua dieta inclui pequenos peixes e ocasionalmente consome invertebrados e não há informações conclusivas sobre sua reprodução. Em outros locais, também é conhecida como: mulher-ingrata, piaba (Baixo Amazonas); Pirabutón, pujón (Colômbia); anitoa (Peru). É um peixe de porte grande, chegando a medir até 1m e pesar 10 kg (SANTOS et al, 2006).

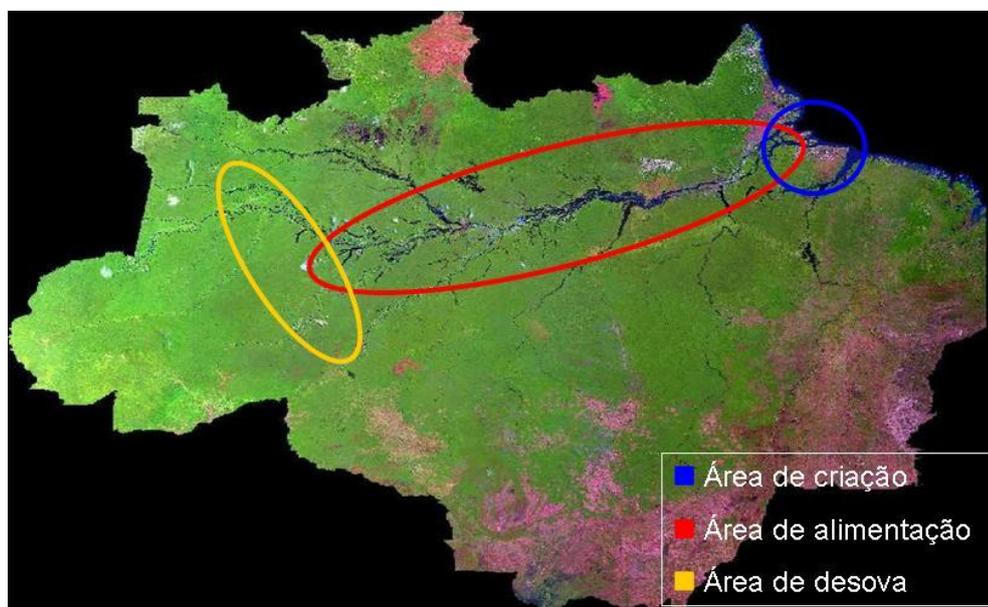


**Fotografia 2.1:** Piramutabas (*Brachyplatystoma vaillantii*).



**Fotografia 2.2:** Um exemplar raro de piramutaba albina.

A piramutaba faz longas viagens nos rios Amazonas e Solimões para completar seu ciclo de vida. Nascem, crescem e se reproduzem em locais diferentes nos rios, desde o grande estuário do rio Amazonas até as cabeceiras do Amazonas, Solimões e afluentes de água branca, como mostrado na Figura 2.1 (PROVARZEA, 2005).



**Figura 2.1:** Áreas de criação, alimentação e desova de dourada e de piramutaba no eixo Solimões-Amazonas. **Fonte:** BARTHEM; GOULDING (1997); EMBRAPA, 2000.

A Tabela 2.1 mostra a composição química da piramutaba.

**Tabela 2.1:** Composição química da piramutaba em base úmida (*Brachyplatystoma vaillantii*).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	EM 100 GRAMAS
Umidade	78,4
Proteínas	16,12
Gorduras totais	1,05
Cinzas	0,64
Valor Energético (Kcal)	73,93

**Fonte:** NOGUEIRA (2006).

O pescado, nome genérico dado a todos os animais marinhos, possui umidade em torno de 60 a 85%, ocorrendo exceções, como é o caso da água-viva e pepino do mar que atingem percentagens acima de 95%. O percentual de umidade varia com a espécie, época do ano, idade, sexo e estado nutricional. Porém, há uma relação inversa entre os teores de umidade e lipídeos, assim como entre a água e a proteína em menor intensidade. O pescado rico em lipídeos possui baixa umidade, sendo a soma destes componentes em torno de 80%. A umidade pode variar entre as diversas partes do pescado, apresentando menor valor na carne sanguínea (OGAWA e MAIA, 1999).

Segundo Rodrigues et al (2004), a importância nutricional do pescado está baseada em seu conteúdo em proteínas de alto valor biológico, vitaminas, especialmente A e D, na qualidade de seus ácidos graxos insaturados e no baixo teor de colesterol. A Tabela 2.2 mostra o perfil de ácidos graxos de peixes de água doce, incluindo a piramutaba.

De acordo com a divisão feita por Ackman (1989), a classificação dos pescados em função do teor de gordura é feita de quatro formas: magro (<2%), baixo teor de gordura (2-4%), medianamente gordo (4-8% de gordura) e altamente gordo (>8%). Posteriormente, Sanches (1989) complementou essa classificação adicionando o teor de proteínas como mostrado na Tabela 2.3. A piramutaba, de acordo com os dados obtidos por Nogueira (2006), se enquadra como um peixe da categoria A.

**Tabela 2.2:** Composição de ácidos graxos de peixes de água doce (% do peso total de ácidos graxos).

ÁCIDO GRAXO	PEIXE						
	Corimbatá	Lambari	Mandi	Piava	Pintado	Piramutaba	Traíra
12:0	ND	1,1	ND	ND	ND	ND	ND
14:0	3,2	11,5	1,9	1,7	2,1	3,6	2,8
14:1	1,1	ND	1,5	ND	ND	ND	ND
16:0	21,8	22,8	19,6	27,4	21,5	23,0	23,1
16:1	20,6	17,5	12,6	9,4	2,9	6,5	13,1
16:2	1,5	1,0	ND	ND	ND	ND	ND
18:0	4,5	4,6	7,7	5,7	10,2	11,1	8,4
18:1	16,7	11,6	27,9	26,9	14,2	13,1	18,4
18:2	3,7	2,7	5,7	7,5	0,5	1,1	4,7
20:0	ND	0,4	ND	ND	0,1	0,6	ND
18:3=20:1	7,6	4,7	9,2	12,3	0,3	0,7	4,4
20:2	0,4	1,1	0,9	0,5	ND	ND	0,1
22:0	0,3	0,4	0,5	0,6	ND	ND	0,8
22:3=22:1	4,4	3,2	5,0	2,3	7,8	6,1	8,3
20:4	1,5	1,4	0,2	1,0	0,1	ND	0,3
20:5	5,6	2,6	1,5	2,0	7,5	9,7	3,4
22:3	0,4	0,4	1,4	ND	0,8	0,9	1,2
22:4	0,8	1,5	0,3	ND	3,5	3,0	2,2
22:5	2,0	1,5	1,8	1,2	3,4	5,9	1,6
22:6	3,0	6,8	2,0	1,4	21,8	14,3	7,1
*X1	1,0	0,2	ND	ND	1,0	0,3	ND
*X2	ND	2,9	ND	ND	2,3	ND	ND

\* Picos não identificados. ND: Não detectado. **Fonte:** GUTIERREZ; SILVA (1993).

**Tabela 2.3:** Classificação dos peixes quanto ao teor de gordura e proteína.

Categoria	Classe	Gordura (%)	Proteína (%)
A	Gordura baixa, proteína alta	<5	15 – 20
B	Gordura média, proteína alta	5 – 10	15 – 20
C	Gordura alta, proteína baixa	>15	15
D	Gordura baixa, proteína muito alta	<5	>20
E	Gordura baixa, proteína baixa	<5	<15

**Fonte:** SANCHES (1989).

Sob o ponto de vista nutricional, o pescado possui características específicas que o fazem um alimento benéfico (SANTOS, 2006). Entre estas características sobressaem as seguintes:

- Rico em proteínas de alta qualidade e de rápida digestibilidade;

- Rico em lisina e aminoácidos essenciais. A lisina constitui mais do que 10% da proteína do pescado enquanto o arroz tem só 2,8%. Isto faz com que o pescado seja um complemento adequado para as dietas ricas em carboidrato, características das classes de menor poder aquisitivo;

- Rico em micronutrientes que geralmente não são encontrados em alimentos básicos. Por exemplo, é uma importante fonte de vitaminas A e D, caso suas gorduras sejam ingeridas. Também contem tiamina e riboflavina (Vitaminas B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>). É fonte de ferro, fósforo e cálcio e iodo.

- O pescado também contribui com ácidos graxos necessários ao desenvolvimento do cérebro e do corpo humano.

Uma das duas mais importantes espécies comerciais de bagres na Amazônia é a piramutaba, principalmente para o mercado de exportação. Vários autores sugerem em seus trabalhos que a espécie é composta de um único estoque que migra sazonalmente, utilizando diferentes áreas para a reprodução, alimentação/crescimento ao longo do sistema Estuário-Amazonas–Solimões (EAS). Desta forma, a piramutaba é capturada tanto pela pesca comercial artesanal, que ocorre em todo o sistema EAS, quanto pela industrial, que é praticada somente no estuário, paralelamente à pesca artesanal (AQUINO, 2006).

Na Tabela 2.4 é possível verificar as principais espécies comercializadas na cidade de Vigia no estado Pará, relacionadas com os meses de maior intensidade de comercialização, considerada como a época de maior quantidade de peixes e forma de captura. O município é considerado um dos pontos de maior desembarque de pescado capturado da costa norte do Brasil (MOURÃO et al, 2003)

**Tabela 2.4:** Período de safra de pesca das principais espécies capturadas no município de Vigia no estado do Pará.

<b>Espécies</b>	<b>Período de captura</b>
Piramutaba, pargo, cação, corvina	Maio
Pescada amarela, Gurijuba	Junho a Dezembro
Dourada, pescada branca	Todo o ano
Serra	Agosto a Dezembro

**Fonte:** MOURÃO et al (2003).

A piramutaba está entre os peixes mais pescados do EAS e é muito importante para a economia local, regional, nacional e internacional (AQUINO, 2006). Em 2001 e 2002, foi o alvo principal das pescarias, com 30,7% e 24,8% da produção total respectivamente, tendo sua safra, nestes anos, mais concentrada no segundo trimestre do ano (FRÉDOU e PINHEIRO, 2004). Em 2005 foi comercializada cerca de 20 mil toneladas de piramutaba na região Norte e o Pará ficou em 1º lugar com uma produção de 17.900 toneladas (IBAMA, 2007).

Espécies tradicionalmente exploradas para o mercado regional com alto valor econômico, tais como o pirarucu (*Arapaima gigas*), o tambaqui (*Colossoma macropomum*), a piramutaba (*Brachyplatistoma vaillantii*), a dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) e o surubim (*Pseudoplatystoma tigrinum*), mostraram sinais de sobre-pesca de crescimento ou níveis próximos aos de sustentabilidade nas pesquisas mais recentes, mesmo em áreas mais remotas, distantes dos centros urbanos (ALMEIDA, 2006).

A Instrução Normativa nº 6 de 7 de junho de 2004 (BRASIL, 2004), estabelece o período de defeso para a pesca de arrasto da piramutaba, limita a frota pesqueira que opera na captura de piramutaba e outros bagres (ordem Siluriforme) na Foz dos Rios Amazonas e Pará e dá outras providências. A proibição deve ser cumprida anualmente no período de 15 de setembro a 30 de novembro (BRASIL, 2004).

Com o crescimento mundial da demanda, o pescado tem deixado de ser um produto de baixo valor e a expectativa de redução dos estoques elevará mais ainda o seu preço. A tendência é que os mercados para produtos de valores agregados sejam ampliados e que o setor desenvolva mercado para novas espécies não exploradas. Paralelamente, a expectativa é que haja inovação contínua nos produtos

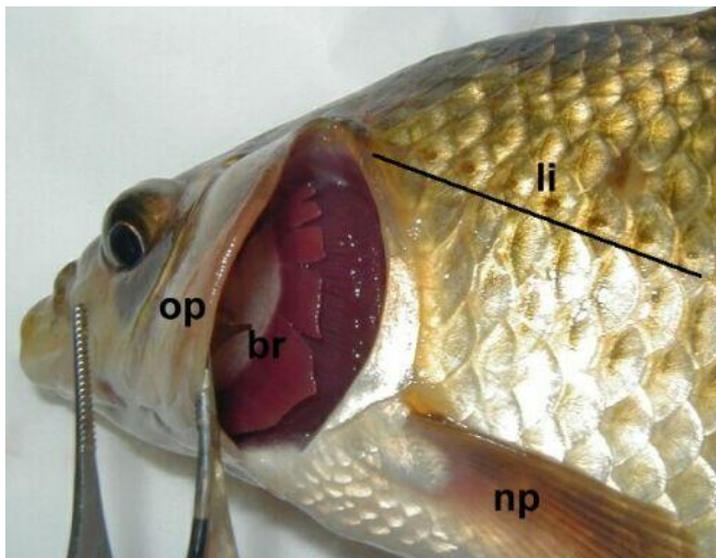
e na apresentação dos produtos derivados da pesca (ALMEIDA e ANDROCZEVICZ, 2006).

## 2.2 MICROBIOLOGIA E CONSERVAÇÃO DO PESCADO

Segundo Brasil (1997), na avaliação sensorial o peixe deverá apresentar-se com todo o frescor da matéria-prima convenientemente conservada, devendo estar isento:

- De toda e qualquer evidência de decomposição;
- Manchas por hematomas;
- Coloração distinta à normal para a espécie considerada;
- Incisões ou rupturas das superfícies externas;
- A pele deve estar úmida, tensa e bem aderida;
- A mucosidade, em espécies que a possuem, deve ser aquosa e transparente;
- Os olhos devem ocupar a cavidade orbitária e ser brilhantes e salientes;
- O opérculo deve ser rígido e oferecer resistência à sua abertura.
- As brânquias devem variar da cor rosa ao vermelho intenso, ser úmidas e brilhantes, com ausência ou discreta presença de muco;
- O abdome tem que estar tenso, sem diferença externa com a linha ventral;
- Após sua evisceração, o peritônio deverá apresentar-se muito bem aderido às paredes, as vísceras inteiras, bem diferenciadas, brilhantes e sem dano aparente;
- Os músculos devem estar aderidos aos ossos fortemente e de elasticidade marcante;
- O odor e o sabor devem ser característicos da espécie que se trate.

Algumas dessas características podem ser vistas na Fotografia 2.3



**Fotografia 2.3:** Foto ilustrativa do opérculo (op), brânquias (br), nadadeira peitoral (np) e linha lateral (li) (ANDRADE e RAMON JUNIOR, 2007).

Em contrapartida, segundo Botelho (1970), entre os variados tipos de carnes, o pescado é o que se decompõe mais rapidamente; isto devido a sua constituição pobre em tecido conjuntivo, como também a característica especial do tecido muscular que se alcaliniza após a morte. Dois processos contribuem para a putrefação precoce do pescado: o primeiro de natureza bioquímica, conhecido por autólise ou autodigestão, que é ocasionada pela ação das enzimas dos sucos digestivos, da pele e dos tecidos sobre o próprio músculo. O segundo e principal agente causador da putrefação são as bactérias que se encontram no muco exterior, nas brânquias e no intestino, em quantidade considerável (KAI e MORAIS, 1988; SALES et al, 1988).

Segundo Pessatti *et al* (2001) após a despesca - que é o nome dado ao processo de retirada dos peixes cultivados em cativeiro - manuseio, transporte e processamento, a microflora do pescado sofre sensíveis alterações com a eventual introdução de patógenos e outras bactérias.

De um modo geral, o músculo e os órgãos internos dos pescados, quando recentemente capturado, são considerados estéreis. Logo após a sua morte o peixe perde suas defesas, tornando-se vulnerável ao ataque microbiano. O tipo de deterioração observado pode ser em grande parte, atribuído a alterações nos tecidos dos peixes, causadas pelo ataque de tipos específicos de bactérias e dos produtos gerados por elas. A extensão da deterioração é determinada pela carga

microbiana inicial, pela temperatura do músculo do peixe, pelo tempo decorrido depois de sua morte e pelas práticas sanitárias adotadas (LEITÃO, 1977, ADAMS e MOSS, 1997).

A flora microbiana do peixe vivo depende das águas onde ele vive. Peixes de águas frias possuem uma microflora natural composta principalmente por psicrófilos, que agem em temperatura menores que 20°C. Essa microflora é relativamente uniforme e composta principalmente de bactérias dos gêneros de *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Moraxella*, *Acinetobacter* e *Flavobacterium*. Para peixes de águas tropicais a microflora predominante são os mesófilos, que constituem basicamente pelos gêneros citados anteriormente, incluindo-se também as espécies de *Aeromonass*, *Lactobacillus*, *Brevibacterium*, *Alcaligenes* e *Streptococcus* (KAI e MORAIS, 1988; FRAZIER e WESTHOFF, 1991).

Segundo Gram e Huss (1999), peixes provenientes de águas frias, após sofrerem deterioração, apresentam bactérias Gram-negativas, enquanto espécies de peixes de águas tropicais apresentam bactérias Gram-positivas, além de bactérias entéricas. Os microrganismos aeróbicos inicialmente crescem na superfície do peixe, e quando a superfície começa a modificar-se e aumentar o muco residual, começa o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas.

De acordo com Gelli (1988), os microrganismos potencialmente capazes de causar doenças transmitidas pelo consumo de pescado são os patogênicos entéricos, que também podem ser transmitidos por outros produtos que não pescados, e o *Vibrio parahaemolyticus*. A *Salmonella spp*, incluindo a *S. typhi*, de veiculação principalmente hídrica; as *E. Coli* entero-patogênicas, a *Shigella spp*. podem ser veiculadas pelos pescados. A *Yersinia enterocolitica*, o *Campylobacter jejuni* e, a *Listeria monocytogenes*, também.

De acordo com Beirão et al. (2000) a penetração de microrganismos na carne de pescados e a decomposição gradual das substâncias nitrogenadas começa quase que simultaneamente à autólise; a velocidade e intensidade porém, dependem da temperatura de estocagem. Se o pescado é mantido em gelo, ocorre uma inibição da atividade bacteriana e o processo de autólise é mais intenso que a decomposição bacteriana. Quando o produto está em temperatura mais alta, a decomposição bacteriana predomina. As trocas nas estruturas e na composição química do tecido e órgãos do produto podem ser facilmente reconhecidas por vários sinais sensoriais, tais como aparência externa, firmeza, consistência da carne e

odor, mas estes sinais não são suficientes para decidir se o produto está apto ou não para o consumo. No caso de dúvidas, é necessário analisar o produto quimicamente.

A conservação do pescado se faz pela combinação da ação do gelo e da câmara fria. Para peixes inteiros, a condição apropriada se dá pela imersão do pescado em gelo semi-fundido, à aproximadamente 0 °C. E para manter essa condição ótima, e assegurar que os pescados estão banhados com uma película de água à 0 °C, pode-se mantê-los sob refrigeração em numa temperatura acima do ponto de congelamento, que está entre -1 °C a -2 °C. Dessa forma, o gelo irá fundir-se devagar e manter um fluxo de água de degelo (RUITER, 1995).

O pescado começa a congelar à aproximadamente -1,5 °C, nessa temperatura ocorre a inibição da maior parte da atividade microbiana e enzimática (RUITER, 1995). Nesta faixa de temperatura ocorre latência dos microrganismos, isto é, eles estão presentes, porém não se desenvolvem, no entanto, caso a temperatura volte a aumentar, eles iniciam o seu desenvolvimento e irão deteriorar o produto.

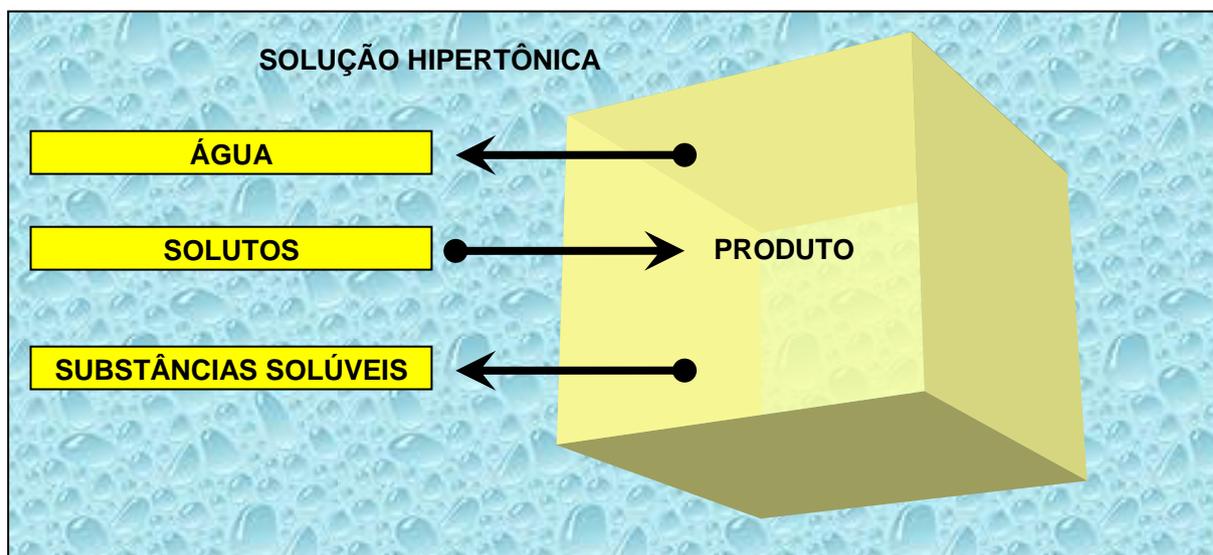
### 2.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Existem vários métodos para conservar os alimentos, tais como, calor, frio, controle da umidade, adição de solutos, defumação, fermentação, aditivos químicos e irradiação. O que difere um do outro é a forma pela qual o alimento é tratado. A adequação do tipo de conservação ao tipo de alimento é muito importante, sendo que na maioria das vezes o ideal é o emprego de processos combinados. O fator econômico é muito importante quando se escolhe o método a ser empregado, pois existem processos que são muito caros para determinados tipos de alimentos, por exemplo, a refrigeração, que tem alto custo devido à necessidade de se manter a cadeia do frio. Logo, a indústria pode não conseguir repassar este custo para o preço final, uma vez que o preço do produto ficaria muito alto (CAMARGO, 2007).

O processo de desidratação osmótica apresenta diversas vantagens sobre outros métodos, tais como: redução da injúria térmica, com uma preservação da textura, retenção de vitaminas e estabilização da cor e diminuição do tempo de secagem (RAOULT-WACK, 1994; LENART, 1996).

A desidratação osmótica, também conhecida como processo por impregnação, é uma técnica para concentração de alimentos sólidos com alto teor de umidade. Baseia-se na imersão de alimentos inteiros ou em fatias, em soluções hipertônicas, dando origem a dois fluxos paralelos e em contra-corrente: saída de água do produto para a solução e a migração de solutos da solução para o sólido (Figura 2.2). O aspecto interessante desse processo é que nele ocorre, simultaneamente, uma redução da quantidade de água presente inicialmente no produto e uma incorporação de outros sólidos aos já existentes, reduzindo a atividade de água e muitas vezes, permitindo uma formulação do produto final (VIVANCO, 2003).

A estrutura complexa da parede celular dos alimentos age como uma membrana semipermeável – responsável pelo controle da entrada e saída de substâncias da célula – a qual não é completamente seletiva, permitindo a saída de água. Há ainda outro fluxo no qual ocorrem a saída de alguns sólidos do alimento, tais como, açúcares, ácidos orgânicos, minerais, aromas, dentre outras substâncias solúveis. Essa perda pode ser negligenciável, no entanto pode exercer algum impacto no valor nutricional e sensorial do alimento (RASTOGI et al., 2002; SOUSA et al, 2003).



**Figura 2.2:** Transferência de massa durante a desidrata o osmótica.

Ribeiro (2005) evidenciou, em carne de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*), que a condi o ótima do processo de desidrata o osmótica para ser utilizada como pré-tratamento a secagem não ultrapassou a temperatura de 46 C e tempo de

imersão de 8 horas, sendo dessa forma mantidas as melhores características de textura e cor.

Martínez-Navarrete et al (2002), comentam que a tendência da indústria de alimentos é cada vez mais produzir alimentos com o máximo de propriedades sensoriais e nutricionais dos alimentos frescos, ou seja, com um mínimo de processamento. E a aplicação da técnica de desidratação osmótica tem sido extensamente aplicada e apresenta muitas vantagens em comparação aos métodos tradicionais de secagem.

Com relação à perda de nutrientes, segundo Hubinger (2004), a retirada de água por desidratação osmótica nem sempre reduz os teores protéicos dos alimentos (carnes e peixes, por exemplo). O que pode ocorrer é que, dependendo da concentração de salmoura utilizada, as proteínas podem ser desnaturadas – quando a proteína perde sua conformação estrutural e sua atividade biológica.

A taxa de difusão da água, no processo de desidratação osmótica, é função de alguns fatores, como: temperatura, concentração da solução osmótica, do diâmetro e geometria do material, da taxa de transferência da solução para material e nível de agitação da solução (RASTOGI *et al.*, 2002).

Os produtos obtidos pelo processo de desidratação osmótica apresentam atividade de água entre 0,60 - 0,90, ou seja, são produtos com umidade intermediária e devido a isso possuem baixa estabilidade de vida de prateleira, quando conservados à temperatura ambiente. A desidratação osmótica é geralmente utilizada como uma etapa preliminar a outros processos de conservação, tais como, secagem, congelamento ou liofilização, tendo como finalidade reduzir os custos, diminuir o potencial de deterioração e garantir uma melhor qualidade do produto (PINTO e TOBINAGA, 1993; LENART, 1996; MASTRANGELO *et al.*, 2000; FERREIRA *et al.*, 2005).

### **2.3.1 Características do tecido celular**

Existe na superfície das células uma membrana – denominada plasmática ou celular – que separa o meio intracelular do extracelular e é a principal responsável pelo controle da penetração e saída de substâncias da célula. Sua diminuta espessura só pode ser vista ao microscópio eletrônico (ALVES, 2003).

A membrana celular é muito permeável à água e poucas substâncias a atravessam com igual facilidade. Quando colocadas em uma solução hipotônica as células aumentam de volume devido a penetração de água. Se o aumento de volume for muito acentuado, a membrana se rompe e o conteúdo da célula extravasa fenômeno conhecido como *lise celular*. Inversamente, quando colocadas em solução hipertônica, as células diminuem de volume devido a saída de água (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 1977).

A transferência de massa dentro do tecido animal tem sido estudada em diversos processos, como a marinação, salga e secagem (RIBEIRO, 2005; VIVANCO, 2003). Segundo Wang *et al* (2000) os valores da difusividade do sal (NaCl) em carne de peixe é dependente da espécie, da temperatura, orientação do músculo, teor de gorduras, presença ou ausência de pele e outros fatores. A presença de gordura força o sal a fazer caminhos tortuosos com significativa redução na difusividade do sal. Schwartzberg e Chao (1982) apud Wang *et al* (2000) constataram que, quanto mais o alto é o teor de gorduras no músculo maior resistência esse músculo terá para transferir água para solução aquosa de cloreto de sódio.

Wang *et al* (2000) verificaram que o sal penetrou em 3/10 da espessura de filés de salmão do Atlântico, com 20 mm de espessura, durante o pré-rigor e pós-rigor, após 6 horas de infusão em solução osmótica salina.

### **2.3.2 Agente osmótico**

Os agentes desidratantes mais comumente utilizados na desidratação osmótica são soluções de açúcares (sacarose, glicose) e/ou sal (NaCl) (RASTOGI *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2003). Todos os solutos altamente solúveis em água e os solventes miscíveis em água podem ser utilizados, desde que sejam desprovidos de substâncias tóxicas, individualmente ou combinados de forma a garantir à obtenção de um alimento estável a umidade intermediária ( $0,65 < a_w < 0,90$ ). A escolha da composição da solução osmótica depende de considerações sobre a capacidade de abaixamento da atividade de água ( $a_w$ ), influência sobre a cor, sabor, limite de tolerância no produto e custos (RAOULT-WACK, 1994).

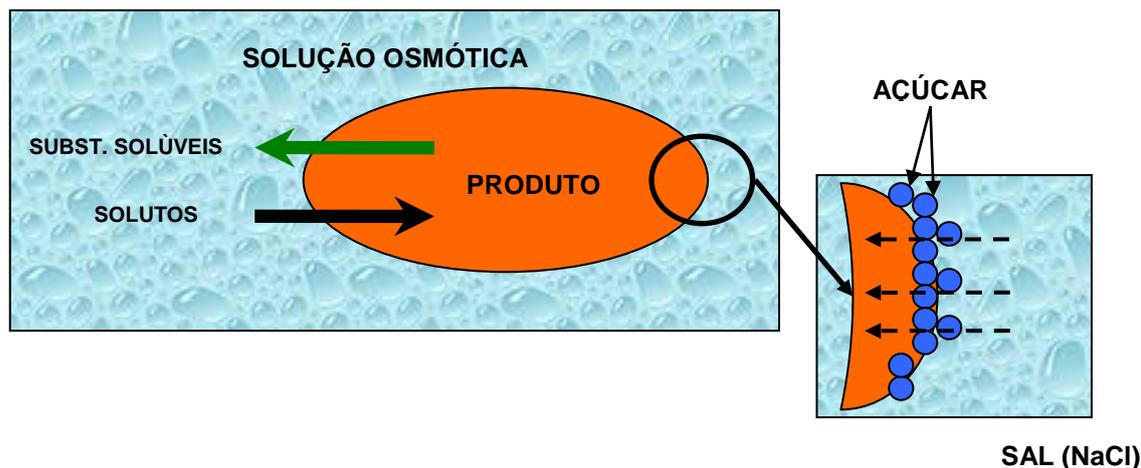
Para as frutas, utiliza-se em geral uma solução concentrada de sacarose, que é um açúcar abundante e barato no Brasil. Para as carnes vermelhas, peixes e

alguns legumes, as mais usadas são soluções de sal (cloreto de sódio). Deve-se sempre tomar cuidado com o teor de sal final desses alimentos em função do impacto que tal substância poderá causar no sabor do alimento (HUBINGER, 2004).

A muitos e muitos anos a salga faz parte da história humana, principalmente para carnes e pescados, contudo a aproximação a estas práticas foi em sua maior parte de forma empírica, ou seja, de forma experimental por tentativa e erro. Até aproximadamente 30 anos pouca atenção era dada à compreensão dos mecanismos básicos envolvidos na salga de peixes. Atualmente, está se aceitando que a difusão do sal tem um papel importante no processo de salga (WANG; TANG; CORREIA, 2000).

A salga, utilizando NaCl como forma de preservação de carnes em geral, é um método muito conhecido e estudado. Vivanco (2003) ressaltou que a utilização de sal e açúcar juntos, na forma de soluções ternárias para uso em desidratação osmótica, como método de conservação de peixe, mesmo sendo mais eficiente, ainda é uma técnica ainda pouco conhecida. Por isso considerou interessante o estudo da transferência de massa desses solutos no filé de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) como uma boa alternativa na preservação de pescado aproveitando dessa forma as vantagens de ambos os solutos. Ribeiro (2005) desenvolveu um estudo sobre a desidratação osmótica de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*) utilizando ambos solutos.

Bohuon et al. (1998) observaram que há uma interação muito grande entre NaCl e sacarose em soluções ternárias, principalmente em altas concentrações dos dois agentes osmóticos, e a presença de sacarose na solução limita significativamente a impregnação de NaCl (o ganho de sal pode ser dividido por cinco). Tais resultados também foram observados por Collignan; Raoult-Wack (1994) em um trabalho feito com produtos cárneos tratados com soluções ternárias. Segundo Collignan et al. (2001) esse fenômeno ocorre devido à formação de um revestimento de açúcar no produto cárneo (Figura 2.3).



**Figura 2.3:** Efeito barreira do açúcar na matriz protéica imersa em solução aquosa ternária contendo sal e açúcar. **Fonte:** COLLIGNAN et al. (2001).

### 2.3.3 Tempo de imersão

Vivanco *et al* (2006) relatou um efeito importante em relação ao tempo de imersão de files de tilápia em solução salina de cloreto de sódio, onde foi observado que houve um aumento rápido no índice de sal da matéria-prima nos primeiros 200 minutos do processo. Essa alta taxa de incorporação do sal foi atribuída a um grande gradiente entre a pressão osmótica e a concentração de sal da salmoura e dos filés.

Ribeiro (2005) verificou que a variável tempo de permanência na solução osmótica não foi considerado um fator significativo para o ganho de sólidos, sendo nesse caso considerados significativos, os fatores temperatura e concentração da solução de NaCl na desidratação osmótica de filé de Mapará.

### 2.3.4 Concentração da solução

A concentração da solução osmótica é um fator importante no processo de desidratação. Souza Neto *et al* (2005) observaram que o aumento da concentração da solução osmótica, no processo de desidratação osmótica de manga, aumentou também a perda de água, devido ao aumento da pressão osmótica no interior da fruta. Tal acontecimento também foi relatado por Mizrahi; Eichler; Ramon (2001) em um sistema em gel de poliácridamida.

Na desidratação osmótica de tomates, feito com solução ternária de NaCl-água-sacarose, Tonon *et al* (2006) verificaram que um aumento na concentração de

sal aumentou a perda de água e a incorporação de sacarose. Este fato pode estar relacionado ao aumento da permeabilidade da membrana celular, decorrente das alterações físicas provocadas pelo sal.

Vivanco *et al* (2006) evidenciaram que a concentração da salmoura usada para avaliar a cinética da salga de filés de tilápia, teve importante influência nos valores de equilíbrio como também na relação da concentração de salmoura/filé.

Em um trabalho feito por Ribeiro (2005), com filés de peixe (Mapará - *Hypophthalmus edentatus*), a concentração da salmoura apresentou um efeito negativo, em que o aumento da concentração acarretou em uma diminuição na perda de peso.

### **2.3.5 Temperatura**

A temperatura constitui um parâmetro importante sobre a cinética de desidratação osmótica, já que temperaturas mais altas proporcionam um aumento da velocidade de transferência de massa. A temperatura ótima do processo depende do produto estudado e apesar da taxa osmótica aumentar com a temperatura, sendo esta acima de 45°C pode acarretar alterações das características de cor, sabor, aroma e mudanças na parede celular (TORREGGIANI, 1993; FERRARI, 2005). Para as carnes e peixes, são empregadas temperaturas entre 10°C e 20°C para se evitar a degradação do produto e o desenvolvimento e proliferação de microorganismos durante o processo de desidratação osmótica (HUBINGER, 2004). Contreras e Smyrl (1981) apud Ribeiro (2005) comentam que temperaturas mais elevadas permitem melhor circulação da solução osmótica devido à diminuição da viscosidade.

Ferreira *et al* (2005) evidenciaram que a temperatura não foi o fator determinante sobre a umidade de equilíbrio em chuchu desidratado osmoticamente em soluções de sacarose. O fator que realmente acelerou o processo de perda de água foi a concentração da solução. Já para Vivanco (2003) a temperatura influenciou na velocidade de redução da atividade de água e umidade e na velocidade de difusão do cloreto de sódio, dentro de filés de Tilápia.

Molina Filho *et al* (2006) observaram, em carne de Tambaqui (*Colossoma Macroparum*), que o teor de água de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. Tal fato estaria relacionado com um aumento da energia cinética das

moléculas de água, diminuindo as forças de atração e conseqüentemente causando a liberação de água.

Um incremento da temperatura, no processo de salga de filés de Tilápia do Nilo, afetou a atividade de água. Houve uma diminuição no índice de umidade e entrada de sal nos filés, sem, no entanto influenciar nos valores do equilíbrio (VIVANCO *et al*, 2006).

### 2.3.6 Cálculos da cinética de desidratação osmótica

Os valores de perda de água, ganho de sólidos e perda de peso podem ser calculados através das Equações 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente (HAWKES e FLINK, 1978).

#### Perda de Água (PA)

$$P.A.(%) = \left[ \frac{MA_0 - MA_t}{M} \right] 100 \quad (2.1)$$

ou

$$P.A.(%) = \left[ \frac{(M \times U_0) - (M_t \times U_t)}{M} \right]$$

Onde:

MA<sub>0</sub>: massa de água inicialmente presente (g);

MA<sub>t</sub>: massa de água no produto no tempo t (g);

M: massa inicial da amostra b.u. (g).

M<sub>t</sub>: massa da amostra no tempo "t" (g).

U<sub>0</sub>: umidade inicialmente presente (%);

U<sub>t</sub>: umidade no tempo "t" (%).

#### Ganho de sólidos (GS)

$$G.S.(%) = \left[ \frac{MS_t - MS_0}{M} \right] 100 \quad (2.2)$$

$$\text{G.S.(\%)} = \left[ \frac{[ M_t (100 - U_t) ] - [ M(100 - U_o) ]}{M} \right] \text{ ou}$$

Onde:

$MS_o$ : massa de sólidos inicialmente presente (g);

$MS_t$ : massa de sólidos no tempo t (g).

### Perda de peso

$$\text{P.P.(\%)} = \left[ \frac{M - M_t}{M} \right] 100 \quad (2.3)$$

A desidratação osmótica é um processo que geralmente envolve uma significativa remoção de água (40-70% de água é perdida da massa inicial do produto) com uma limitada e controlada incorporação de sólidos (5-25% de soluto ganho da massa inicial) (RAOULT-WACK, 1994 apud RIBEIRO, 2005).

Jokić *et al.* (2007) utilizaram os cálculos de perda de água e ganho de sólidos para determinar o efeito do tempo de imersão (30 – 240 minutos), concentração de sacarose (30 – 70%, p/p), concentração de cloreto de sódio (0 – 8%, p/p) e temperatura da solução (30 – 50°C), durante a desidratação osmótica de beterraba. Da mesma forma, outros autores também usaram esses cálculos para outras fontes de matérias-primas, tais como, Vivanco (2003) e Ribeiro (2005) que verificaram esses parâmetros em filés de pescado.

Garcia *et al* (2007) avaliaram a cinética de desidratação osmótica de abóboras em solução de sacarose pelos resultados obtidos dos cálculos de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS).

## 2.4. ATIVIDADE DE ÁGUA

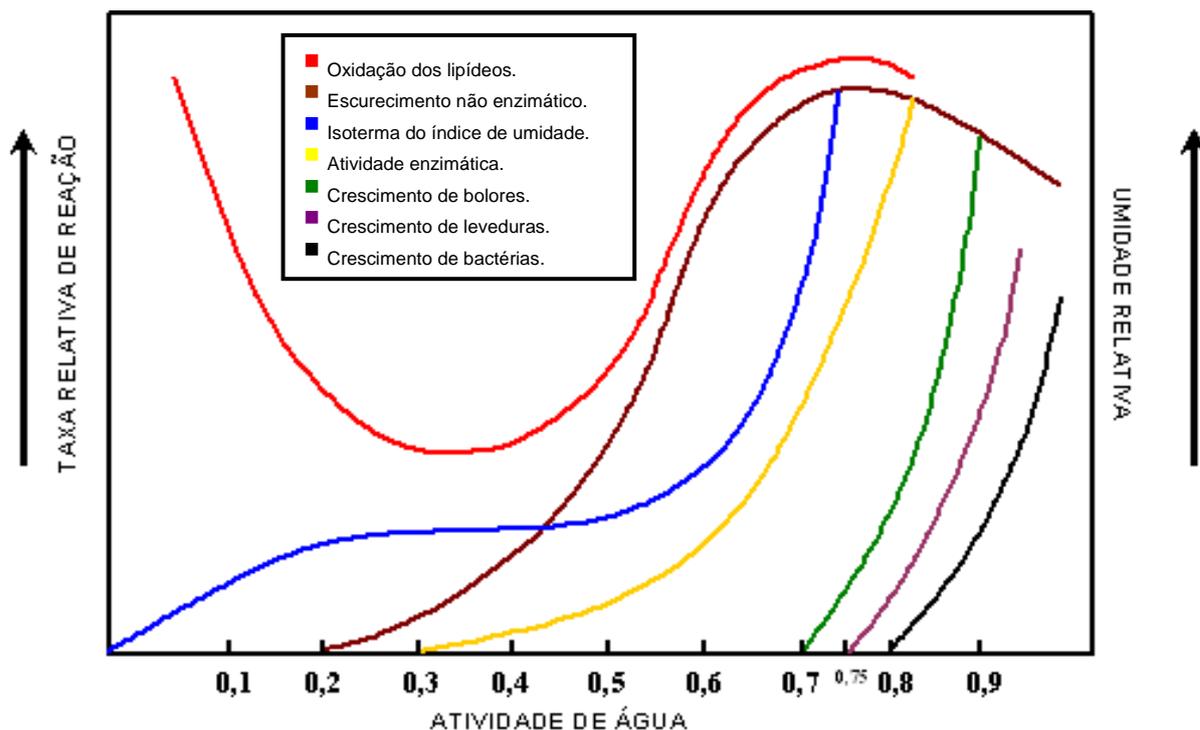
A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, afetando todas as suas propriedades físicas. A forma como a água afeta a natureza física e as

propriedades dos alimentos é complicada devido, à interação desta com o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas (PARK *et al*, 2001).

De acordo com Adams e Moss (1997), a atividade de água ( $a_w$ ) de um alimento ou de uma solução qualquer é a relação existente entre a pressão parcial de vapor da água existente na atmosfera em equilíbrio com o produto (P) e a pressão parcial da atmosfera em equilíbrio com a água pura numa mesma temperatura ( $P_0$ ). Esta relação é numericamente equivalente à umidade relativa de equilíbrio (URE) expressa de acordo com a Equação 2.4:

Um aspecto fundamental considerado na preservação de alimentos não é a quantidade de água presente neste alimento e sim como a água está ligada neste alimento. A água ligada a macromoléculas por forças físicas não está livre para agir como solvente ou participar de reações químicas e, portanto, não pode se aproveitada para o crescimento de microrganismos, reações metabólicas, reações enzimáticas ou não, e muitas outras reações químicas que ocorrem em alimentos (Figura 2.4) (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996; FRANCO e LANDGRAF, 1996; BARBOSA-CÁNOVAS *et al*, 2003).

$$A_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.4)$$



**Figura 2.4:** Relação da taxa de deterioração dos alimentos em função da atividade de água. **Fonte:** BARBOSA-CÁNOVAS *et al*, 2003.

A adição de sais, de açúcar e de outras substâncias provoca a redução do valor de atividade de água por reduzir o valor de P, sendo essa redução variável em função da natureza da substância (s) adicionada (s), da quantidade adicionada e da temperatura. O valor máximo de atividade de água é 1, para a água pura. Nos alimentos ricos em água, a atividade de água acima de 0,90 formam soluções diluídas com os alimentos servindo de substrato para reações químicas e o desenvolvimento microbiano. Entre atividades de água entre 0,40 e 0,80 há uma aceleração das reações de oxidação dos lipídeos, escurecimento não enzimático e atividade enzimática, pelo aumento da concentração dos substratos. Próximo a 0,60, cessa a atividade microbiana e para inferior a 0,30 cessam-se todas as atividades de reações, exceto a oxidação dos lipídeos (FRANCO e LANDGRAF, 1996; FENNEMA, 1996; PARK *et al*, 2006).

## 2.5. CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA

A calorimetria diferencial de varredura (DSC) é uma técnica que usa as mudanças na entalpia e na capacidade calorífica das amostras para caracterizar eventos químicos e físicos (COLEMAN e CRAIG, 1996).

A DSC é a técnica dominante para investigação termo-analítica de materiais. De modo simplificado, ela mede a diferença de energia entre a substância a ser analisada e um material de referência (material inerte) quando ambos estão sujeitos a um programa controlado de temperatura. A magnitude do sinal medido está diretamente relacionada com a capacidade calorífica dos compostos em análise. Uma curva de DSC fornece a variação de entalpia em função do tempo ou temperatura. O sinal resultante é convertido em taxa de calor usando a Equação 2.5 (derivada da Lei de Newton de resfriamento e pode ser considerada como uma analogia térmica da Lei de Ohm) (MCKENNA *et al*, 1989; COLEMAN e CRAIG, 1996; SILVA *et al*, 1998).

$$\Delta Q = (T_s - T_r)/R_T \quad 2.5$$

Onde:

Q = calor (J);

$T_s$  = temperatura da amostra (K);

$T_r$  = temperatura de referência (K);

$R_T$  = resistência térmica ( $KJ^{-1}$ ).

A DSC é considerada uma das mais populares técnicas de análise térmica. Tem-se como exemplo a detecção da perda, ganho ou migração de água (ROSS *et al*, 1996) ou desnaturação das proteínas, (FURUKAWA *et al*, 2004). No entanto, a interpretação das curvas de fluxo de calor do termograma, é bastante difícil, devido à complexa natureza dos alimentos e seus produtos. Outro problema é a presença de água dos alimentos, especialmente durante o processo de sua medição durante a evaporação (DE MEUTER *et al*, 1999).

## 2.6. PROTEINAS E TEMPERATURA DE DESNATURAÇÃO

Os peixes são uma fonte importante de proteínas e as propriedades estudadas nesse trabalho dependem da estrutura do músculo do peixe e das mudanças que acontecem nas proteínas que o conformam. As proteínas musculares podem ser classificadas em sarcoplasmáticas ou solúveis em água, miofibrilares ou solúveis em sal e estromáticas ou do tecido conjuntivo. A maior quantidade pertence às proteínas miofibrilares, classificadas em contráteis (actina e miosina) com cerca de 75-80% e reguladoras, aproximadamente 20% (MOTARJEMI, 1988).

As proteínas, em geral, são macromoléculas complexas que contam com uma estrutura primária, que consiste em uma seqüência de aminoácidos unidos por ligações peptídicas, estrutura secundária que refere-se aos arranjos particularmente estáveis dos resíduos de aminoácidos, dando origem a padrões estruturais recorrentes. A estrutura terciária descreve todos os aspectos do dobramento tridimensional de um polipeptídeo. Quando uma proteína possui duas ou mais subunidades polipeptídicas, seu arranjo espacial é denominado quaternária (NELSON e COX, 2002).

O sistema "actomiosina" do músculo é um exemplo de estrutura quaternária. A miosina e a actina são as proteínas fundamentais das miofibrilas. A miosina representa entre 50 a 60% das proteínas miofibrilares e possui 6 subunidades: duas cadeias pesadas ( $M_r = 220.000$ ) e duas cadeias leves ( $M_r = 20.000$ ). As cadeias pesadas são responsáveis por grande parte da estrutura geral. Nas células musculares, as moléculas de miosina agregam-se formando estruturas denominadas filamentos grossos. A actina é a segunda proteína muscular mais importante e nos músculos as moléculas de monômeros de actina, denominadas de actina G (actina globular;  $M_r = 42.000$ ) associam-se formando um polímero longo denominado actina F. A actina F juntamente com as proteínas troponina e tropomiosina formam o filamento fino (CHEFTEL e CUQ, 1984; NELSON e COX, 2002).

A conformação da proteína, ligada à sua estrutura secundária, terciária e quaternária é lábil. Por essa razão, o tratamento das proteínas com soluções salinas concentradas, temperaturas elevadas e radiações, entre outros, pode modificar essas estruturas. A desnaturação é entendida como qualquer modificação da conformação (secundária, terciária e quaternária) sem a ruptura dos enlaces peptídicos, implicados na estrutura primária (CHEFTEL e CUQ, 1984).

Segundo Fennema (1985) os efeitos da desnaturação das proteínas podem ser: a queda da solubilidade, conseqüência da liberação dos grupos hidrofóbicos; modificação na capacidade de retenção de água; perda da atividade biológica; aumento da susceptibilidade ao ataque de proteases; aumento da viscosidade intrínseca; a incapacidade de cristalizar.

A maioria das proteínas pode ser desnaturada pelo calor, que afeta as interações fracas em uma proteína (principalmente as ligações de hidrogênio) de forma complexa. As proteínas podem ser desnaturadas não apenas pelo calor, mas por extremos de pH, entre outras substâncias. Cada um desses agentes

desnaturantes representa um tratamento relativamente brando no sentido de que nenhuma ligação covalente na cadeia polipeptídica é rompida (NELSON e COX, 2002).

A mais importante transição que acontece nas proteínas é a desnaturação, que pode ser considerada como uma transição irreversível que inclui um calor endotérmico de desnaturação, quantificável mediante o uso do calorímetro diferencial de varredura (DSC). A temperatura de desnaturação das proteínas, e a intensidade desta, pode ser influenciada por diversos fatores. (VIVANCO, 2003).

Park e Lainer (1989) verificaram, em carne moída de Tilápia, que os valores de transição das actina e miosina ocorreram ao redor de 58,7 °C e 74°C respectivamente. Furukawa et al (2004) pôde observar no termograma da carne de coelhos sem aditivos, a ocorrência de duas nítidas endotermas, a primeira com  $T_d=58,4\pm 0,7^\circ\text{C}$  está associada à desnaturação da miosina e a segunda,  $T_d=78,2\pm 0,2^\circ\text{C}$ , a da actina.

Monterrey-Quintero e Sobral (2000), estudaram as transições térmicas em carne de tilápia sob várias formas de trituração para obtenção de biofilme, e verificaram que as temperaturas de desnaturação da actina se mantinham muito próximas enquanto que para a miosina ocorreu um deslocamento para menores temperaturas com diferenças em torno de 4,8 °C, da maior para a menor temperatura.

Hasting *et al* (1985) estudaram a desnaturação das proteínas de músculo de bacalhau durante o congelamento, descongelamento, armazenamento e secagem, através de calorimetria diferencial de varredura (DSC) e verificaram que a miosina foi a proteína mais susceptível à desnaturação pelo armazenamento congelado e pela desidratação.

## 2.7. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A falta de planejamento muitas vezes é a causa do insucesso de uma investigação, e, no entanto, raros são os pesquisadores que pensam em estatística antes de realizar seus experimentos (BARROS NETO *et al*, 1996). Segundo Araujo (2005), nos últimos anos a ferramenta do planejamento experimental vem recebendo especial atenção ao se planejar a realização de experimentos, pois é uma alternativa para racionalizar o número de experimentos a serem realizados facilitando ainda

uma melhor compreensão dos resultados obtidos em que se pode extrair o máximo de informações a respeito das condições estudadas com um número reduzido de ensaios experimentais.

De acordo com Barros Neto *et al* (1996), a essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura. Para isso, é preciso saber o que se está procurando para poder escolher a técnica mais adequada para se obter os resultados esperados, ou simplesmente a mais vantajosa. Por exemplo, quando se deseja fazer uma triagem inicial dos fatores, é vantajoso começar pela execução de planejamentos fatoriais fracionários, porque dessa forma, é possível descartar as variáveis não significativas e com isso evitar perda de tempos e de recursos financeiros. Esses planejamentos podem ser usados para estudar vários fatores experimentais ao mesmo tempo. Após selecionar as variáveis importantes, o experimentador pode usar o Planejamento Fatorial Completo, para avaliar quantitativamente a resposta de interesse com um mínimo de experimentos.

De acordo com Moore (2000), a finalidade de um experimento é revelar a resposta de uma variável a modificações em outras variáveis. É essencial que seja feito uma distinção entre variáveis independentes e de resposta. Em um experimento, as variáveis explanatórias são chamados fatores. Muitos experimentos estudam os efeitos conjuntos de vários fatores. Em tais experimentos, cada tratamento é formado pela combinação de um valor específico (chamado nível) de cada um dos fatores.

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), do inglês *Response Surface Methodology* (RSM), consiste em um grupo de técnicas baseadas no emprego de planejamentos fatoriais, usadas no estudo empírico e que relaciona uma ou mais respostas, tais como, rendimento, índice de cor e viscosidade, com o número de variáveis de independentes como, temperatura, pressão, concentração e outras mais (BOX *et al*, 1978).

A técnica da Metodologia de Superfície de Resposta pode ser usada quando o interesse do pesquisador é otimizar o seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, como por exemplo, maior produção com mínimo custo sem perder as especificações do produto (BARROS NETO *et al*, 1996).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL

##### 3.1.1. Matéria- prima

Foram utilizados 23 peixes da espécie piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) da Empresa de Pesca FRIVASA Frigorífico Vale do Tapanã S/A (Icoaraci – Belém – Pará – Brasil) adquiridos logo após o fim do defeso. As amostras foram coletadas na câmara de espera, que é onde ficam os peixes até o momento do processamento. Em seguida, foram acondicionadas e transportadas em caixa isotérmicas de isopor com gelo em escamas até o Laboratório de Engenharia Química (LEQ), onde foram posteriormente, lavadas com água potável, evisceradas, lavadas novamente com água clorada a 5 ppm, filetadas manualmente, retiradas a pele, embaladas em sacos plásticos, congeladas em refrigerador de uso doméstico e mantidas nessa condição até análises posteriores.

#### 3.2. MÉTODOS

##### 3.2.1 Análises microbiológicas da matéria-prima

A avaliação da qualidade microbiológica foi efetuada adotando-se o procedimento de Vanderzant e Splittoesser (1992). Foram realizadas as seguintes análises microbiológicas para o pescado “*in natura*” de acordo com (BRASIL, 2001):

- Detecção de *Salmonella sp*;
- Contagem de *Staphylococcus aureus* (Estafilococcus coagulase positiva).

Como a matéria-prima foi manipulada antes de chegar ao Laboratório de Engenharia Química - LEQ foi realizada a análise de Coliformes a 45°C, para verificar a sanidade do lote recebido.

### 3.2.2. Análises físicas, sensoriais e físico-químicas da matéria-prima

#### 3.2.2.1. Análises físicas e sensoriais

As análises foram realizadas com um lote de 23 peixes, de tamanho médio. Em seguida, foram verificadas as qualidades sensoriais, tais como, a transparência e brilho dos olhos, firmeza e injúrias na estrutura do músculo, coloração da pele e das guelras e odor característico da espécie. Em seguida, foram feitas avaliações físicas tais como, o comprimento medido da ponta da cabeça à ponta da cauda e a circunferência, medida na parte posterior da segunda nadadeira dorsal (Fotografia 3.1). Essas medidas foram feitas com auxílio de uma trena e a massa das amostras foi medida em balança semi-analítica com precisão de 0,001g, antes e depois de eviscerados. Foi medido também o rendimento médio percentual dos filés do dorso em relação à massa total das amostras (Equação 3.1).

$$\text{Rendimento (\%)} = \left[ \frac{\text{Massa Total dos Filés}}{\text{Massa Total}} \right] 100 \quad (3.1)$$



**Fotografia 3.1:** Parte posterior da segunda nadadeira dorsal.

#### 3.2.2.2. Análises físico-químicas da piramutaba

As análises químicas foram realizadas em triplicata de acordo com os procedimentos descritos a seguir:

- **Umidade:** de acordo com de acordo com a metodologia da AOAC (1997).
- **Cinzas:** de acordo com a metodologia AOAC (1997).

- **Proteínas:** mediante a determinação do nitrogênio total, pelo método Kjeldahl (macro), utilizando para o cálculo o fator 6,25. Nesta análise foi seguido a metodologia da AOAC (1997) com modificações: substituiu-se do o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) pelo dióxido de selênio ( $\text{SeO}_2$ ) na mistura catalítica e usou-se solução de ácido bórico à 4% para titulação.
- **Lipídios totais:** foi determinada por extração com éter de petróleo através do método SOXHLET, utilizando o equipamento de extrator de lipídeos (AOAC, 1997).

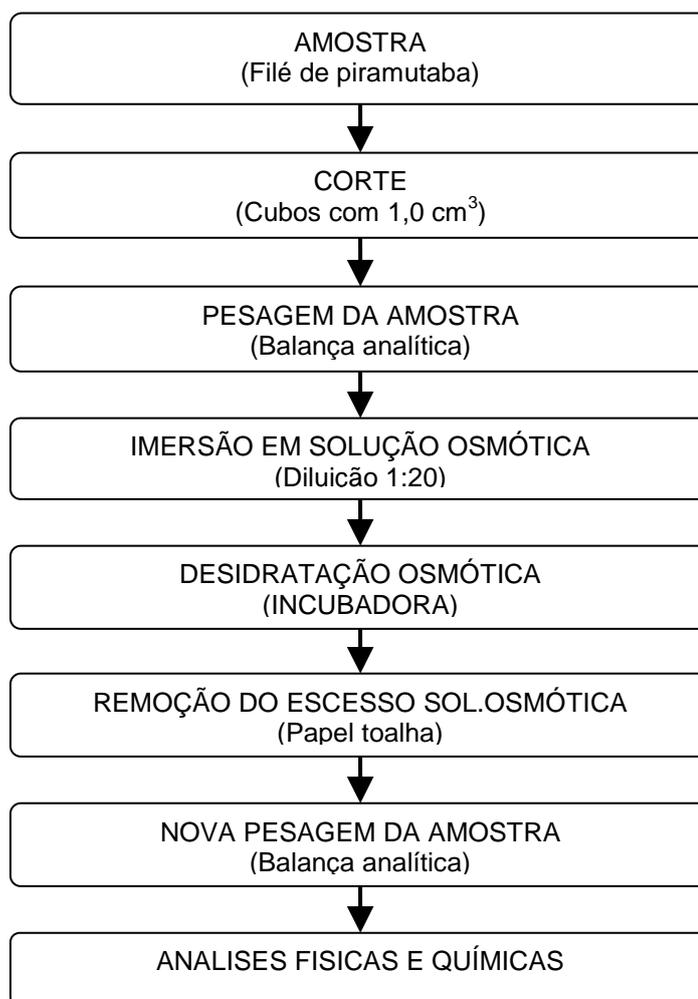
### 3.2.3. Obtenção das amostras e desidratação osmótica

As amostras foram obtidas na forma de cubos com 1,0 cm de aresta. A forma de cubo foi conseguida com auxílio de um fatiador comercial. Para se obter os cubos com essas dimensões, a matéria-prima congelada foi colocada para descongelar na parte inferior do refrigerador, onde a temperatura encontrava-se próximo de 10 °C, e quando estava parcialmente descongelada, faziam-se os cortes. Essa técnica se fez necessário porque a carne de piramutaba tem uma textura mole, tornando-se difícil fazer os cortes na forma totalmente descongelada.

A matéria-prima, devidamente cortada na geometria de cubos, foi previamente pesada em balança analítica (precisão de 0.0001g) e colocada em recipiente de vidro contendo solução osmótica aquecida à temperatura de processo. A relação amostra/solução foi definida em 1:20 p/p, após testes preliminares subseqüentes, para minimizar a diluição da solução osmótica durante o processamento. O conjunto amostra/solução desidratante foi então levado à incubadora refrigerada da marca MARCONI modelo MA-832 e mantido na temperatura de estudo por tempos pré-determinados. Para este trabalho, foi adotada uma rotação constante de 100 rpm. Essa faixa de agitação promoveu uma movimentação satisfatória da amostra dentro da solução sem que a mesma sofresse fortes impactos com as paredes dos recipientes de vidro.

As amostras, depois dos tempos pré-estabelecidos pelo planejamento experimental, foram retiradas da incubadora, envolvidas em papel absorvente para remoção do excesso de solução e novamente pesadas, sendo posteriormente encaminhadas para determinação de umidade.

As etapas do processo de desidratação osmótica são apresentadas no Fluxograma 3.1. A desidratação osmótica será realizada utilizando-se dois agentes desidratantes: cloreto de sódio (NaCl) comercial e sacarose comercial (açúcar refinado) em soluções binárias (água+NaCl) e ternárias (água+NaCl+sacarose). Os experimentos foram realizados em triplicata para solução binária e para ternária.



**Fluxograma 3.1:** Etapas do processo de desidratação osmótica.

### 3.2.4. Planejamento Experimental

O planejamento experimental foi utilizado para avaliar o processo de desidratação osmótica da piramutaba em soluções binária e ternária no qual verificou-se a influência das variáveis independentes, temperatura, concentração da solução e tempo de processo sobre as variáveis de resposta, perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água ( $a_w$ ).

### 3.2.4.1 Solução Binária

O processo de desidratação osmótica com solução binária foi realizado de acordo com um planejamento fatorial completo  $2^3$ , com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis  $\pm \alpha$ ), fazendo com que cada fator seja estudado em 5 níveis diferentes, conforme Tabela 3.1. No estudo da desidratação osmótica de piramutaba em solução binária de NaCl foram realizados 17 ensaios conforme matriz mostrada na Tabela 3.2. Os níveis para cada uma das variáveis estudadas foi definido através de uma cinética de desidratação osmótica. A concentração do soluto foi determinado pela relação massa de NaCl/massa de água.

**Tabela 3.1:** Definição dos níveis das três variáveis estudadas na desidratação osmótica de piramutaba utilizando solução binária.

Fatores	- 1,68	- 1	0	+ 1	+1,68
Temperatura (°C)	30	36	45	54	60
Concentração NaCl (%)	6,5	10	15	20	23,5
Tempo de imersão (min.)	120	135	150	165	180

**Tabela 3.2:** Matriz de planejamento experimental de desidratação osmótica de piramutaba em solução binária de NaCl contendo dados codificados e reais.

Ensaio	Codificado			Real		
	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo (Minutos)	Temperatura (°C)	Concentração NaCl (%)	Tempo (Minutos)
1	-1	-1	-1	36	10	135
2	1	-1	-1	54	10	135
3	-1	1	-1	36	20	135
4	1	1	-1	54	20	135
5	-1	-1	1	36	10	165
6	1	-1	1	54	10	165
7	-1	1	1	36	20	165
8	1	1	1	54	20	165
9	-1,68	0	0	30	15	150
10	1,68	0	0	60	15	150
11	0	-1,68	0	45	6,5	150
12	0	1,68	0	45	23,5	150
13	0	0	-1,68	45	15	120
14	0	0	1,68	45	15	180
15	0	0	0	45	15	150
16	0	0	0	45	15	150
17	0	0	0	45	15	150

### 3.2.4.2 Solução Ternária

Para a desidratação osmótica, com soluções ternárias utilizando NaCl e sacarose foi realizado primeiramente um planejamento fracionário  $2^{4-1}$ , com oito pontos fatoriais e três pontos centrais totalizando 11 experimentos (Tabela 3.3), para avaliar a influência dos fatores estudados sobre as respostas perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água ( $a_w$ ).

**Tabela 3.3:** Matriz de planejamento experimental fracionário  $2^{4-1}$  para desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de NaCl com sacarose, contendo dados codificados e reais.

ENSAIO	CODIFICADO				REAL			
	T (°C)	Concentração		Tempo (min)	T (°C)	Concentração		Tempo (min)
		NaCl (%)	Açúcar (%)			NaCl (%)	Açúcar (%)	
1	-1	-1	-1	-1	36	12	30	135
2	1	-1	-1	1	54	12	30	165
3	-1	1	-1	1	36	14	30	135
4	1	1	-1	-1	54	14	30	135
5	-1	-1	1	1	36	12	40	165
6	1	-1	1	-1	54	12	40	135
7	-1	1	1	-1	36	14	40	135
8	1	1	1	1	54	14	40	165
9	0	0	0	0	45	13	35	150
10	0	0	0	0	45	13	35	150
11	0	0	0	0	45	13	35	150

Após a obtenção das variáveis significativas no processo, foi realizado um delineamento fatorial completo, para determinar a melhor condição de processo em função das respostas, perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água ( $a_w$ ).

Os níveis das variáveis também foram estipulados através de ensaio de cinética de desidratação osmótica tendo como condições de processo concentração de sal de 15%, concentração de sacarose de 40%, temperatura de 60°C e tempo de imersão de 4 horas.

### 3.2.5. Otimização do processo

A otimização do processo de desidratação osmótica dos filés de piramutaba, tanto para a solução binária como para a solução ternária, foi realizada utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), realizando a sobreposição das curvas de contorno das respostas avaliadas, a fim de se maximizar a perda de água com o mínimo de ganho de sólidos e menor atividade de água.

### 3.2.6. Análises físicas e químicas dos produtos

As análises serão realizadas em triplicata de acordo com os procedimentos descritos a seguir:

#### 3.2.6.1. Após desidratação osmótica

- **Umidade:** determinado conforme descrito no item 3.2.2.2.
- **Cloretos:** determinado segundo Método de Mohr (AOAC, 1997);
- **Atividade de água (aw):** foi realizada utilizando aparelho analisador de atividade de água, AQUALAB modelo 3TE DECAGON na temperatura de 25°C.

### 3.2.7 Análise sensorial

O produto obtido da melhor condição de desidratação osmótica da solução binária e ternária foi submetido à análise sensorial para se avaliar o grau de aceitação dos provadores. Para isso, será seguido o procedimento adotado por Ribeiro (2005), que elaborou um bolinho a partir de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratado osmoticamente e seco. Para isto, foi feita uma formulação baseada na mesma que é utilizada em um restaurante de grande circulação na cidade de Belém-PA.

Os ingredientes utilizados na formulação do bolinho de peixe piramutaba estão descritos na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4:** Ingredientes utilizados na formulação de bolinho de piramutaba.

INGREDIENTES	QUANTIDADE
Peixe desidratado osmoticamente (%)	22,5
Batata (%)	70
Trigo	2,5
Ovos (%)	3
Coentro (%)	1
Cebola (%)	1

Primeiramente a batata foi cozida inteira até que ficasse amolecida, mas não muito. Em seguida todos os ingredientes foram misturados e moldados manualmente. Por fim os bolinhos já prontos foram fritos, numa fritadeira FRITABEM (marca SCAVONE) em óleo de soja comercial à 180 °C por 1 minuto sendo posteriormente encaminhados para a análise sensorial.

A análise sensorial foi realizada com 25 provadores não treinados e escolhidos aleatoriamente, utilizando o teste de aceitação com escala hedônica não estruturada, que vai de gostei muitíssimo (9) a desgostei muitíssimo (1). Cada julgador avaliou, para cada amostra, o atributo sabor. O índice de aceitação dos provadores foi determinado pela Equação 3.3, e porcentagem de aceitação através da Equação 3.4.

$$I.A. = \frac{(N_9 \times 9) + (N_8 \times 8) + \dots + (N_1 \times 1)}{N^\circ \text{ Total de provadores}} \quad (3.3)$$

IA=Índice de Aceitação;

N<sub>9</sub>=número de provedores que atribuíram conceito 9;

N<sub>8</sub>=número de provedores que atribuíram conceito 8;

N<sub>1</sub>=número de provedores que atribuíram conceito 1.

$$\%A = \frac{IA \times 100}{9} \quad (3.4)$$

Para a avaliação das amostras utilizou-se a ficha apresentada na Figura 3.1.

TESTE DE ACEITAÇÃO/PREFERÊNCIA	
DATA: _____/_____/_____	
NOME: _____	IDADE: _____
PRODUTO: _____	
<input type="checkbox"/> GOSTEI MUITÍSSIMO	
<input type="checkbox"/> GOSTEI MUITO	
<input type="checkbox"/> GOSTEI MODERADAMENTE	
<input type="checkbox"/> GOSTEI	
<input type="checkbox"/> INDIFERENTE	
<input type="checkbox"/> NÃO GOSTEI	
<input type="checkbox"/> NÃO GOSTEI MODERADAMENTE	
<input type="checkbox"/> NÃO GOSTEI MUITO	
<input type="checkbox"/> NÃO GOSTEI MUITÍSSIMO	

**Figura 3.1:** Ficha do Teste de Aceitação.

### 3.2.8. Análise térmica

Foi feita análise térmica da piramutaba *in natura* e após o processo de desidratação osmótica na condição otimizada para a solução binária e ternária. As amostras foram trituradas em processador de alimentos para diminuir o tamanho das partículas e levadas ao laboratório de oleoquímica e catálise da Faculdade de Química da UFPa. A determinação foi realizada em colorímetro diferencial de varredura (marca SHIMADZU, modelo DSC-60) operado com N<sub>2</sub>, taxa de aquecimento de 10°C/minuto, no intervalo de 0-100 °C. Considerou-se como temperatura de desnaturação (Td), a temperatura onde ocorreu o pico nas endotermas. As análises foram realizadas em triplicata.

### 3.2.9. Análise de dados

Para a análise dos dados experimentais obtidos no processo de desidratação osmótica, bem como elaboração dos modelos, foi utilizado o software STATISTICA 5.0 (STATSOFT, 1997). Foi considerado preditivo o modelo que apresentou regressão significativa e falta de ajuste não significativa com confiança de 95%, e alto valor do coeficiente de determinação R<sup>2</sup>. A precisão do modelo foi avaliada através do desvio médio relativo P, calculado de acordo com a equação 3.5.

$$P = \frac{100}{N} \sum_{n=1}^N \left[ \frac{V_{\text{exp}} - V_{\text{pred}}}{V_{\text{exp}}} \right] \quad (3.5)$$

P= desvio relativo médio (%)

N= número de pontos experimentais

$V_{\text{exp}}$  = valor experimental

$V_{\text{pred}}$  = *valor predito*

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Os resultados obtidos da caracterização microbiológica dos filés de piramutaba estão representados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1:** Caracterização microbiológica de filé dorsal de piramutaba.

Análises	Filés de piramutaba <i>in natura</i>	BRASIL (2001)
<i>Staphylococcus aureus</i> (*UFC/g)	< 1	< 10 <sup>3</sup>
Coliformes a 45°C (**NMP/g)	< 3	<10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella</i> sp /25 mL	Ausência	Ausência

\* UFC – Unidade formadora de colônia; \*\* NMP – Número mais provável.

Através dos resultados das análises microbiológicas verificou-se que a matéria-prima encontrava-se em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação para pescado fresco, mostrando que os filés de piramutaba estavam em ótimas condições higiênico-sanitárias e, satisfazendo, portanto, os padrões microbiológicos da legislação vigente (BRASIL, 2001).

Os resultados comprovam que os procedimentos adotados, desde a captura, desembarque e armazenamento na câmara de espera foram eficientes, assegurando a inocuidade do produto.

### 4.2 ANÁLISES FÍSICAS, SENSORIAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DA PIRAMUTABA

#### 4.2.1. Análises físicas e sensoriais

As características físicas do lote de peixes avaliados estão apresentadas na Tabela 4.2. Quanto às análises sensoriais, estas demonstraram características peculiares à peixes frescos, demonstrando conformidade com Brasil (1997).

**Tabela 4.2:** Características físicas da piramutaba.

<b>Características físicas</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>
Massa total (g)	1055	1640	1317,17	149,94
Massa total eviscerada (g)	995	1565	1254,35	144,33
Massa filés (g)	300	450	349,78	93,78
Massa ventrecha (g)	136	245	172,75	51,83
Comprimento (cm)	45	53	47,63	2,06
Circunferência (cm)	18	22,5	19,54	1,22

A piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) apresentou um rendimento médio de filés em relação ao peso total, em massa, de 26,56%. Para este resultado foram considerados somente os filés do dorso sem pele. Se for incluso nesta avaliação a ventrecha, o resultado sobe para 40,88%, chegando próximo aos valores conseguidos por Cardoso (2003), que alcançou um rendimento médio de 50% analisando um peixe da mesma família, no caso, a dourada (*Brachyplatystoma flavicans*).

#### 4.2.2. Análises físico-químicas

Os resultados obtidos das análises físico-químicas, bem como o valor energético dos filés de piramutaba estão mostrados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3:** Caracterização físico-química em base úmida e valor energético de filé de piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*).

<b>Análises</b>	<b>Filé de piramutaba</b> (Valor ± Desvio Padrão)	<b>Filgueiras (2002)</b>	<b>Bentes; Souza; Simões (2008)</b>
Umidade (%)	82,0 ± 0,2	79,4	80,3
Cinzas (%)	0,86 ± 0,14	0,87	1,1
Proteínas (%)	17 ± 1,4	18,42	18,47
Lipídeos (%)	0,16 ± 0,03	1,31	0,43
Valor Energético (kcal/100g)	65,42	*85,47	*77,75

\*Valor não incluso no trabalho do autor, no entanto foi feito o cálculo pra fins de comparação.

Comparando-se os dados da Tabela 4.3 aos encontrados por Filgueiras (2002), verifica-se que só houve incompatibilidade dos dados para o valor de lipídeos que ficou bem abaixo. Os demais resultados, ou seja, cinzas, proteínas e umidade, mostraram-se com valores próximos aos obtidos pelo autor em questão. Quando se compara os dados experimentais com os valores encontrados por Bentes *et al* (2008), somente o teor de lipídeos teve o valor deslocado para um pouco mais alto. O restante dos resultados tiveram valores bem próximos.

O teor de lipídeos no pescado pode variar de 0,6 a 36%, sendo que este componente apresenta esta grande variação em vista do tipo de músculo corporal analisado (a carne dorsal apresenta menor quantidade lipídica que a carne abdominal). Características como a espécie de peixe, sexo, idade, época do ano, desova ou migração, *habitat*, dieta e períodos de escassez alimentar também estão intimamente ligados à sua composição nutricional (DEAN, 1990; HUSS, 1988; JESUS, 1989 apud FILGUEIRAS, 2002).

Contreras-Guzmán (1994) apud Ribeiro (2005) relata que a fração de cinzas em peixes de água doce apresenta variações em quantidades que vão desde 0,90 a 3,39%. A piramutaba teve um resultado bem abaixo do valor mínimo observado pelo autor. Com relação aos minerais, a carne de pescado é considerada uma fonte valiosa de cálcio e fósforo particularmente, apresentando também quantidades razoáveis de sódio, potássio, manganês, cobre, cobalto, zinco, ferro e iodo.

Observou-se também, que para o valor energético, os resultados ficaram bem abaixo dos obtidos pelos outros autores. E em todos os casos, essa diferença pode ser explicada pelo teor de gorduras, que foi mais acentuado.

#### 4.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO BINÁRIA DE NaCl

Os resultados obtidos experimentalmente, para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água ( $a_w$ ), em filés de piramutaba desidratados osmoticamente em solução binária contendo sal e água, estão mostrados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4:** Resultados obtidos para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de files de piramutaba em solução binária de NaCl.

	Real			RESULTADO DAS RESPOSTAS				
	T (°C)	C (%)	t (min)	PA (%)	PP (%)	GS (%)	GS /PA	aw
1	36	10	135	-3,65	-9,61	5,96	-1,63	0,922
2	54	10	135	20,71	17,25	3,18	0,15	0,909
3	36	20	135	23,0	14,05	9,37	0,41	0,834
4	54	20	135	35,92	28,84	7,53	0,21	0,818
5	36	10	165	-5,44	-10,68	5,23	-0,96	0,926
6	54	10	165	21,94	20,0	2,94	0,13	0,912
7	36	20	165	22,26	12,88	9,39	0,42	0,838
8	54	20	165	34,82	24,66	8,28	0,24	0,821
9	30	15	150	4,04	-4,72	8,76	2,17	0,897
10	60	15	150	31,14	26,40	4,75	0,15	0,884
11	45	6,5	150	3,15	0,74	1,29	0,41	0,966
12	45	23,5	150	33,52	24,53	8,99	0,27	0,806
13	45	15	120	19,58	12,55	7,03	0,36	0,898
14	45	15	180	19,31	12,63	6,68	0,35	0,878
15	45	15	150	19,64	12,72	6,92	0,35	0,880
16	45	15	150	26,84	10,2	18,75	0,7	0,878
17	45	15	150	18,55	11,74	6,81	0,37	0,877

#### 4.3.1 Perda de água

Observou-se para este parâmetro, de acordo com a Tabela 4.4, nos tratamentos relativos às corridas de número 1 (T = 36°C; C = 10%; t = 135 minutos) e 5 (T = 36°C; C = 10%; t = 165 minutos), que houve valores negativos para perda de água, indicando que o produto absorveu água ao invés de perder

Na Tabela 4.5 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para perda de água em filés de piramutaba desidratados em solução de NaCl. Os valores em negrito representam os efeitos significativos ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

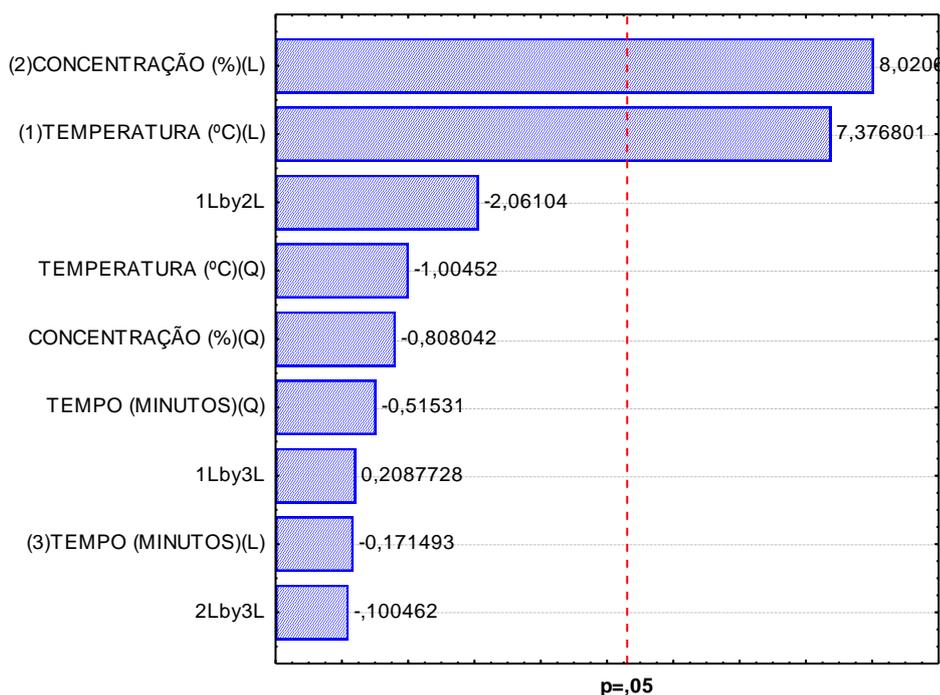
O efeito estimado indica o quanto cada fator influi nas respostas estudadas (neste caso, a perda de água). Quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência, e um efeito positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um máximo da variável, a resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo, a resposta diminui.

**Tabela 4.5:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	21,64	2,59	8,34	0,014
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>17,99</b>	<b>2,43</b>	<b>7,37</b>	<b>0,017</b>
Temperatura (Q)	-2,69	2,68	-1,00	0,420
Concentração de sal (L)	<b>19,56</b>	<b>2,43</b>	<b>8,02</b>	<b>0,015</b>
Concentração de sal (Q)	-2,17	2,68	-0,80	0,503
Tempo (L)	-0,41	2,43	-0,17	0,879
Tempo (Q)	-1,38	2,68	-0,51	0,657
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	-6,56	3,18	-2,06	0,175
Temperatura x Tempo	0,665	3,18	0,20	0,853
Concentração x Tempo	-0,320	3,18	-0,10	0,929

L = Linear; Q = Quadrático.

Pela Tabela 4.5, verifica-se que somente os fatores temperatura (L) e concentração (L) exerceram um efeito significativo sobre as respostas para perda de água. A concentração (L) foi o fator que exerceu maior influência sobre a resposta perda de água e devido apresentar-se de forma positiva, significa que, passando-se de um nível menor para um maior acarretou num incremento para perda de água. Isto pode ser melhor observado através da Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

Mujaffar e Sankat (2006) observaram um comportamento parecido ao investigar o processo de desidratação osmótica de filés de tubarão em diferentes temperaturas de salmoura. Neste caso, a temperatura seguida pelo tempo de imersão e concentração da salmoura foram as variáveis que mais influenciaram a perda de água. Ribeiro (2005) também observou um comportamento desse tipo, em filés de Mapará, sendo que a temperatura seguida pela concentração e tempo foram as variáveis mais significativas.

Com a eliminação dos fatores não significativos sobre a perda de água, foi feita a análise de variância (Tabela 4.6) onde verificou-se a significância da regressão e falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ) através do teste F.

**Tabela 4.6:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FONTES DE VARIÇÃO	S.Q.	G.L.	M.Q.	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	R <sup>2</sup>
REGRESSÃO	2490,80	2	1245,40	194,36	3,73	0,93378
RESÍDUO	89,70	14	6,40			
FALTA DE AJUSTE	130,29	12	10,85	0,53	19,41	
ERRO PURO	40,58	2	20,29			
TOTAL SS	2580,51	16				

S.Q.=Soma dos quadrados; G.L.=Graus de liberdade; M.Q.=media quadrática

De acordo com a Tabela 4.5, verifica-se que os modelos apresentaram regressão significativa (valor de  $F_{\text{calculado}}$  superior ao valor de  $F_{\text{tabelado}}$ ). Barros Neto *et al.* (2001) relataram que uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser útil para realizar previsões por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados. Para isto, segundo Box e Weltz (1973), é preciso que  $F_{\text{calculado}}$  para a regressão deve ser no mínimo de quatro a cinco vezes maior que o valor de  $F_{\text{tabelado}}$  para ser considerado significativo e preditivo.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) mostraram que os modelos ajustados para perda de água em solução binária foram significativos e preditivos, atendendo ao critério sugerido por Box e Weltz (1973). Desta forma, o modelo codificado proposto para representar a perda de água (PA) na desidratação osmótica de piramutaba é:

$$PA (\%) = 21,64 + 8,99 T + 9,78C \quad (4.1)$$

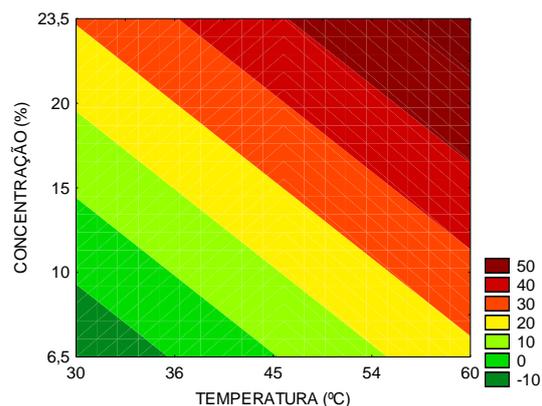
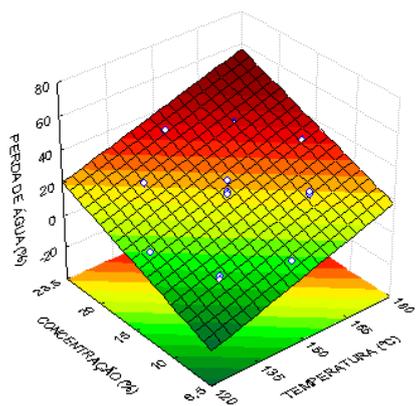
Onde:

T = temperatura (°C);

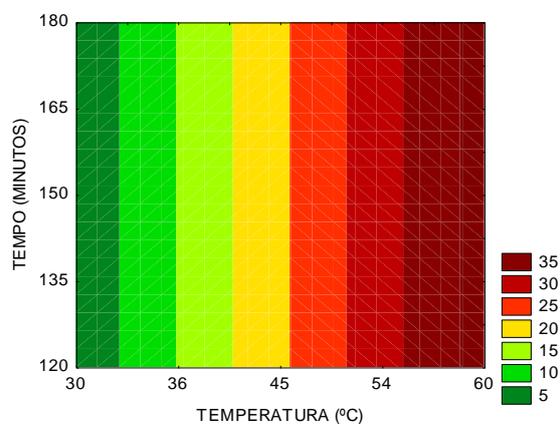
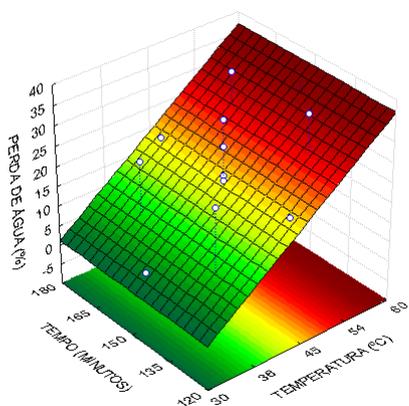
C = concentração (%).

A Tabela 4.5 mostra também que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,93378, demonstrando que o modelo proposto explicou cerca de 93,3% da variação dos dados observados.

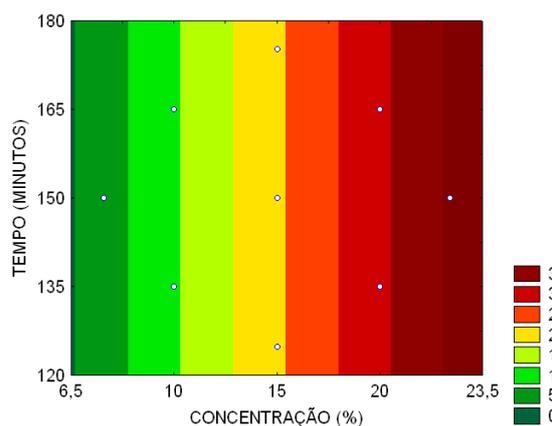
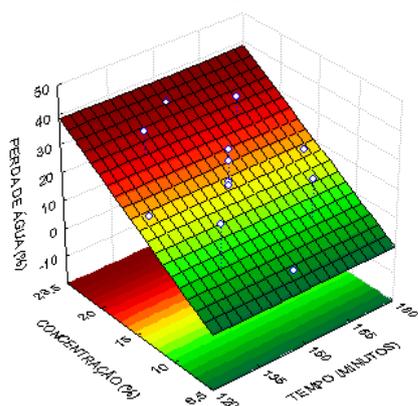
As Figuras 4.2a, 4.2b e 4.2c mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas através do modelo proposto, considerando-se pontos médios de tempo, concentração e temperatura.



**Figura 4.2a:** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.2b –** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 15% de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.2c –** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) à temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

De acordo com a Figura 4.2a, 4.2b e 4.2c, observa-se que, dentro da faixa estudada, a maior perda de água, acima de 35% é obtida quando a combinação de altas concentrações e temperaturas elevadas são utilizadas. A resposta foi linear

para ambos os fatores e diretamente proporcional, ou seja, um aumento na concentração e temperatura causou elevação na perda de água. O tempo foi um fator que não influenciou significativamente nessa resposta.

#### 4.3.2 Perda de Peso

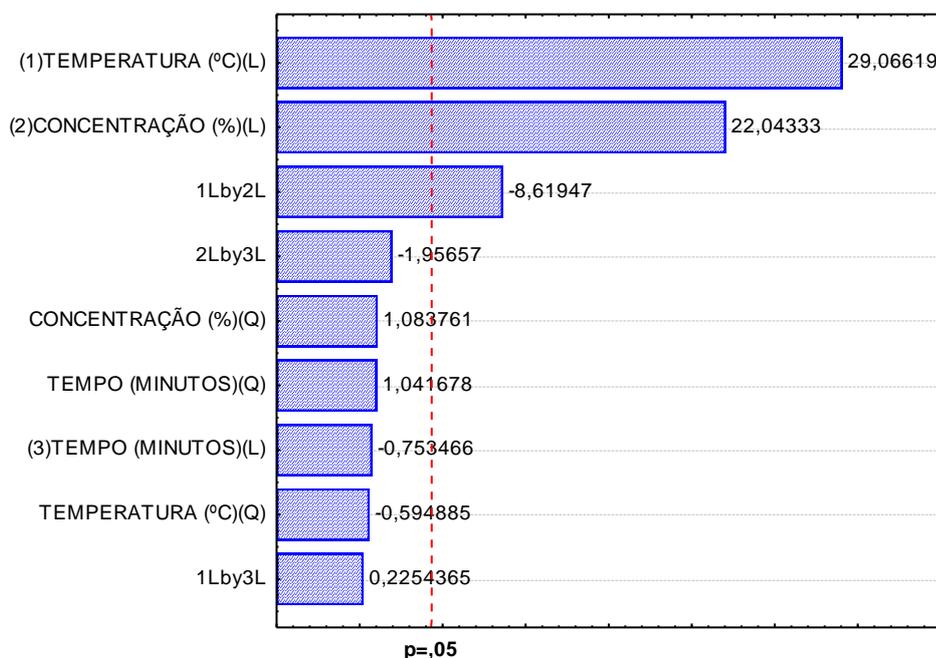
Na Tabela 4.7 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para perda de peso em filé de piramutaba desidratados em solução de NaCl. Os valores em negrito representam os efeitos significativos ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). E os fatores temperatura (L), concentração (L) e a interação entre ambos exerceram efeitos significativos para a resposta perda de peso.

**Tabela 4.7:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	<b>11.55</b>	<b>0.73</b>	<b>15.77</b>	<b>0.00</b>
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>19.99</b>	<b>0.68</b>	<b>29.07</b>	<b>0.00</b>
Temperatura (Q)	-0.45	0.75	-0.59	0.61
Concentração de sal (L)	<b>15.16</b>	<b>0.68</b>	<b>22.04</b>	<b>0.00</b>
Concentração de sal (Q)	0.82	0.75	1.080	0.39
Tempo (L)	-0.52	0.68	-0.75	0.53
Tempo (Q)	0.79	0.75	1.040	0.40
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	<b>-7.74</b>	<b>0.89</b>	<b>-8.62</b>	<b>0.01</b>
Temperatura x Tempo	0.20	0.89	0.23	0.84
Concentração x Tempo	-1.76	0.89	-1.96	0.19

Pela Tabela 4.7 observa-se que a concentração (L) seguida da temperatura (L) e a interação entre ambos (T x C) foram os fatores que exerceram maior influência sobre a resposta perda de peso e podem ser melhor visualizados através da Figura 4.3.

Verificou-se também que apresentaram efeito positivo os parâmetros temperatura (L) e concentração (L) indicando que ao passarem de um nível mais baixo para um mais alto acarretará numa maior perda de peso. O fator que apresentou maior efeito foi a temperatura (L).



**Figura 4.3** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, verificou-se através da análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 4.8.

**Tabela 4.8:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FONTES DE VARIAÇÃO	S.Q.	G.L.	M.Q.	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	R <sup>2</sup>
REGRESSÃO	2273,82	3	757,94	425,10	3,41	0,9871
RESÍDUO	23,17	13	1,78			
FALTA DE AJUSTE	26,40	11	2,401	1,48	19,40	
ERRO PURO	3,22	2	1,614			
TOTAL SS	2297,05	16				

S.Q.=Soma dos quadrados; G.L.=Graus de liberdade; M.Q.=media quadrática

Pela análise de variância (ANOVA) verifica-se que o  $F_{\text{calculado}}$  para a regressão foi aproximadamente 125 vezes maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  demonstrando que a mesma foi significativa e preditiva. Como os resultados seguiram os critérios segundo BOX e WETZ (1973), foi possível propor modelo codificado para representar a perda de peso (PP) na desidratação osmótica de piramutaba de acordo com a equação 4.2:

$$PP = 11,55 + 9,998 T + 7,58 C - 3,87 TC \quad (4.2)$$

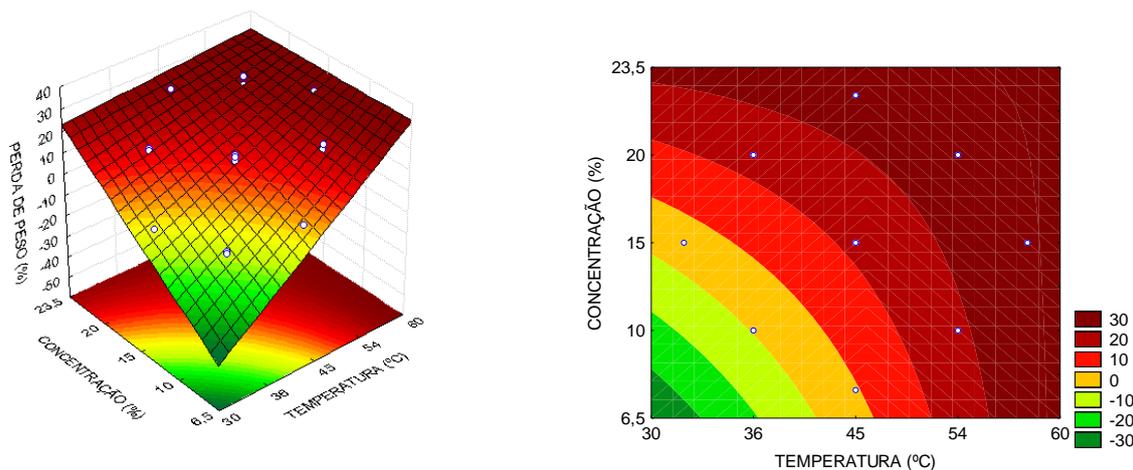
Onde:

T = temperatura (°C);

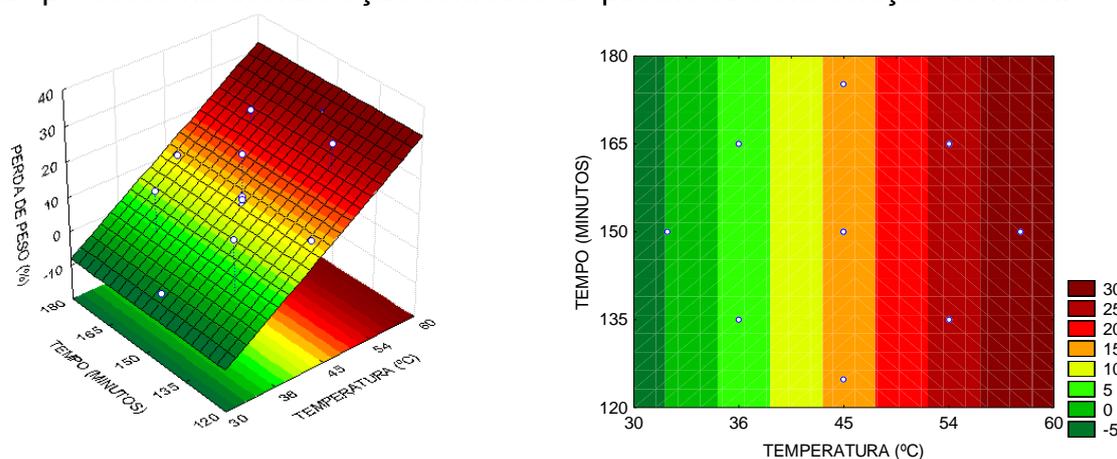
C = concentração (%).

A Tabela 4.8 mostra que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,9871, demonstrando que o modelo proposto explicou cerca de 98,7% da variação dos dados observados.

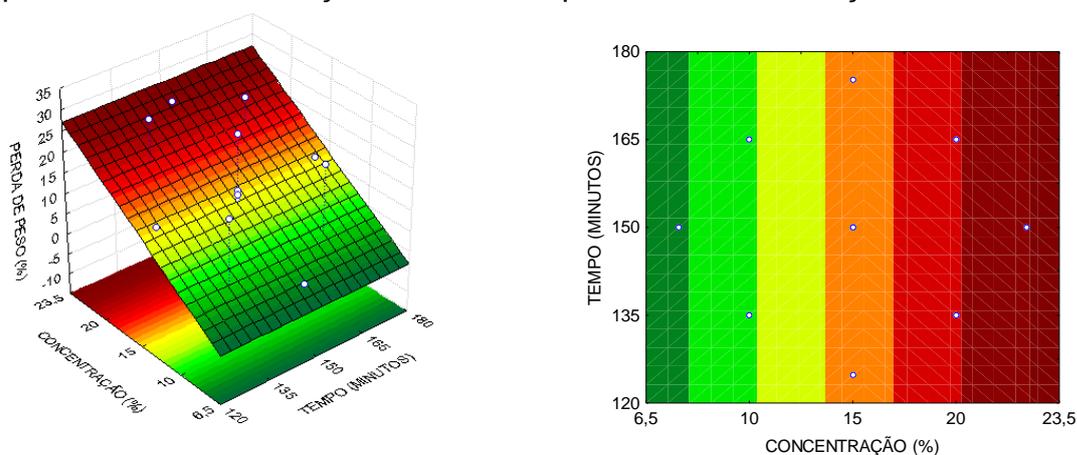
As Figuras 4.4a, 4.4b e 4.4c mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas, através do modelo proposto, considerando-se pontos médios de tempo, concentração e temperatura.



**Figura 4.4a:** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.4b** – Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) à uma concentração de 15%, no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.4c** – Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) à temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

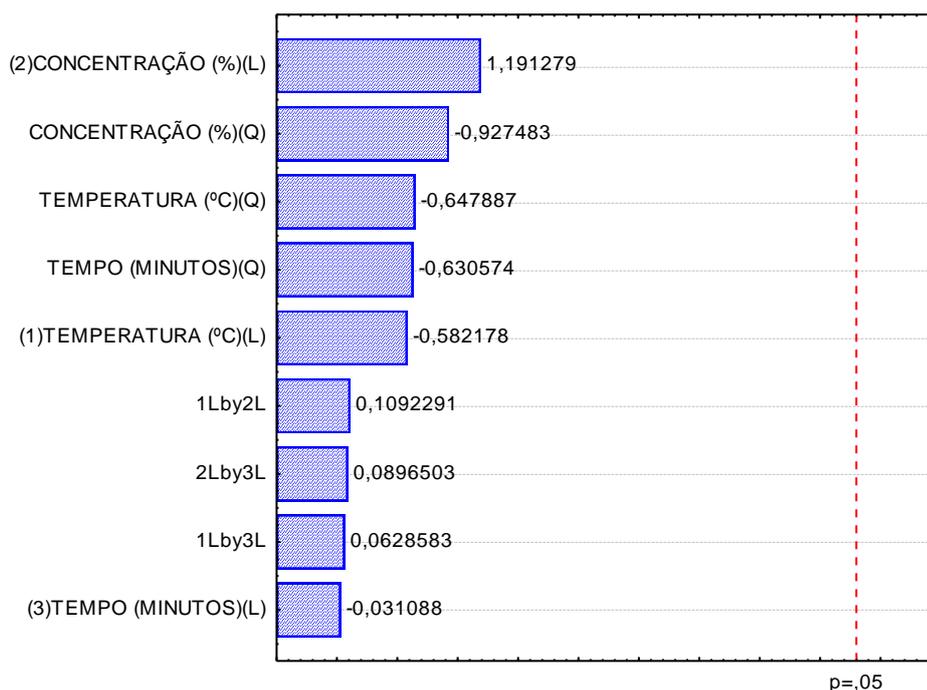
De acordo com as figuras 4.4a, 4.4b, 4.4c, verificou-se que as maiores perdas de peso, ou seja, acima de 25%, foram obtidas quando as combinações mais elevadas entre as temperaturas do processo e concentrações de soluto foram usadas.

### 4.3.3. Ganho de sólidos

Na Tabela 4.9 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para ganho de sólidos em filé de piramutaba desidratado em solução de NaCl. Nenhum dos fatores estudados mostrou ser significativo ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). A Figura 4.5 confirma os resultados mostrados pela Tabela 4.9.

**Tabela 4.9:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	10.79	3.95	2.73	0.11
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	-2.16	3.71	-0.58	0.61
Temperatura (Q)	-2.65	4.09	-0.64	0.58
Concentração de sal (L)	4.43	3.71	1.19	0.35
Concentração de sal (Q)	-3.80	4.09	-0.92	0.45
Tempo (L)	-0.12	3.71	-0.03	0.97
Tempo (Q)	-2.58	4.09	-0.63	0.59
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	0.53	4.85	0.10	0.92
Temperatura x Tempo	0.30	4.85	0.06	0.95
Concentração x Tempo	0.43	4.85	0.09	0.93



**Figura 4.5** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

A Tabela 4.10 mostra a análise de variância (ANOVA) onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 4.9.

Os resultados ANOVA mostraram que os modelos ajustados para ganho de sólidos em solução binária não foram significativos e nem preditivos por apresentar o valor do  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão não atendendo, desta forma, ao critério sugerido por Box e Wertz (1973).

**Tabela 4.10:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FONTES DE VARIAÇÃO	S.Q.	G.L.	M.Q.	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$	$R^2$
REGRESSÃO	324,08	9	36,00	2,70	3,67	1,40
RESÍDUO	-93,09	7	13,29			
FALTA DE AJUSTE	1,07	5	0,21	0,00	19,29	
ERRO PURO	94,17	2	47,08			
TOTAL SS	230,99	16				

S.Q.=soma dos quadrados; G.L.= graus de liberdade; M.Q.= média quadrática

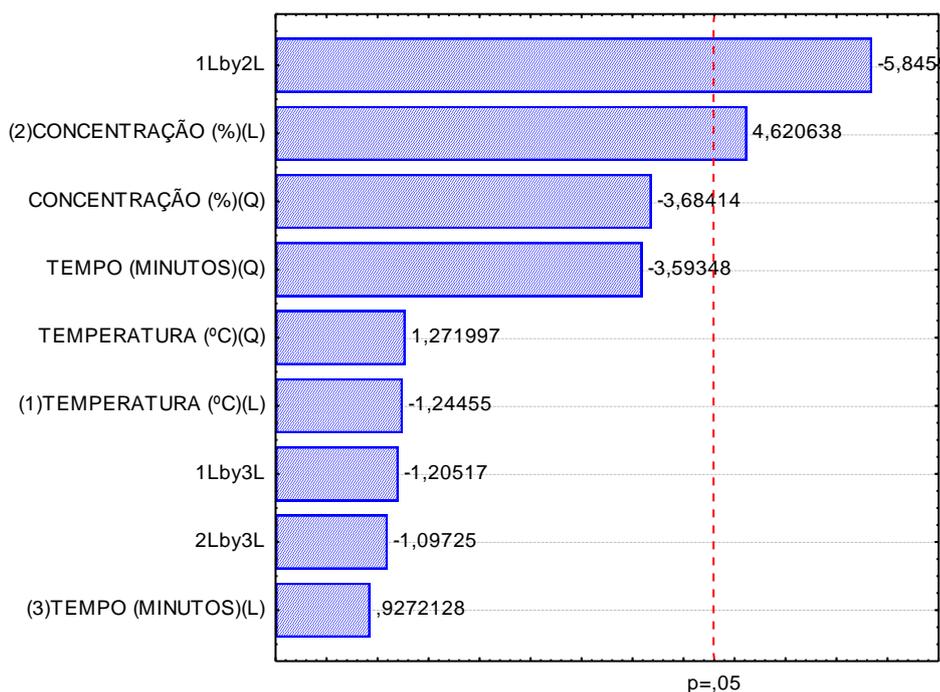
#### 4.3.4. Razão ganho de sólidos com perda de água (GS/PA)

Na Tabela 4.11 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para ganho de sólidos em filé de piramutaba desidratada em solução de NaCl. Observa-se, que a concentração (L) e a interação entre temperatura e concentração (T x C), foram os fatores que exerceram influência significativa sobre a resposta GS/PA.

O parâmetro que teve maior efeito foi a interação entre a temperatura (L)xconcentração (L), com efeito negativo. A concentração (L) apresentou efeito positivo, indicando que ao passar do nível de concentração de sal inferior para um mais alto acarretará em um maior valor entre a interação GP/PA. Esses resultados podem ser melhor visualizados através da Figura 4.6.

**Tabela 4.11:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a razão entre GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	0.52	0.11	4.6	0.04
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	-0.13	0.11	-1.2	0.34
Temperatura (Q)	0.15	0.12	1.3	0.33
Concentração de sal (L)	<b>0.49</b>	<b>0.11</b>	<b>4.6</b>	<b>0.04</b>
Concentração de sal (Q)	-0.43	0.12	-3.7	0.07
Tempo (L)	0.10	0.11	0.9	0.45
Tempo (Q)	-0.42	0.12	-3.6	0.07
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	<b>-0.81</b>	<b>0.14</b>	<b>-5.8</b>	<b>0.03</b>
Temperatura x Tempo	-0.17	0.14	-1.2	0.35
Concentração x Tempo	-0.15	0.14	-1.1	0.39



**Figura 4.6** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a relação entre o ganho de sólidos e a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

No processo de desidratação, alguns autores verificaram que quanto menor for o valor desta relação, maior será a perda de água e menor o ganho de sólidos (ALVES, 2003; BARBOSA JÚNIOR, 2002).

A Tabela 4.12 mostra a análise de variância (ANOVA) onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado. Os resultados mostraram que os modelos ajustados para a razão GS/PA em solução binária não foram significativos e nem preditivos por apresentar o valor do  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão não atendendo, desta forma, ao critério sugerido por Box e Wertz (1973).

**Tabela 4.12:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FONTES DE VARIÇÃO	S.Q.	G.L.	M.Q.	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$	$R^2$
REGRESSÃO	3,66	9	0,40	0,53	3,67	0,35
RESÍDUO	5,38	7	0,76			
FALTA DE AJUSTE	5,45	5	1,09	28,25	19,29	
ERRO PURO	0,07	2	0,038			
TOTAL SS	9,04	16				

S.Q.= soma dos quadrados; G.L.= graus de liberdade; M.Q.= média quadrática

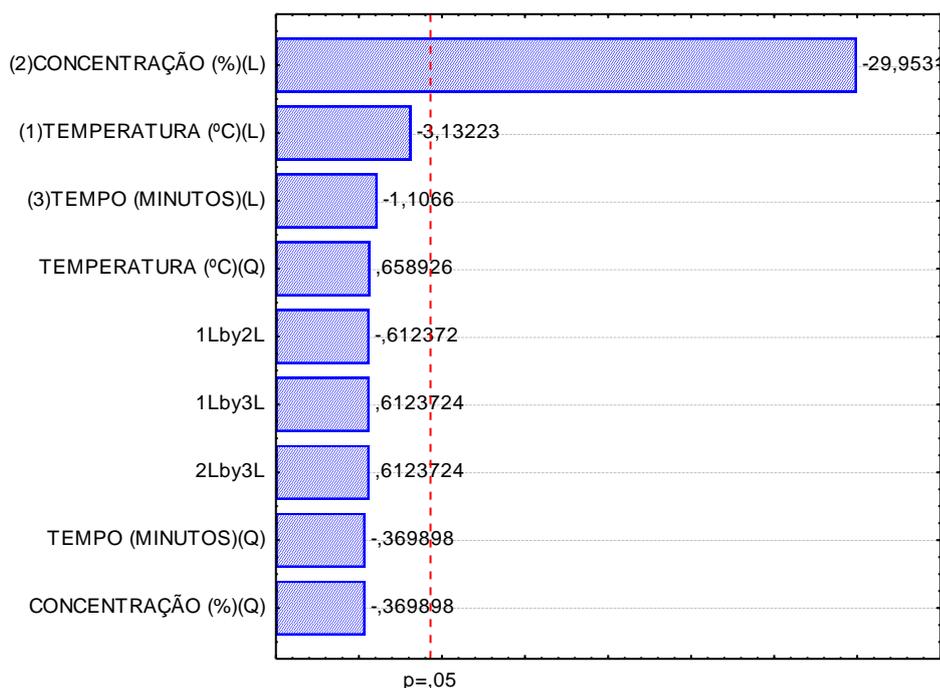
#### 4.3.5. Atividade de água (aw)

Na Tabela 4.13 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para atividade de água em filé de piramutaba desidratados em solução de NaCl.

Verificou-se que somente a concentração (L) foi o único efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) para a atividade de água. Sendo o mesmo com valor negativo, indicando que quanto maior for a concentração menores serão os valores de atividade de água. Este resultado pode ser melhor visualizado pela Figura 4.7. O mesmo tipo de efeito foi observado por Ribeiro (2005).

**Tabela 4.13:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	0.87	0.00	263	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	-0.01	0.00	-3	0.09
Temperatura (Q)	0.00	0.00	1	0.58
Concentração de sal (L)	<b>-0.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-30</b>	<b>0.00</b>
Concentração de sal (Q)	-0.00	0.00	-0	0.75
Tempo (L)	-0.00	0.00	-1	0.38
Tempo (Q)	-0.00	0.00	-0	0.75
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	-0.00	0.00	-1	0.60
Temperatura x Tempo	0.00	0.00	1	0.60
Concentração x Tempo	0.00	0.00	1	0.60



**Figura 4.7** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, verificou-se através da análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 4.14.

Os resultados ANOVA mostraram que o modelo ajustado para a atividade de água em solução binária foi significativo e preditivo por apresentar o valor do  $F_{\text{calculado}}$  84,6 vezes maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão, atendendo desta forma, ao critério sugerido por Box e Weltz (1973). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,9624 indicando que o modelo explicou cerca de 96% da variação dos dados observados.

**Tabela 4.14:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

<b>FONTES DE VARIÇÃO</b>	<b>S.Q.</b>	<b>G.L.</b>	<b>M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
REGRESSÃO	0,03	1	0,03	384,42	4,54	0,9624
RESÍDUO	0,00	15	0,00			
FALTA DE AJUSTE	0,00	13	0,00	2,85	19,41	
ERRO PURO	0,00	2	0,00			
TOTAL SS	0,03	16				

S.Q.=Soma dos quadrados; G.L.=Graus de liberdade; M.Q.=media quadrática

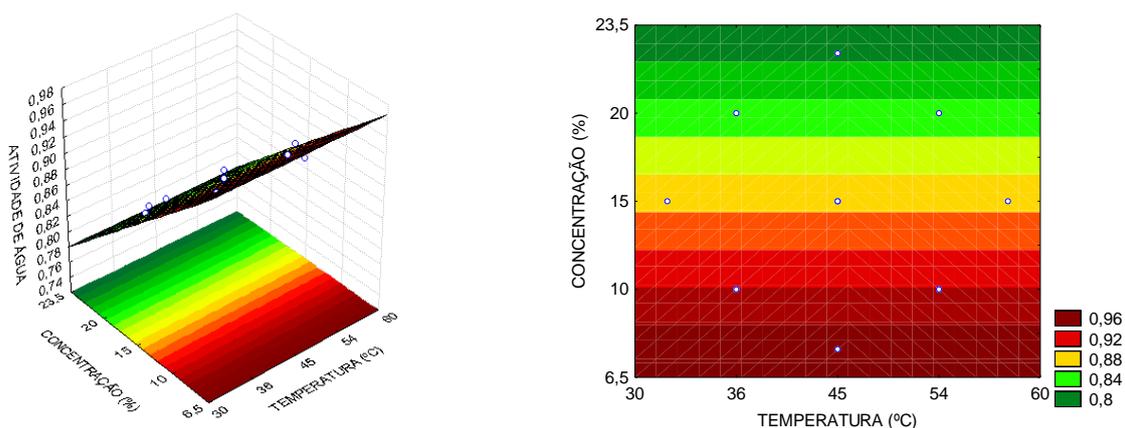
O modelo codificado proposto para representar a atividade de água na desidratação osmótica de filé de piramutaba em solução de NaCl é o seguinte:

$$a_w = 0,8742 - 0,0468 C \quad (4.3)$$

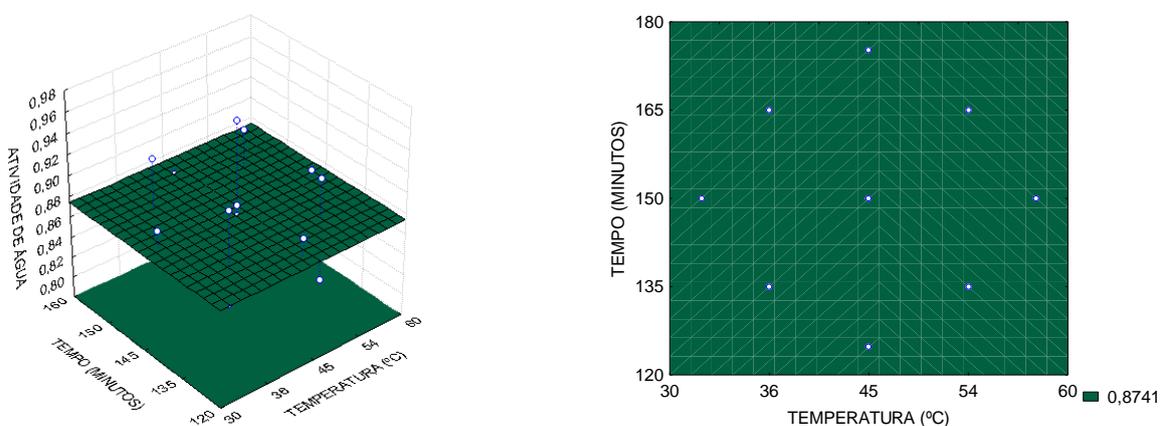
Onde,

C: concentração de NaCl (%).

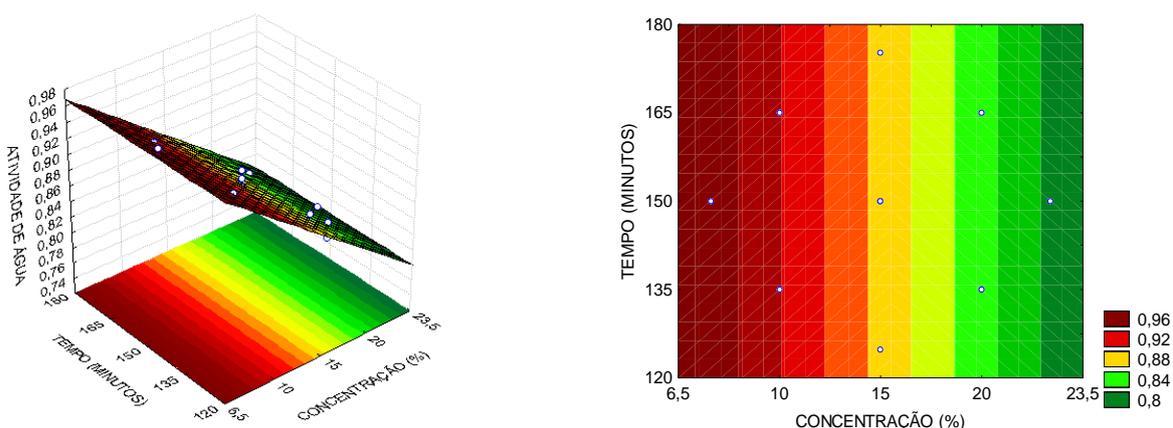
As Figuras 4.8a, 4.8b e 4.8c mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas, através do modelo proposto, considerando-se pontos médios de tempo, concentração e temperatura.



**Figura 4.8a:** Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando concentração (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.8b** – Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 15%, no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.8c** – Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando tempo (minutos) e concentração (%) à temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl.

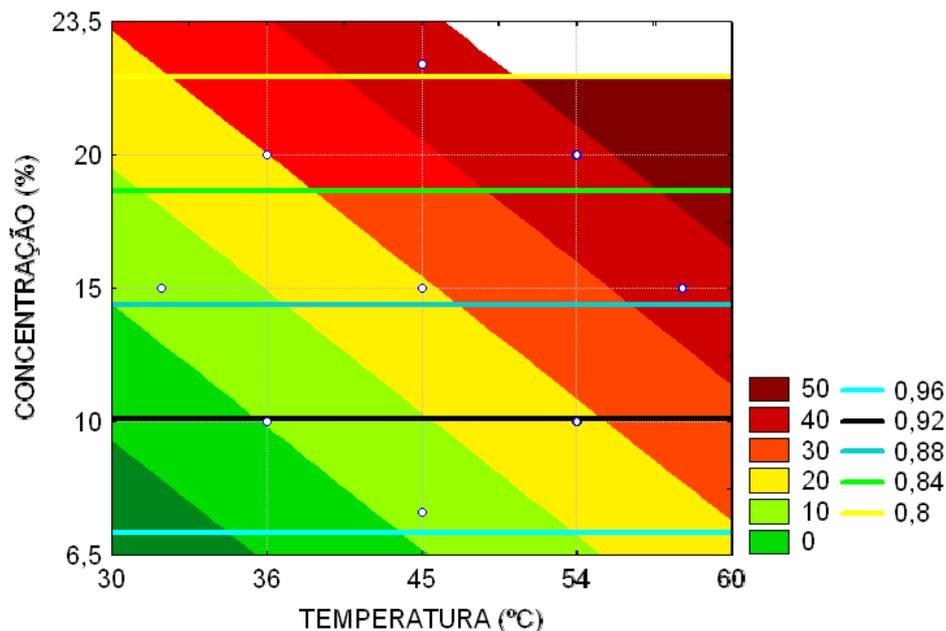
Através da Figura 4.8a e 4.8c, verificou-se que a menor atividade de água ( $a_w = 0,80$ ) foi obtida quando se utilizou as concentrações mais altas, ou seja, acima de 20% de NaCl.

Os valores obtidos para atividade de água podem ser considerados bons, tendo em vista que a desidratação osmótica, segundo Raoult-Wack (1994), quando utilizada como única fonte de conservação, não é muito eficaz nesse quesito. Os produtos obtidos se enquadraram na faixa de alimentos com umidade intermediária (0,6 à 0,9).

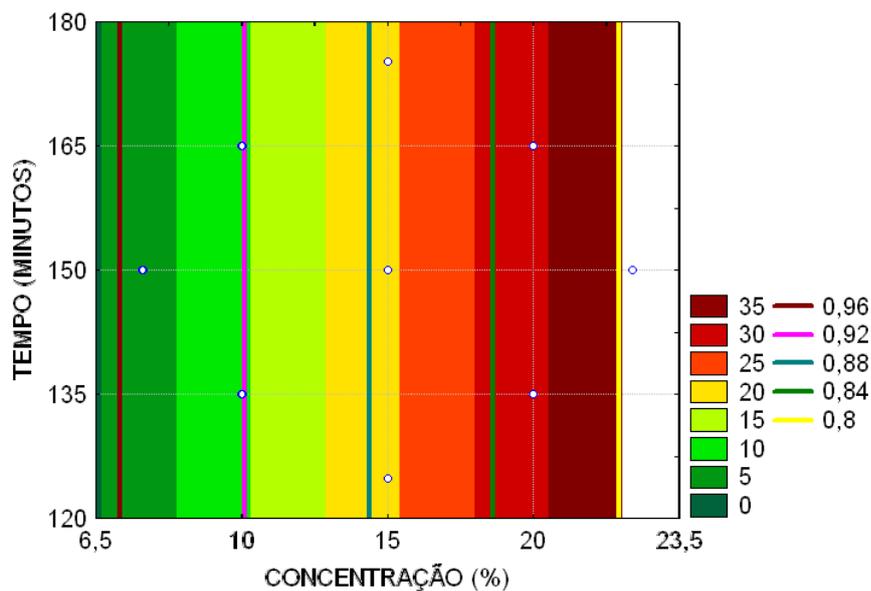
Um dos fatores que delimita a atuação das bactérias é a atividade de água. Em atividades de água próximas de 0,95, as bactérias deteriorantes tem sua atividade reduzida. Em atividade de água igual a 0,92, a redução dessa atividade se dá por conta das bactérias patogênicas. Em atividades de água, na faixa de 0,83 à 0,92 a única exceção é o *Staphylococcus aureus*, no entanto sua capacidade de produzir enterotoxina é inibida em atividade de água de 0,93 (LEITÃO, 1983).

#### **4.3.6. Otimização para solução binária**

A otimização se deu através da sobreposição dos gráficos da perda de água com a atividade de água. Nas Figuras 4.9a, 4.9b e 4.9c, o gráfico de PA está representado através das áreas, enquanto que o gráfico atividade de água está delimitado através de linhas. Observa-se uma região descolorida, considerada ótima para o estudo, pois é uma região limite do objetivo de obter produtos com maior perda de água e menor atividade de água.



**Figura 4.9a** - Sobreposição das curvas de contorno PA e aw no tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl.



**Figura 4.9b** - Sobreposição das curvas de contorno PA e aw na concentração de 15% na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl.

Dentro do objetivo da otimização, que é obter a maior perda de água e menor atividade de água, os valores escolhidos para a otimização foram concentração de NaCl de 22,5% numa temperatura de processo de 46°C em um tempo de 120 minutos.

Pelos dados analisados, verificou-se que a perda de água acima de 50% e 35%, observada nos gráficos 4.9a e 4.9b, respectivamente, foi obtida quando a concentração encontrava-se na faixa de 22 – 23,5% de NaCl. No primeiro gráfico (4.9a) a perda de água foi maior devido ao efeito sinérgico entre a concentração de sal e a temperatura. O mesmo não aconteceu no gráfico 4.9b, que teve ações isoladas da concentração de sal sobre a resposta PA, por isso obteve valores menores. Para esse caso o valor escolhido para otimização foi de 22,5%, devido ser o menor valor de concentração encontrado no 2º gráfico e está dentro da faixa estudada no 1º gráfico.

No gráfico 4.9a, é mostrada a faixa de temperatura de 46 - 60 °C, onde se obtém uma perda de água acima de 50%. Não foi possível comparar os dados com um 3º gráfico, que seria a sobreposição do gráfico da perda de água com a atividade de água (aw), em função do tempo e da temperatura, devido a aw não ser significativa. Em virtude desse caso optou-se pela menor temperatura do 1º gráfico, que é a de 46 °C.

A faixa de tempo em que se tem a PA acima de 35% e atividade de água abaixo de 0,8, é de 120 a 180 minutos, conforme mostrado no gráfico 4.9b. Da mesma forma como ocorreu para a escolha da temperatura não foi possível comparar os dados com um 3º gráfico, que seria a relação entre tempo x temperatura na maior perda de água e menor atividade de água. Por esse motivo e devido o tempo não ser significativo, optou-se pelo menor tempo de análise, que foi de 120 minutos.

#### 4.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO TERNÁRIA DE NaCl SACAROSE SEGUNDO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FRACIONÁRIO

Os resultados obtidos experimentalmente, para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), em filés de piramutaba desidratados osmoticamente em solução ternária contendo sal, açúcar e água, estão mostrados na Tabela 4.15. Para isto seguiu-se a planilha do planejamento experimental fracionário  $2^{4-1}$ , com pontos três pontos centrais. A finalidade desse processo foi de verificar quais fatores eram realmente significativos nas respostas.

**Tabela 4.15:** Resultados obtidos para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), obtidos segundo planejamento experimental fracionário, na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução ternária de NaCl+sacarose.

	CODIFICAÇÃO REAL				RESULTADO DAS RESPOSTAS				
	T (°C)	C <sub>SAL</sub> (%)	C <sub>AÇÚCAR</sub> (%)	T (Min.)	% PA	% PP	% GS	GS /PA	aw
1	36	12	30	135	36,7	21,31	15,39	0,42	0,84
2	54	12	30	165	45,32	31,28	14,09	0,31	0,82
3	36	14	30	135	45,89	30,32	14,79	0,32	0,82
4	54	14	30	135	46,63	32,71	13,16	0,28	0,8
5	36	12	40	165	47,96	35,14	12,82	0,27	0,8
6	54	12	40	135	50,28	35,96	14,32	0,28	0,8
7	36	14	40	135	41,14	26,8	14,34	0,35	0,83
8	54	14	40	165	53,75	38,67	15,07	0,28	0,77
9	45	13	35	150	46,87	31,7	15,17	0,32	0,8
10	45	13	35	150	44,77	30,13	14,63	0,33	0,8
11	45	13	35	150	47,13	31,89	15,48	0,33	0,81

#### 4.4.1. Perda de água

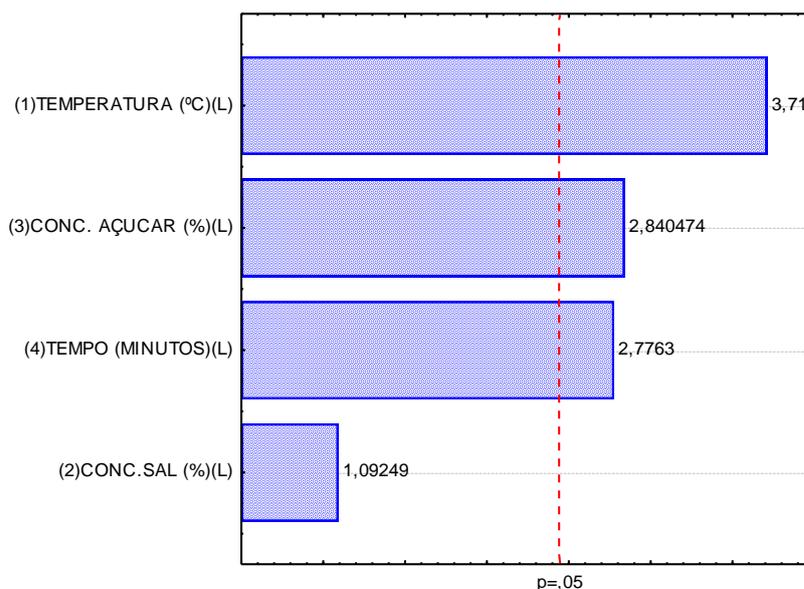
A Tabela 4.16 mostra os efeitos significativos das variáveis independentes, temperatura, concentração de sal, concentração de açúcar e tempo de imersão, sobre a resposta perda de água. O resultado pode ser melhor visualizado através da Figura 4.10.

**Tabela 4.16** – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para perda de água.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	t <sup>2</sup>	P (≤ 0,05)
Media Global	<b>46.04</b>	<b>0.39</b>	<b>118.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (°C)	<b>6.07</b>	<b>0.92</b>	<b>6.64</b>	<b>0.02</b>
Concentração de sal (%)	<b>1.79</b>	<b>0.92</b>	<b>1.95</b>	<b>0.19</b>
Concentração de açúcar (%)	<b>4.65</b>	<b>0.92</b>	<b>5.08</b>	<b>0.04</b>
Tempo (min.)	<b>4.54</b>	<b>0.92</b>	<b>4.96</b>	<b>0.04</b>

Como o objetivo do planejamento fracionário foi verificar a intensidade dos efeitos e sua significância e não a validação de modelos, não houve necessidade da avaliação dos efeitos pelo erro residual.

Para avaliação dos efeitos optou-se pelo intervalo de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Desta forma os efeitos maiores que 5% não foram considerados significativos.



**Figura 4.10** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária de sacarose e NaCl.

Pela análise dos dados, verifica-se que os fatores significativos ao nível de 95% de confiança para perda de água foram temperatura, concentração de açúcar e o tempo. Somente a concentração de sal não obteve  $p < 0,05$ . Verifica-se ainda, no gráfico 4.11, que os efeitos que exerceram maior influência foi a temperatura, seguidos pela concentração de açúcar e pelo tempo. Todos os efeitos significativos tiveram valores positivos, indicando que qualquer aumento nos parâmetros acarretará um aumento da perda de água.

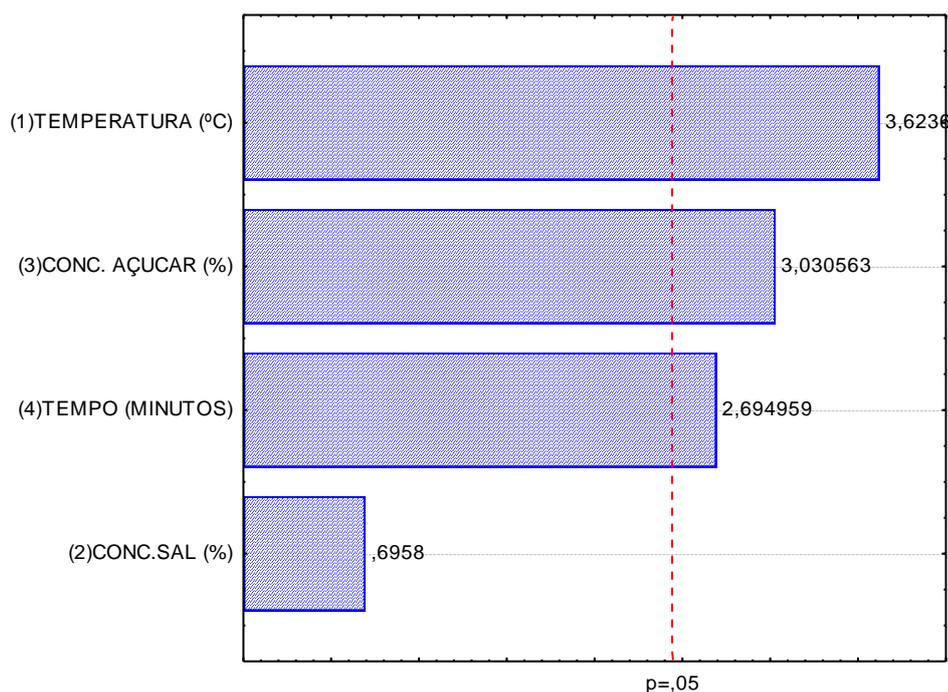
#### 4.4.2. Perda de peso

A Tabela 4.17 mostra os efeitos significativos, em função somente do erro puro, para as variáveis independentes, temperatura, concentração de sal, concentração de açúcar e tempo de imersão, sobre a resposta perda de peso. O resultado pode ser melhor visualizado através da Figura 4.11.

**Tabela 4.17** – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para perda de peso.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	t <sup>2</sup>	P (≤ 0,05)
Media Global	31.45	0.29	107.97	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (°C)	6.26	0.68	9.17	0.01
Concentração de sal (%)	1.20	0.68	1.76	0.22
Concentração de açúcar (%)	5.24	0.68	7.67	0.02
Tempo (min.)	4.66	0.68	6.82	0.02

Para avaliação dos efeitos optou-se pelo intervalo de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Desta forma os efeitos maiores que 5% não foram considerados significativos.



**Figura 4.11** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária de sacarose e NaCl.

Os fatores significativos ao nível de 95% de confiança para perda de peso foram temperatura, concentração de açúcar e o tempo. Somente a concentração de sal não obteve  $p < 0,05$ . Os efeitos que exerceram maior influência foi a temperatura, seguidos pela concentração de açúcar e pelo tempo. Todos os efeitos foram

positivos, indicando que qualquer aumento nos parâmetros acarretará um aumento da perda de peso.

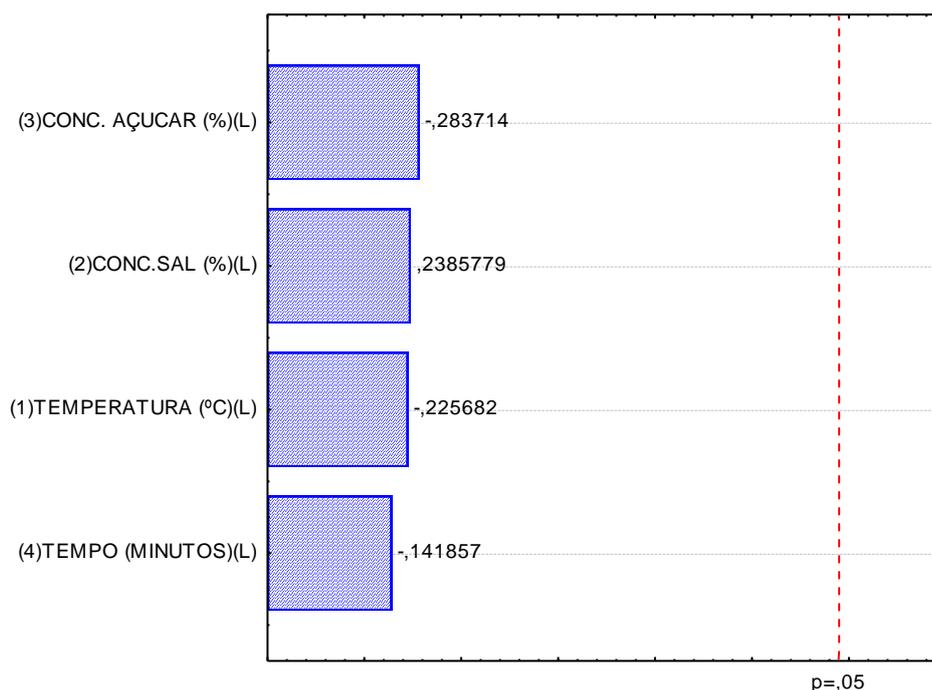
#### 4.4.3. Ganho de sólidos

A Tabela 4.18 mostra os efeitos significativos, em função somente do erro puro, para das variáveis independentes, temperatura, concentração de sal, concentração de açúcar e tempo de imersão, sobre a resposta ganho de sólidos. Nenhum dos fatores estudados mostrou ser significativo ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). A Figura 4.12 confirma os resultados mostrados pela Tabela 4.18.

**Tabela 4.18** – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para ganho de sólidos.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	t <sup>2</sup>	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	14.48	0.13	111.63	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (°C)	-0.17	0.30	-0.58	0.62
Concentração de sal (%)	0.18	0.30	0.61	0.60
Concentração de açúcar (%)	-0.22	0.30	-0.72	0.54
Tempo (min.)	-0.11	0.30	-0.36	0.75

Para avaliação dos efeitos optou-se pelo intervalo de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Desta forma os efeitos maiores que 5% não foram considerados significativos.



**Figura 4.12** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária de sacarose e NaCl.

#### 4.4.4. Razão GS/PA

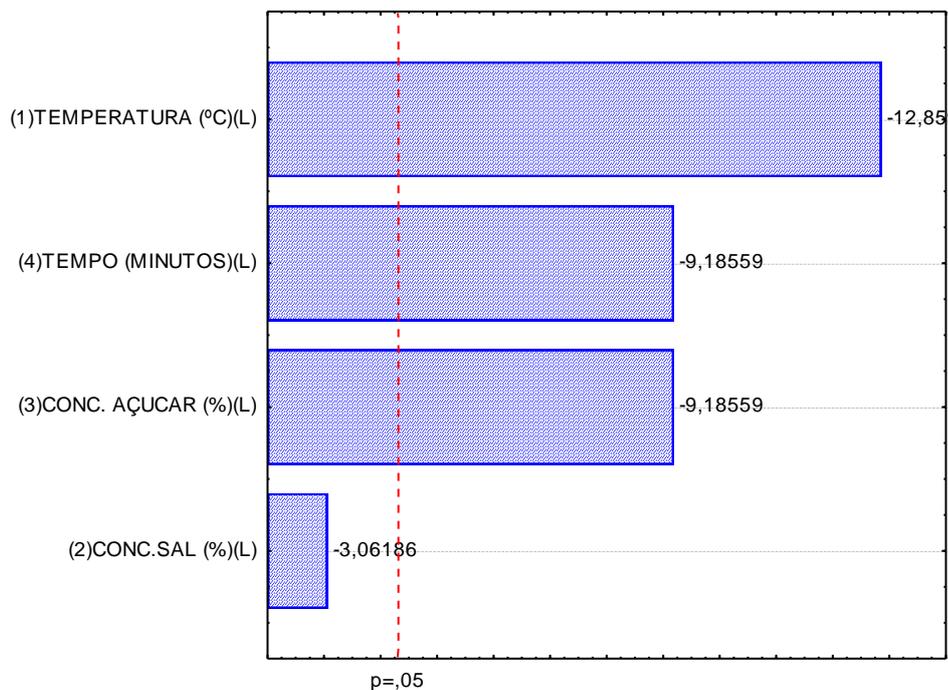
A Tabela 4.19 mostra os efeitos significativos, em função do erro puro, para as variáveis independentes, temperatura, concentração de sal, concentração de açúcar e tempo de imersão, sobre a resposta relação GS/PA.

**Tabela 4.19** – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para razão GS/PA.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	t <sup>2</sup>	P (≤ 0,05)
Media Global	0.32	0.00	182.26	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (°C)	-0.05	0.00	-12.86	0.01
Concentração de sal (%)	-0.01	0.00	-3.06	0.09
Concentração de açúcar (%)	-0.04	0.00	-9.19	0.01
Tempo (min)	-0.04	0.00	-9.19	0.01

Para avaliação dos efeitos optou-se pelo intervalo de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Desta forma os efeitos maiores que 5% não foram considerados

significativos. A análise dos dados mostrou que os fatores significativos ao nível de 95% de confiança para perda de água foram temperatura, concentração de açúcar e o tempo. Somente a concentração de sal não atingiu  $p < 0,05$ . O gráfico 4.13 mostra o gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária.



**Figura 4.13** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária de sacarose e NaCl.

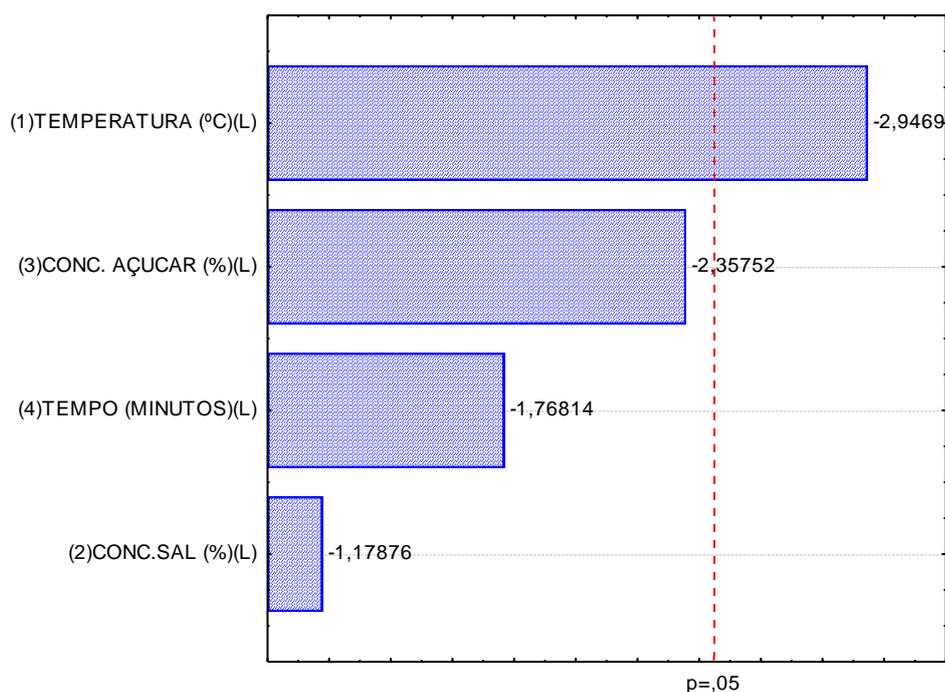
#### 4.4.5. Atividade de água

A Tabela 4.20 mostra os efeitos significativos, em função do erro puro, para as variáveis independentes, temperatura, concentração de sal, concentração de açúcar e tempo de imersão, sobre a resposta atividade de água. A melhor visualização destes dados pode ser feita através da Figura 4.14.

**Tabela 4.20** – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística, para cada fator, utilizando solução de NaCl + sacarose, para atividade de água.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	t <sup>2</sup>	P (≤ 0,05)
Media Global	0.81	0.00	464.27	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (°C)	-0.03	0.00	-6.12	0.03
Concentração de sal (%)	-0.01	0.00	-2.45	0.13
Concentração de açúcar (%)	-0.02	0.00	-4.90	0.04
Tempo (min)	-0.02	0.00	-3.67	0.07

O intervalo de confiança foi de 95% e os efeitos com  $p \geq 0,05$  não foram considerados significativos. A análise dos dados mostrou que os fatores significativos foram temperatura e concentração de açúcar. A concentração de sal não e o tempo não atingiram significância ao nível de 95%. Um fator importante foi verificar que o tempo obteve significância ao nível de aproximadamente 93,3%, fato esse que ocasionou em sua inclusão como efeito significativo.



**Figura 4.14** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de ternária de sacarose e NaCl.

Na Figura 4.14, o efeito que teve maior influência foi a temperatura. Todos os efeitos significativos tiveram valores negativos, indicando que qualquer aumento nos níveis dos parâmetros ocorrerá diminuição na atividade de água, sendo este, um efeito esperado para este trabalho.

#### 4.5. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM SOLUÇÃO DE NaCl + SACAROSE

Após a análise dos dados obtidos pelo planejamento experimental fracionário  $2^{4-1}$  para desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária, verificou-se que somente a concentração de sal (NaCl) não influenciou significativamente sobre as respostas. Por este motivo foi utilizada a menor concentração de sal (12%) como valor fixo na solução ternária e foi executado um planejamento experimental completo  $2^3$ .

Os resultados obtidos experimentalmente, para perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), relação GS/PA e atividade de água (aw), em filés de piramutaba desidratados osmoticamente em solução ternária contendo sal e sacarose estão mostrados na Tabela 4.21. Para isto seguiu-se a planilha do planejamento experimental completo  $2^3$ , com 6 pontos axiais e 3 centrais.

**Tabela 4.21:** Resultados obtidos para perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, relação GS/PA e atividade de água, obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução ternária de NaCl+sacarose.

	Real			RESULTADO DAS RESPOSTAS				
	T (°C)	C <sub>açúcar</sub> (%)	t (min)	PÁ (%)	PP (%)	GS (%)	GS /PA	aw
1	36	30	135	36,71	21,31	15,4	0,42	0,84
2	54	30	135	42,2	29,34	12,37	0,29	0,87
3	36	40	135	47,01	33,61	14,8	0,31	0,84
4	54	40	135	46,64	32,71	13,17	0,28	0,8
5	36	30	165	30,43	24,99	5,44	0,18	0,85
6	54	30	165	50,29	35,96	14,33	0,28	0,81
7	36	40	165	48,52	33,52	15	0,31	0,83
8	54	40	165	51,28	38,95	12,33	0,24	0,8
9	30	35	150	44,32	34,17	14,62	0,33	0,83
10	60	35	150	54,93	45,27	9,39	0,17	0,77
11	45	25	150	40,05	23,92	16,88	0,42	0,86
12	45	45	150	51,79	37,47	14,58	0,28	0,83
13	45	35	120	44,3	31,19	14,16	0,32	0,85
14	45	35	180	43,86	33,77	10,37	0,24	0,84
15	45	35	150	46,39	33,2	13,64	0,29	0,83
16	45	35	150	47,78	32,82	14,93	0,31	0,83
17	45	35	150	47,97	31,67	16	0,33	0,84

Através dos resultados, observou-se que os valores obtidos, na desidratação osmótica de piramutaba em soluções ternárias contendo NaCl e sacarose, para as respostas perda de água (PA), perda de peso (PP) e ganho de sólidos (GS) foram maiores comparativamente à solução binária de NaCl. Isto pode ser explicado

porque a sacarose adicionalmente ao sal na solução osmótica ocasiona aumento da concentração da solução e conseqüentemente aumento na pressão osmótica. Isso faz com que os resultados sejam intensificados. Vários autores observaram este fenômeno em processo de desidratação osmótica (SOUZA NETO *et al*, 2005; TONON *et al*, 2006; VIVANCO *et al*, 2006; OZDEMIR *et al*, 2008).

Da mesma forma ocorreu para a atividade de água, ou seja, os tratamentos em solução ternária ocasionaram em menores atividades de água do que em soluções binárias. Esse fato se deve ao aumento da incorporação de sólidos no produto. Isso ocorre porque ao aumentar o teor de sal e açúcar, aumenta também a interação destes com a água disponível no produto.

#### 4.5.1. Perda de água

Na Tabela 4.22 e 4.23 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro e erro residual para perda de água em filé de piramutaba desidratadas em solução de NaCl e sacarose. Os valores em negrito representam os efeitos significativos ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 4.22:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

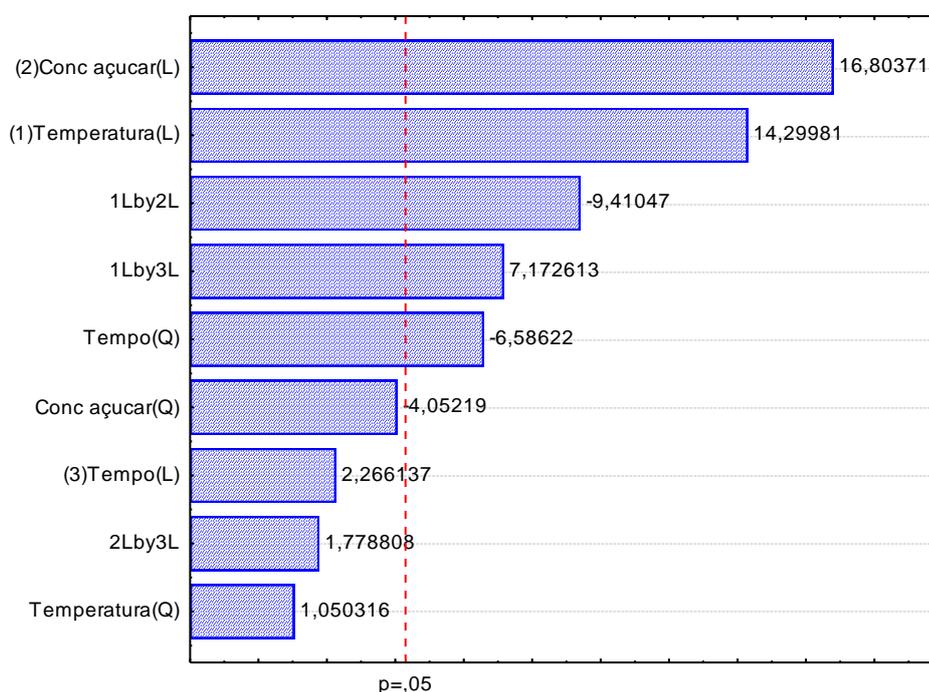
FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	47.5	0.50	95.7	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>6.7</b>	<b>0.47</b>	<b>14.3</b>	<b>0.00</b>
Temperatura (Q)	0.5	0.51	1.1	0.40
Concentração de açúcar (L)	<b>7.8</b>	<b>0.47</b>	<b>16.8</b>	<b>0.00</b>
Concentração de açúcar (Q)	-2.1	0.51	-4.1	0.06
Tempo (L)	1.1	0.47	2.3	0.15
Tempo (Q)	<b>-3.4</b>	<b>0.51</b>	<b>-6.6</b>	<b>0.02</b>
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	<b>-5.7</b>	<b>0.61</b>	<b>-9.4</b>	<b>0.01</b>
Temperatura x Tempo	<b>4.4</b>	<b>0.61</b>	<b>7.2</b>	<b>0.02</b>
Concentração x Tempo	1.1	0.61	1.8	0.22

L = Linear; Q = Quadrático.

De acordo com a Tabela 4.22 e a Figura 4.15 os efeitos que exerceram influência sobre as respostas estão evidenciados em negrito. O fator que exerceu maior influência sobre a perda de água foi concentração (L), seguido pela

temperatura (L), interação temperatura x concentração, interação temperatura x tempo e tempo (Q). O parâmetro concentração de açúcar (Q) obteve influência significativa para os efeitos do erro puro ( $p=0,05$ ), no entanto não obteve significância pelo erro residual ( $p=0,19$ ) e por esse motivo foi descartado.

Os parâmetros que apresentaram efeitos positivos foram concentração (L), temperatura (L) e interação temperatura x tempo. Os parâmetros que ocasionam em diminuição da perda de água foram temperatura (Q) e interação temperatura x tempo.



**Figura 4.15** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Com a eliminação dos fatores não significativos sobre a perda de água, foi feita a análise de variância (Tabela 4.23), onde verificou-se a significância da regressão e falta de ajuste com 95% de confiança ( $p\leq 0,05$ ) através do teste F.

**Tabela 4.23:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

<b>FONTES DE VARIÇÃO</b>	<b>S.Q.</b>	<b>G.L.</b>	<b>M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
REGRESSÃO	499,35	5	99,87	18,09	3,20	0,8916
RESÍDUO	60,70	11	5,51			
FALTA DE AJUSTE	62,19	9	6,91	9,28	19,38	
ERRO PURO	1,48	2	0,74			
TOTAL SS	560,06	16				

S.Q.=Soma dos quadrados; G.L.= graus de liberdade; M.Q.= média quadrática.

Pela análise de variância (ANOVA) verifica-se que o  $F_{\text{calculado}}$  para a regressão foi aproximadamente 5,64 vezes maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  demonstrando que a mesma foi significativa e preditiva. Como os resultados seguiram as regras segundo Box e Wetz (1973), foi possível propor modelo codificado para representar a perda de água (PA) na desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de acordo com a equação 4.4.

$$PA (\%) = 47,53 + 3,334 T (\text{°C}) + 3,92 C (\%) - 1,69 t^2 - 2,87 TC + 2,18 Tt \quad (4.4)$$

Onde:

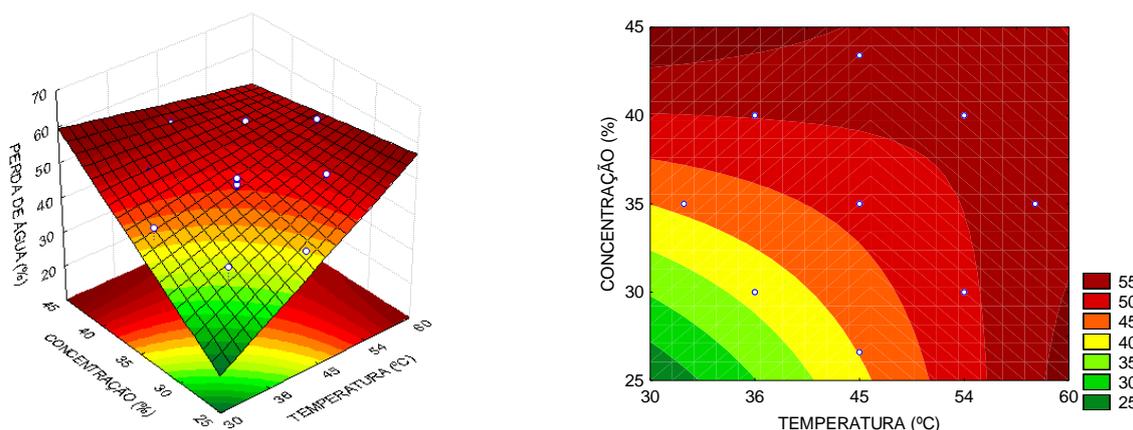
T = temperatura (°C);

C = concentração (%);

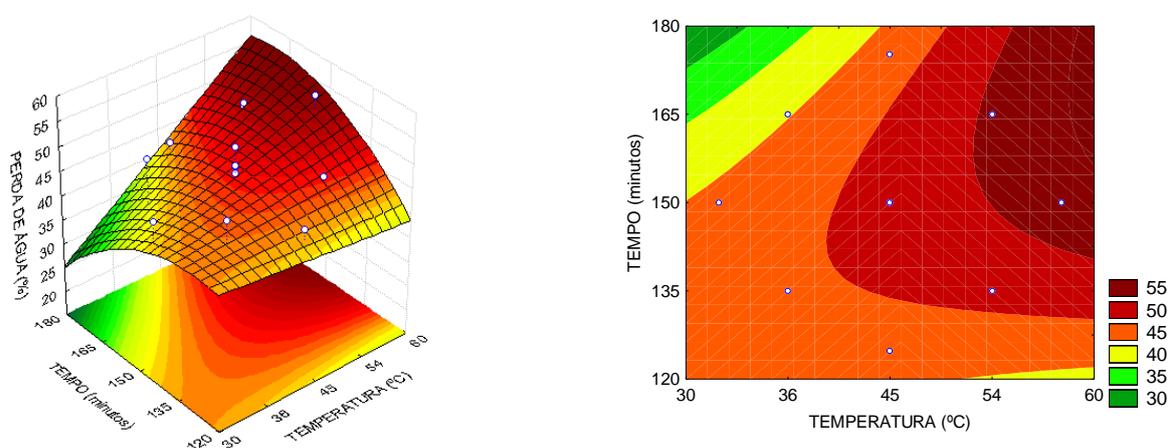
t = tempo (min).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8916, demonstrando que o modelo proposto explicou cerca de 89,1% da variação dos dados observados.

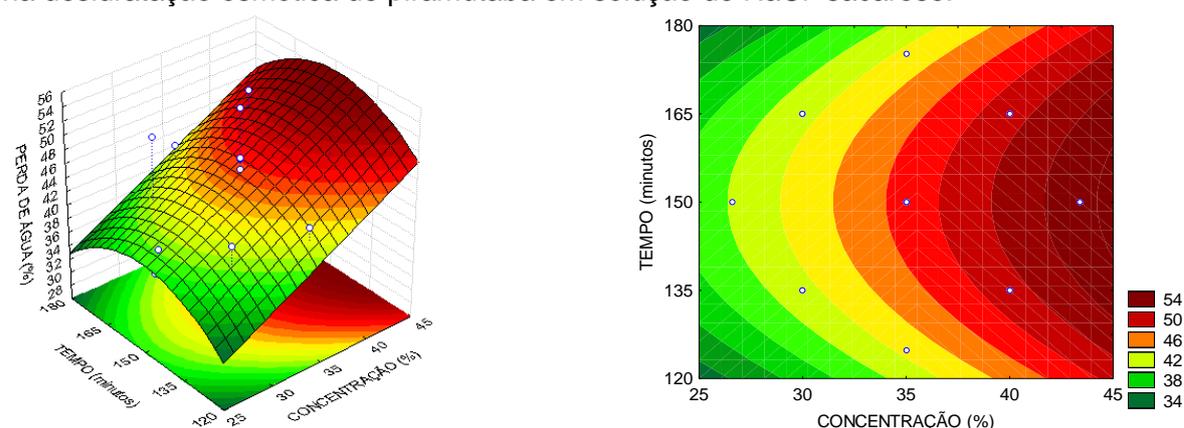
As Figuras 4.16a, 4.16b e 4.16c mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas, através do modelo proposto, considerando-se pontos médios de tempo, concentração e temperatura.



**Figura 4.16a:** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando concentração de sacarose (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.16b –** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) a uma concentração de 35% de sacarose no processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.16c –** Superfície de resposta e curva de nível para a perda de água, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) a temperatura de 45°C de processo na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Através da Figura 4.16a verifica-se uma área bem extensa, em que a perda de água ficou acima de 50%. Outro fator que deve ser considerado, é que existem

dois pontos de alta perda de água, um próximo ao extremo da temperatura e o outro da concentração. Nesses extremos a perda de água está acima de 55%. Em casos como esse é possível escolher qual dos dois extremos é o mais viável para otimização, no primeiro, com temperatura próxima de 60 °C e baixas concentrações de açúcar (25-30%), e no segundo em concentrações próximas de 45% em temperaturas mais baixas (30-42 °C). O que influencia nesse caso é o custo, onde no primeiro caso existe uma redução na quantidade de solutos e um aumento no custo energético. No segundo caso acontece o contrário, aumento no teor de soluto e redução no custo energético.

Pela observação das Figuras 4.16a e 4.16c verifica-se que a concentração de sacarose foi o fator que mais causou influência sobre a perda de água. Resultado similar foi observado por Jokic´ (2005) em beterraba desidratada osmoticamente no mesmo tipo de solução.

#### 4.5.2. Perda de peso

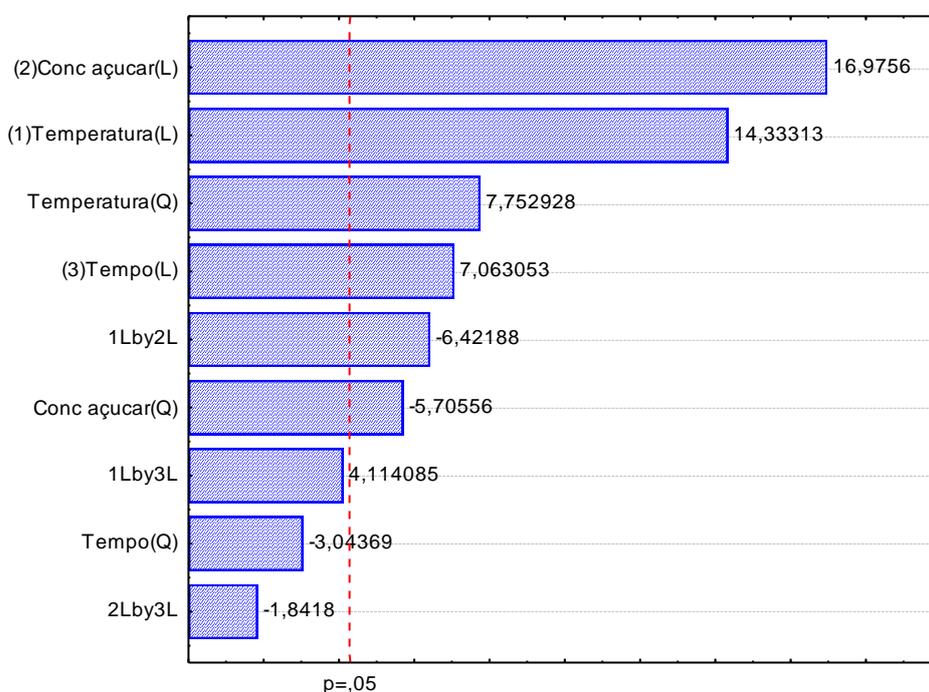
Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de perda de peso na desidratação osmótica de filé de piramutaba em solução de NaCl+sacarose são apresentados na Tabela 4.24. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Na Figura 4.17 é apresentado um gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre a perda de peso na desidratação osmótica de filé de piramutaba em solução ternária ( NaCl+sacarose).

**Tabela 4.24:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	32.77	0.46	71.40	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>6.18</b>	<b>0.43</b>	<b>14.33</b>	<b>0.00</b>
Temperatura (Q)	<b>3.68</b>	<b>0.48</b>	<b>7.75</b>	<b>0.02</b>
Concentração de açúcar (L)	<b>7.32</b>	<b>0.43</b>	<b>16.98</b>	<b>0.00</b>
Concentração de açúcar (Q)	-2.71	0.48	-5.71	0.03
Tempo (L)	<b>3.05</b>	<b>0.43</b>	<b>7.06</b>	<b>0.02</b>
Tempo (Q)	-1.45	0.48	-3.04	0.09
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	<b>-3.62</b>	<b>0.56</b>	<b>-6.42</b>	<b>0.02</b>
Temperatura x Tempo	2.32	0.56	4.11	0.05
Concentração x Tempo	-1.04	0.56	-1.84	0.21

L = Linear; Q = Quadrático.

Os efeitos que exerceram influência significativa sobre as respostas foram a temperatura (L e Q), concentração (L), tempo (L) e a interação temperatura x concentração. O fator que exerceu maior efeito sobre a resposta foi a concentração. Na maioria dos fatores observados, quaisquer aumentos nos níveis poderão refletir em maiores perdas de peso. O fator concentração de açúcar (Q) obteve influência significativa para os efeitos do erro puro ( $p=0,02$ ), no entanto não obteve significância pelo erro residual ( $p=0,1$ ) e por esse motivo foi descartado. Da mesma forma ocorreu com a interação temperatura x tempo com valor de  $p=0,05$  para os efeitos do erro puro e  $p=0,22$  para o erro residual.



**Figura 4.17** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, verificou-se através da análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado (Tabela 4.25). O valor do  $F_{\text{calculado}}$  foi de 4,18 vezes maior do que o  $F_{\text{tabelado}}$  e o F da falta de ajuste foi menor no calculado do que no tabelado. Dessa forma os resultados das respostas da desidratação osmótica de filés de piramutaba podem ser considerados significativos e preditivos segundo as regras de

Box e Wertz (1973). O valor do  $R^2$  foi de 0,8897, indicando que o modelo explicou cerca de 88,9% dos resultados com regressão significativa com limite de 95% de confiança.

**Tabela 4.25:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>S.Q.</b>	<b>G.L.</b>	<b>M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
REGRESSÃO	459,25	6	76,54	13,44	3,21	0,8897
RESÍDUO	56,91	10	5,69			
FALTA DE AJUSTE	58,18	8	7,27	10,67	19,37	
ERRO PURO	1,26	2	0,63			
TOTAL SS	516,17	16				

S.Q.= soma dos quadrados; G.L.= graus de liberdade; M.Q.= média quadrática.

O modelo codificado proposto para representar a perda de peso em solução ternária foi:

$$PP (\%) = 32,77 + 3,09 T + 1,84 T^2 + 3,66 C + 1,52 t - 1,8 TC \quad (4.5)$$

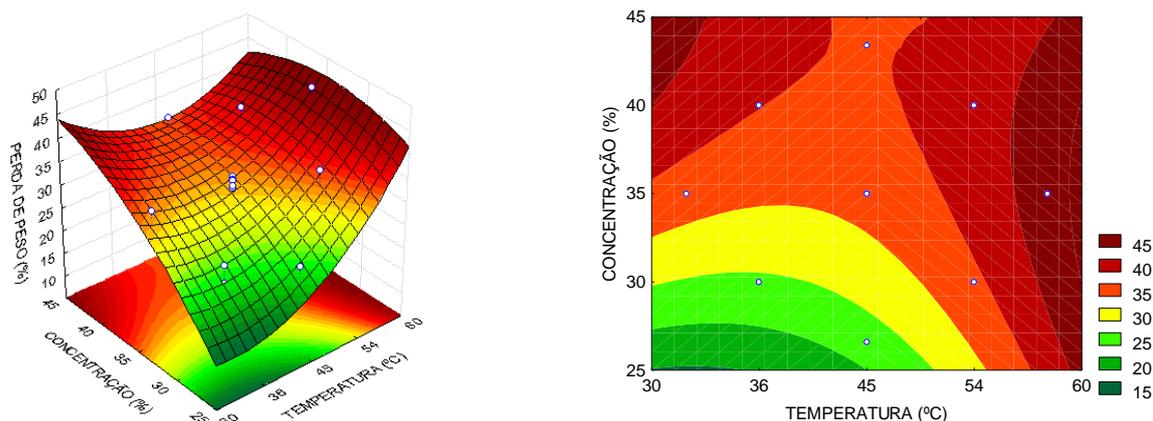
Onde:

T = temperatura (°C);

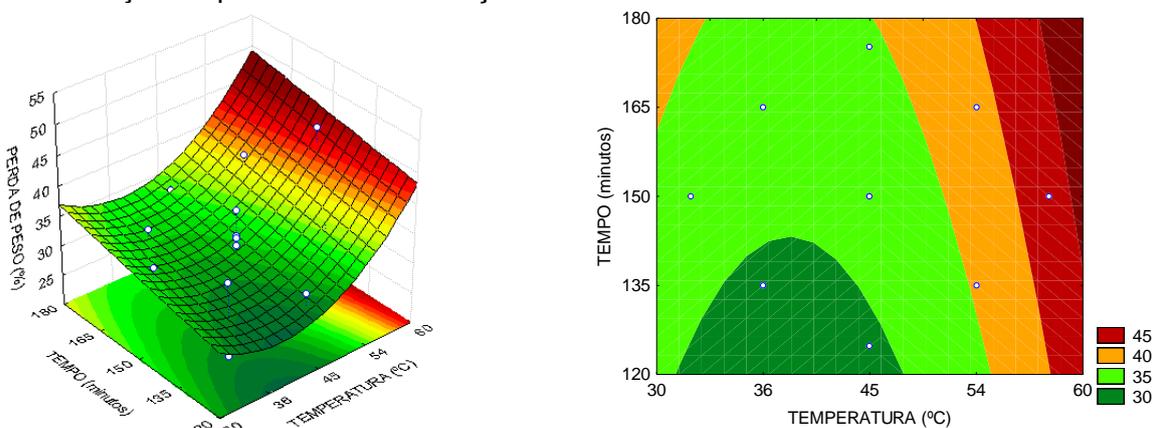
C = concentração (%);

t = tempo (min).

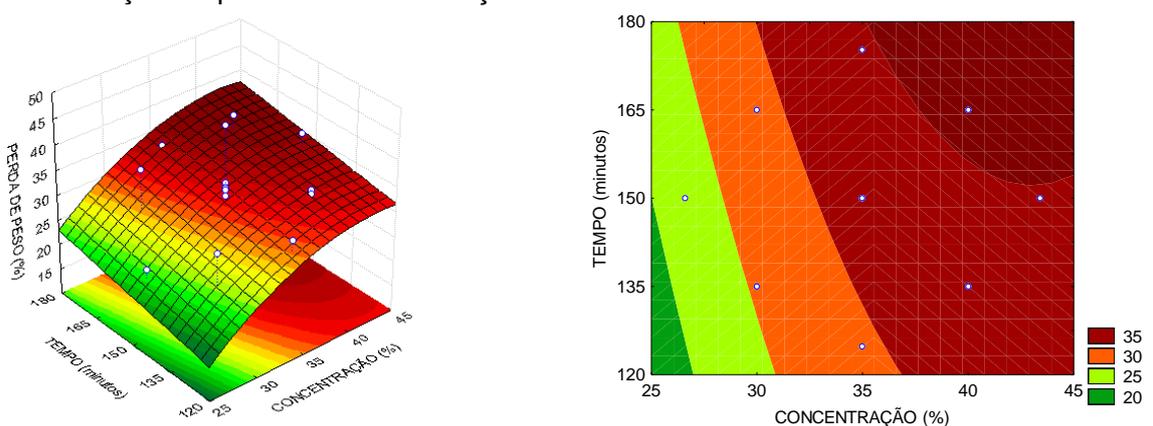
As Figuras 4.18a, 4.18b e 4.18c mostram as curvas de nível e superfícies de resposta geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios do tempo de imersão, concentração de sacarose na solução e temperatura.



**Figura 4.18a** – Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando concentração de sacarose (%) e Temperatura (°C) para 150 minutos de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.18b** – Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) para concentração de sacarose de 30% de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.18c** – Superfície de resposta e curva de nível para a perda de peso, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) para uma temperatura de 45°C de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Na análise do gráfico 4.18a, verifica-se dois locais de grande perda de peso acima de 45%. O primeiro com concentração de sacarose no intervalo de 40-45% e

temperaturas na faixa de 30-33 °C. No segundo intervalo, a concentração encontra-se numa ampla faixa que vai do nível inferior (25%) ao superior (45%) e temperatura entre 56-60°C. Essas variáveis proporcionam duas interpretações para a otimização, uma é em relação à economia de solutos e a outra na economia de energia.

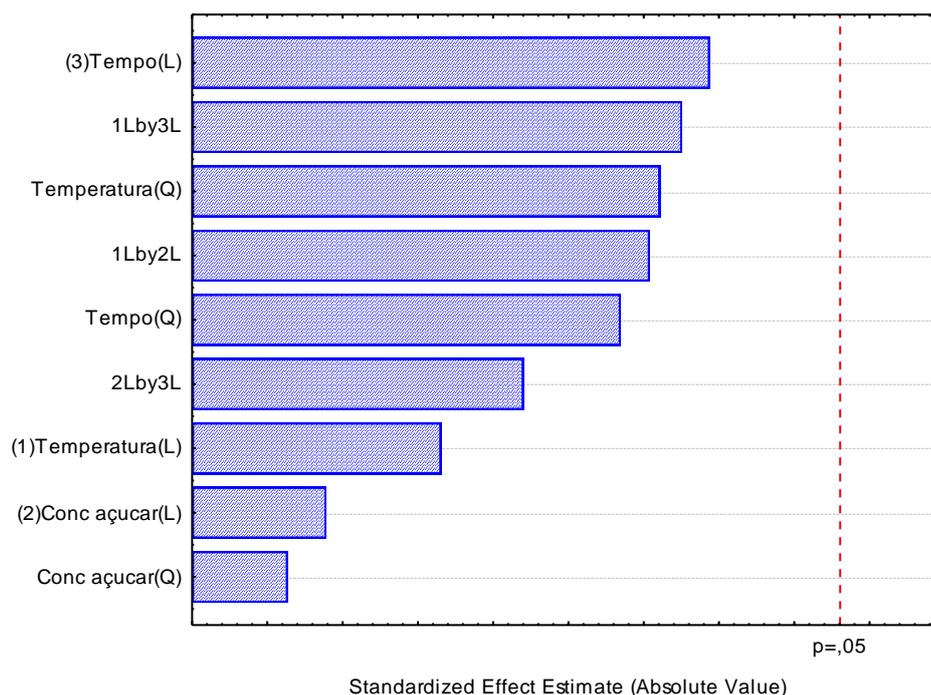
Verificou-se, através das Figuras 4.18b e 4.18c, que para temperaturas acima de 56 °C, a região que compreende entre 30% e 45% de sacarose e 152 e 180 minutos, foi a que teve maior perda de peso.

#### 4.5.3. Ganho de sólidos

Na Tabela 4.26 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para ganho de sólidos em filé de piramutaba desidratadas em solução de NaCl e sacarose. Nenhum dos fatores estudados mostrou ser significativo ao nível de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). A Figura 4.19 confirma os resultados mostrados pela Tabela 4.9.

**Tabela 4.26:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl e sacarose.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	14.88	0.68	21.86	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	-1.06	0.64	-1.66	0.24
Temperatura (Q)	-2.19	0.70	-3.11	0.09
Concentração de açúcar (L)	0.57	0.64	0.89	0.47
Concentração de açúcar (Q)	0.45	0.70	0.64	0.59
Tempo (L)	-2.20	0.64	-3.44	0.08
Tempo (Q)	-2.01	0.70	-2.85	0.10
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	-2.54	0.84	-3.04	0.09
Temperatura x Tempo	2.72	0.84	3.26	0.08
Concentração x Tempo	1.84	0.84	2.20	0.16



**Figura 4.19** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

A Tabela 4.27 mostra a análise de variância (ANOVA) onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, para o planejamento estudado para ganho de sólidos, conforme resultados da Tabela 4.21.

**Tabela 4.27:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

FONTES DE VARIAÇÃO	S.Q.	G.L.	M.Q.	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	R <sup>2</sup>
REGRESSÃO	87,09	9	9,67	1,78	3,67	0,70
RESÍDUO	37,88	7	5,41			
FALTA DE AJUSTE	40,68	5	8,13	10,66	19,29	
ERRO PURO	2,79	2	1,39			
TOTAL SS	124,98	16				

S.Q.=soma dos quadrados; G.L.=graus de liberdade; M.Q.=media quadrática

Os resultados ANOVA mostraram que os modelos ajustados para ganho de sólidos em solução ternária não foram significativos e nem preditivos por apresentar o valor do  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão, não atendendo desta forma, ao critério sugerido por Box e Wertz (1973).

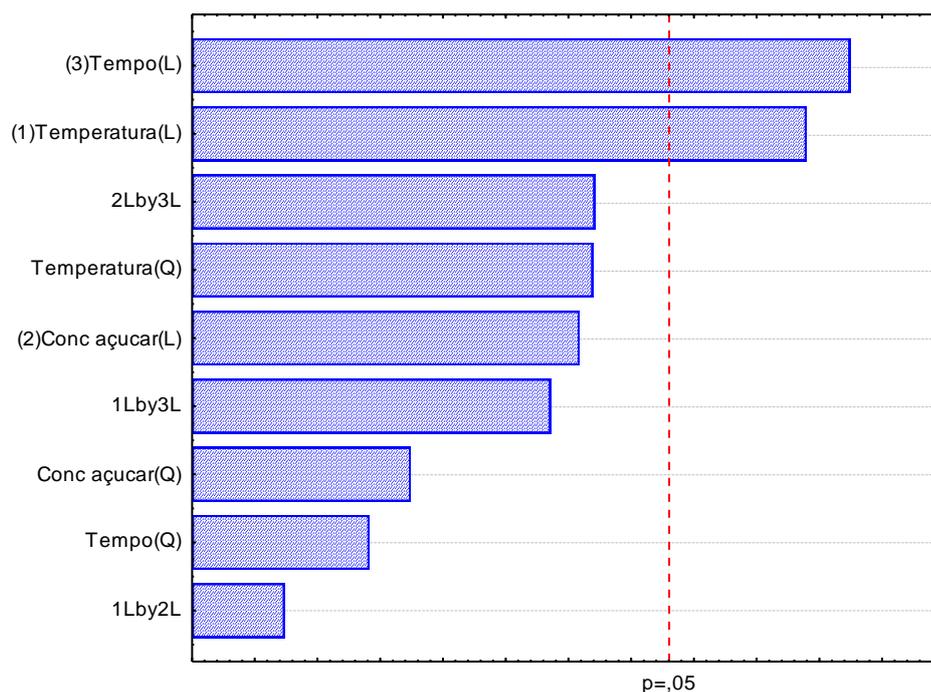
#### 4.5.4. Razão ganho de sólidos com perda de água (GS/PA)

Na Tabela 4.28 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para ganho de sólidos em filé de piramutaba desidratada em solução de NaCl+sacarose.

**Tabela 4.28:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	0.31	0.01	26.92	0.00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>-0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>-5.40</b>	<b>0.03</b>
Temperatura (Q)	-0.04	0.01	-3.70	0.07
Concentração de açúcar (L)	-0.04	0.01	-3.59	0.07
Concentração de açúcar (Q)	0.03	0.01	2.24	0.15
Tempo (L)	<b>-0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>-5.74</b>	<b>0.03</b>
Tempo (Q)	-0.02	0.01	-1.91	0.20
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	-0.02	0.01	-1.24	0.34
Temperatura x Tempo	0.05	0.01	3.36	0.08
Concentração x Tempo	0.05	0.01	3.71	0.07

Os parâmetros que apresentaram efeitos significativos foram a temperatura (L) e o tempo (L), dos quais, dentre estes dois, o que apresentou maior efeito foi o tempo. Todos dois parâmetros tiveram efeitos negativos, indicando que aumentos na temperatura ou no tempo reduzem os valores da razão, que nesse caso é o indicado, por entender que quanto menores forem esses valores, maior será a perda de água com menos incorporação de sólidos. Os resultados da Tabela 4.28 podem ser melhor visualizados pela Figura 4.20.



**Figura 4.20** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Eliminando os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste F, na análise de variância. Na Tabela 4.29 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 4.29:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

<b>FONTES DE VARIÇÃO</b>	<b>S.Q.</b>	<b>G.L.</b>	<b>M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
REGRESSÃO	0,02	2	0,01	4,19	3,73	0,3747
RESÍDUO	0,04	14	0,00			
FALTA DE AJUSTE	0,04	12	0,00	7,70	19,41	
ERRO PURO	0,00	2	0,00			
TOTAL SS	0,07	16				

S.Q.=soma dos quadrados; G.L.=graus de liberdade; M.Q.= média quadrática

O modelo codificado proposto para representar a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose foi:

$$GS/PA = 0,31 - 0,003 T - 0,031 t \quad (4.5)$$

Onde:

T = temperatura (°C);

t = tempo (min).

De acordo com a análise dos resultados da análise de variância (ANOVA), o modelo foi considerado significativo pela regressão e não pela falta de ajuste. No entanto, o  $F_{\text{calculado}}$  da regressão foi baixo e não atendeu os requisitos determinados por Box e Wertz (1973). Então para verificar se o modelo é realmente preditivo se faz necessário verificar ponto a ponto, como ilustrado na Tabela 4.30.

**Tabela 4.30** – Valores experimentais e valores preditos pelo modelo codificado para a razão GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.

ENSAIO	GS/PA EXPERIMENTAL	GS/PA PREDITIVO	ERRO RELATIVO (%)
1	0,42	0,37	11,67
2	0,29	0,31	7,24
3	0,31	0,37	19,68
4	0,28	0,31	11,07
<b>5</b>	<b>0,18</b>	<b>0,31</b>	<b>71,67</b>
6	0,28	0,25	11,07
7	0,31	0,31	0,32
8	0,24	0,25	3,75
9	0,33	0,36	9,21
<b>10</b>	<b>0,17</b>	<b>0,26</b>	<b>52,71</b>
11	0,42	0,31	26,19
12	0,28	0,31	10,71
13	0,32	0,36	13,15
14	0,24	0,26	7,47
15	0,29	0,31	6,90
16	0,311	0,31	0,32
17	0,33	0,31	6,06

Conforme a tabela acima (4.30), os valores dos desvios relativos variaram de 0,32 à 71,67. O valor médio dos desvios foi de 15,83%, sendo este valor alto para considerar o modelo preditivo quando o ideal é que seja abaixo de 10%.

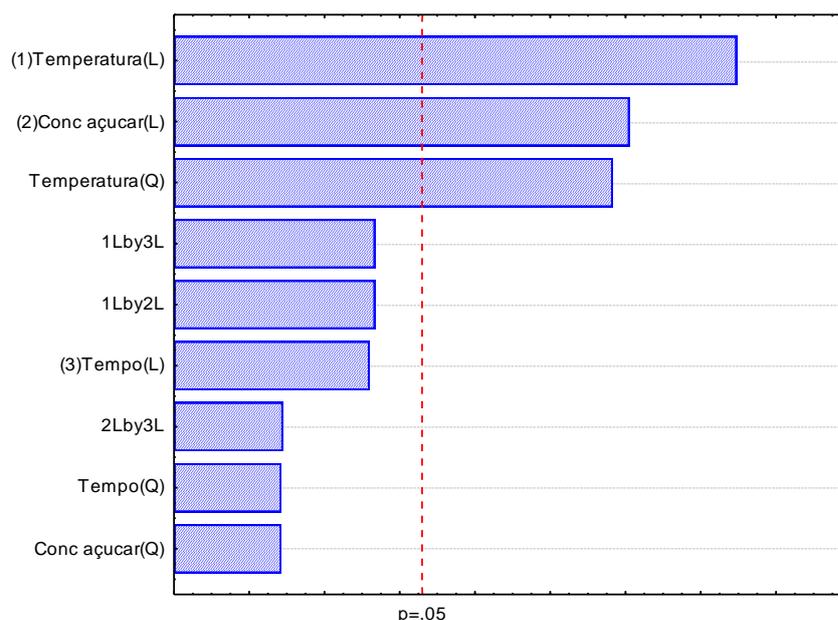
#### 4.5.5. Atividade de água

Na Tabela 4.31 estão mostrados os efeitos lineares, quadráticos, as interações e a significância estatística, determinados através do erro puro para atividade de água em filé de piramutaba desidratadas em solução de NaCl e sacarose.

Os parâmetros temperatura (L), temperatura (Q) e concentração (L) foram os que tiveram efeitos significativos. O maior efeito foi obtido pelo parâmetro temperatura (L) e todos os efeitos significativos foram negativos demonstrando que ao aumentá-los a tendência é para redução da atividade de água. Fator este esperado, pois quanto menor for a  $a_w$ , menores serão os impactos causados por microorganismos e maior será o tempo de vida útil do produto. Os efeitos significativos podem ser melhor visualizados na Figura 4.21.

**Tabela 4.31:** Efeito estimado, erro puro,  $t^2$  e significância estatística para a GS/PA na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.

FATORES	EFEITOS	ERRO PURO	$t^2$	P ( $\leq 0,05$ )
Media Global	0,83	0,00	250,52	0,00
<b>PRINCIPAIS</b>				
Temperatura (L)	<b>-0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>-8,47</b>	<b>0,01</b>
Temperatura (Q)	<b>-0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>-6,83</b>	<b>0,06</b>
Concentração de açúcar (L)	<b>-0,022</b>	<b>0,00</b>	<b>-7,05</b>	<b>0,01</b>
Concentração de açúcar (Q)	0,00	0,00	2,42	0,13
Tempo (L)	-0,01	0,00	-3,60	0,06
Tempo (Q)	0,00	0,00	2,42	0,13
<b>INTERAÇÕES</b>				
Temperatura x Concentração	-0,01	0,00	-3,67	0,06
Temperatura x Tempo	-0,01	0,00	-3,67	0,06
Concentração x Tempo	0,01	0,00	2,44	0,13



**Figura 4.21** – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

A tabela da análise de variância (ANOVA) foi gerado, a partir da eliminação dos parâmetros com efeitos acima de 95% de confiança ( $p \geq 0,05$ ) para a regressão e falta de ajuste. Para tanto utilizou-se o teste F para o planejamento estudado conforme Tabela 4.32.

**Tabela 4.32:** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>S.Q.</b>	<b>G.L.</b>	<b>M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
REGRESSÃO	0,00	3	0,00	9,93	3,41	0,6963
RESÍDUO	0,03	13	0,00			
FALTA DE AJUSTE	0,00	11	0,00	8,04	19,40	
ERRO PURO	0,00	2	0,00			
TOTAL SS	0,00	16				

S.Q.=Soma dos quadrados; G.L.=Graus de liberdade; M.Q.=media quadrática

O modelo codificado proposto para representar a atividade de água na desidratação osmótica de filé de piramutaba em solução de NaCl foi:

$$a_w = 0,833 - 0,013 T - 0,0117 T^2 - 0,01102 C \quad (4.6)$$

Onde,

T: temperatura (°C);

C: concentração de NaCl (%).

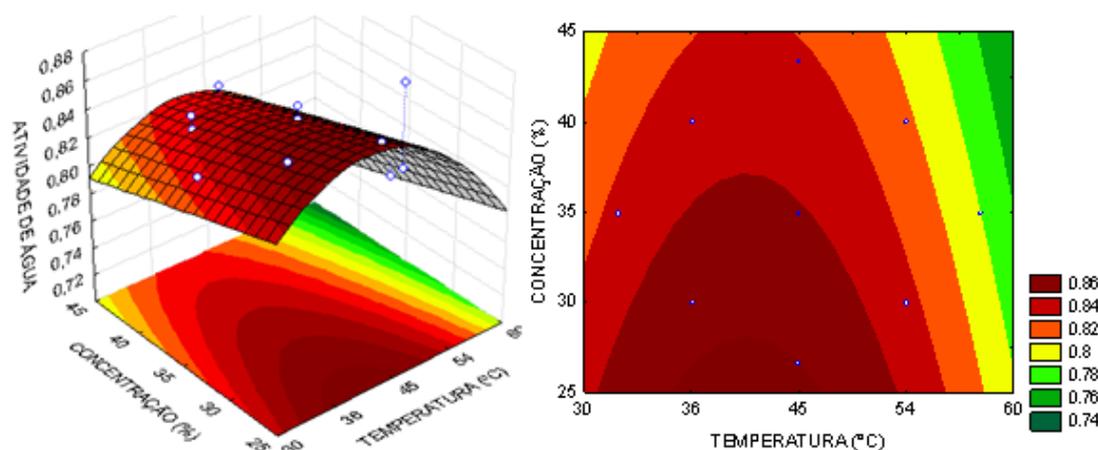
O  $F_{\text{calculado}}$  da regressão foi 2,91 vezes maior do que o  $F_{\text{tabelado}}$  e, de acordo com a análise de variância (ANOVA), o modelo foi considerado significativo, pela regressão e não pela falta de ajuste. Por este resultado o modelo caracteriza-se como significativo, porém não é preditivo por não atender aos requisitos determinados por Box e Weltz (1973). Então para verificar se o modelo é realmente preditivo verificou-se ponto a ponto, como ilustrado na Tabela 4.33.

**Tabela 4.33** – Valores experimentais e valores preditos pelo modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.

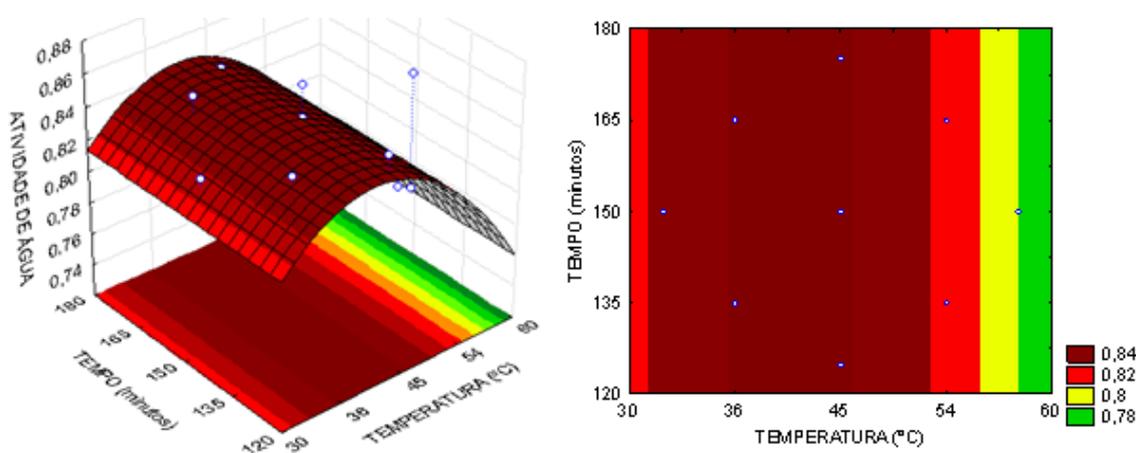
ENSAIO	aw EXPERIMENTAL	aw PREDITIVO	ERRO RELATIVO (%)
1	0,84	0,85	0,657
2	0,87	0,82	5,848
3	0,84	0,82	1,967
4	0,8	0,80	0,365
5	0,85	0,85	0,527
6	0,81	0,82	1,126
7	0,83	0,82	0,786
8	0,8	0,80	0,365
9	0,83	0,82	0,945
10	0,77	0,78	1,013
11	0,86	0,85	0,987
12	0,83	0,81	1,869
13	0,85	0,83	2,000
14	0,84	0,83	0,833
15	0,83	0,83	0,361
16	0,83	0,83	0,361
17	0,84	0,83	0,833

Pela análise da Tabela 4.33, verificou-se que os valores dos desvios relativos foram baixos com média de 1,23% demonstrando que os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, podendo ser considerados preditivos. Os ensaios que obtiveram menores atividade de água foram os de número 4, 6, 8 e 10, com valores variando entre 0,77 à 0,81. Esses valores foram obtidos devido à esses ensaios serem feitos com os maiores valores de temperatura (54 e 60°C).

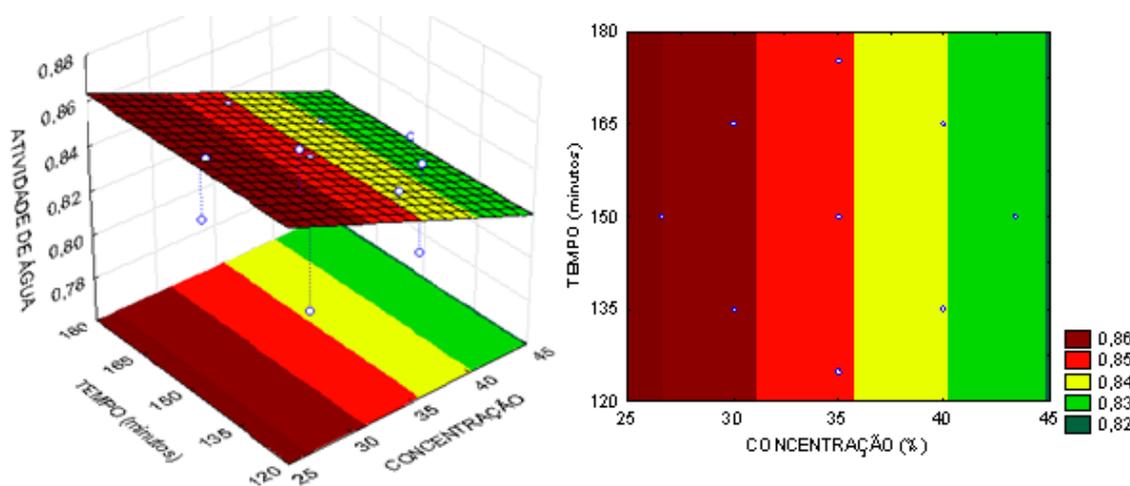
As Figuras 4.22a, 4.22b e 4.22c mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de tempos de desidratação, concentração de sacarose e temperatura da desidratação osmótica de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.



**Figura 4.22a** – Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando concentração de sacarose (%) e temperatura (°C) para um tempo de 150 minutos de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.22b** – Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando tempo (minutos) e temperatura (°C) para concentração de sacarose de 30% de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



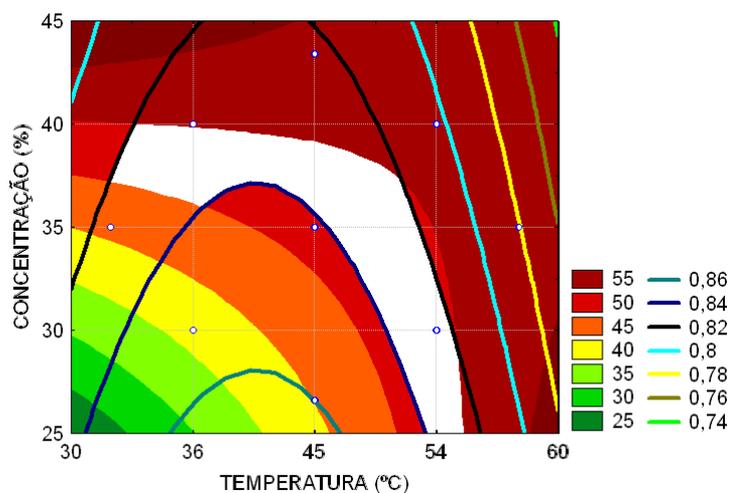
**Figura 4.22c** – Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água, relacionando tempo (minutos) e concentração de sacarose (%) para uma temperatura de 45°C de processo na desidratação de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

Observando-se as Figuras 4.22a e 4.22b verifica-se que, dentro dos níveis estudados, quanto maior a temperatura menor é a atividade de água. Pela análise dos gráficos 4.22b e 4.22c verifica-se que o tempo foi um fator que não exerceu influência significativa sobre a atividade de água.

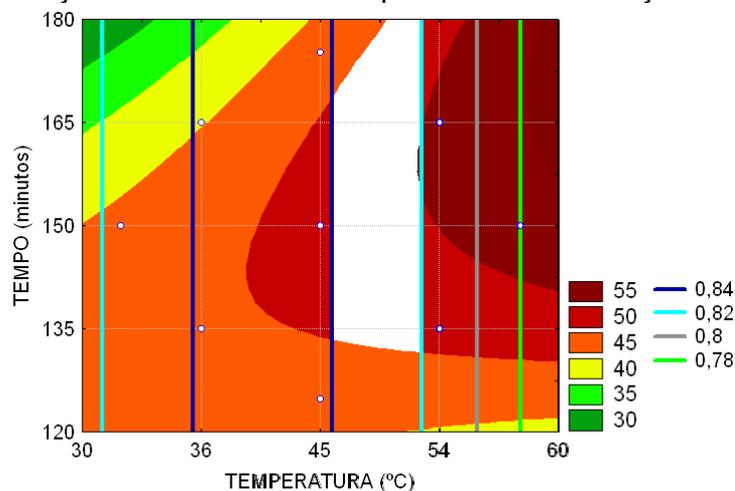
Na Figura 4.22a, verifica-se ainda que, as menores atividades de água são obtidas quando há a interação das maiores temperaturas e concentração de açúcar. Este mesmo comportamento foi observado na desidratação osmótica de filés de mapará, em solução de sacarose e sal, por Ribeiro (2005) e por Colato *et al* (2008) em batata doce.

#### **4.5.6. Otimização para solução ternária**

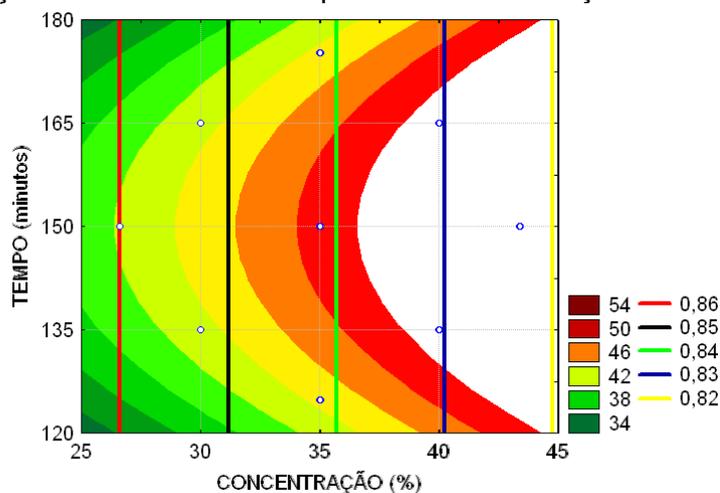
Nas Figuras 4.23a, 4.23b e 4.23c, o gráfico de PA está representado através das áreas, enquanto que o gráfico atividade de água está delimitado através de linhas. Observa-se uma região descolorida, considerada ótima para o estudo, pois é uma região limite do objetivo de obter produtos com maior perda de água e menor atividade de água.



**Figura 4.23a:** Sobreposição das curvas de contorno PA/aw no tempo de 150 minutos de processo na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.



**Figura 4.23b -** Sobreposição das curvas de contorno PA/aw na concentração de sacarose à 15% na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl + sacarose.



**Figura 4.23c:** Sobreposição das curvas de contorno PA/aw numa temperatura de 45°C na desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução de NaCl+sacarose.

As maiores perdas de água (acima de 50%) e com menores atividades de água (entre 0,82 e 0,84), foi verificada através da Figura 4.23a, numa faixa bem extensa para a concentração, ao redor de 25 a 40% de açúcar. Quando comparado com a Figura 4.23c essa faixa fica em torno de 36 a 45%. A concentração escolhida para a otimização foi de 37% de sacarose (com uma margem de confiança de 1 %) por ser o menor valor encontrado na faixa descolorida do 3º gráfico e em várias partes do 1º gráfico, com perdas de água e atividade de água compatíveis.

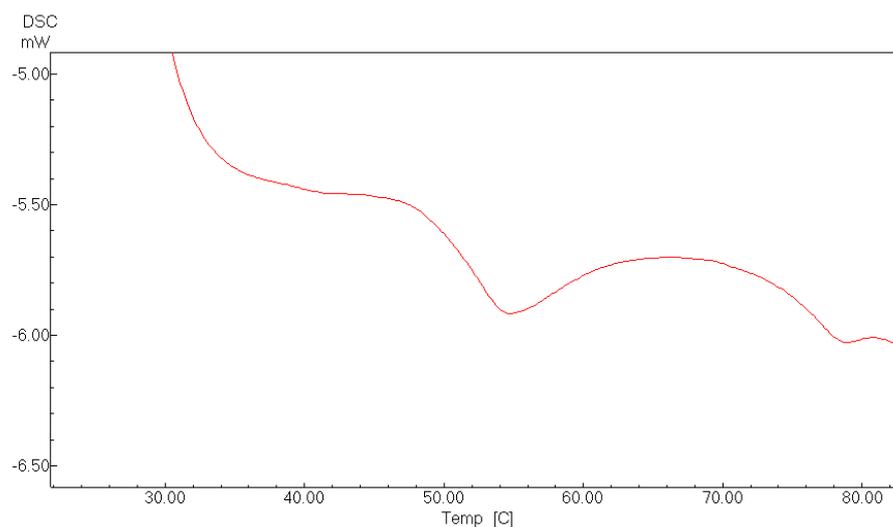
Em relação à temperatura, perdas de água na faixa de 50 a 55% e  $a_w$  entre 0,82 e 0,84 foi obtido em temperaturas ao redor de 33 – 55 °C (Figura 4.23a) e 46 – 52 °C (Figura 4.23b). Para esse parâmetro, a temperatura escolhida para a otimização foi a de 46 °C.

Em ambos os gráficos (Figura 4.23b e 4.23c) a faixa de tempo de desidratação foi bem extensa. No entanto, para confirmar a relação com todos os gráficos optou-se por adotar a perda de água com valores acima de 50% e  $a_w$  entre 0,82 e 0,84. Os valores de tempo variaram de 130 a 180 minutos no 2º gráfico e 120 à 180 minutos no 3º gráfico. O tempo escolhido para otimização foi de 130 minutos, porque os valores de perda de água e  $a_w$  foram compatíveis em ambos os gráficos.

#### 4.6. ANÁLISE TÉRMICA

O termograma da piramutaba congelada é mostrado na Figura 4.24. Nesse termograma é possível observar na curva a ocorrência de duas nítidas endotermas. Estas endotermas se aproximam bastante dos resultados obtidos por outros autores, como Vivanco (2003), Monterrey-Quintero e Sobral (2000) e Furukawa *et al* (2004), no que diz respeito a temperatura de desnaturação das proteínas actina e miosina em carne de tilápia e coelho. A temperatura do primeiro pico foi de aproximadamente de 54,5 °C e está associada a desnaturação da miosina e a segunda endoterma, com pico ao redor de 78,5 °C, a da actina. Comparando este resultado com o obtido por Badii e Howell (2002) que trabalharam com bacalhau e haddock congelados e estocados a -10°C, verifica-se que os picos relativos à temperatura de desnaturação ( $T_d$ ) da actina (cerca de 49°C) e miosina (cerca de 68 °C), ficaram um pouco abaixo do valor obtido para a piramutaba.

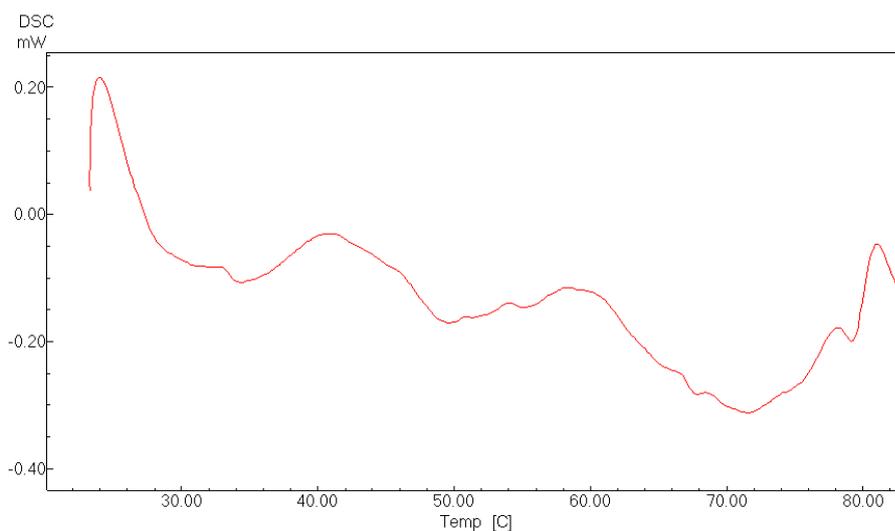
Os autores Badii e Howell (2002) e Monterrey-Quintero e Sobral (2000) citam que a existência de dois picos extras nos termogramas referentes às proteínas sarcoplasmáticas ou solúveis em água. Um antes do pico referente à  $T_d$  da actina e outro entre as endotermas da actina e da miosina.



**Figura 4.24:** Termograma do filé congelado de piramutaba.

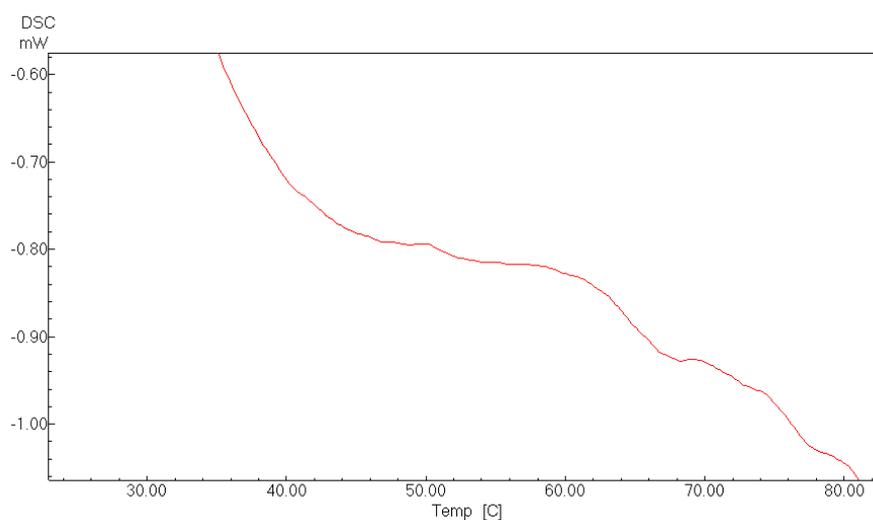
A Figura 4.25 mostra o termograma feito a partir do produto obtido da otimização da solução binária (temperatura = 46 °C; concentração de NaCl = 22%; tempo = 120 minutos). Verificou-se uma pequena mudança no perfil da curva da DSC com a presença do sal (NaCl) no músculo da piramutaba. Houve uma pequena diminuição na temperatura de desnaturação da actina ( $T_d = 49,5^\circ\text{C}$ ) com uma diferença de cerca de 5°C, em relação ao filé congelado. Isso provavelmente acontece por causa de uma provável alteração na estabilidade térmica das proteínas estudadas causada pela ação do sal, conforme observado por Furukawa et al (2004).

A miosina, que obteve  $T_d=79,5^\circ\text{C}$ , manteve a temperatura de desnaturação num valor bem próximo em relação à piramutaba congelada. Houve também a existência de uma terceira endoterma, antes do pico relativo à transição de fase da actina, referente à temperatura de transição das proteínas sarcoplasmáticas, ficando em torno de 32,5 °C.



**Figura 4.25:** Termograma do músculo de piramutaba em solução de NaCl.

O termograma do produto obtido da otimização do processo de desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária de NaCl e sacarose (temperatura = 46°C; concentração de NaCl = 12% e sacarose = 37%; tempo = 130 minutos) está mostrado na Figura 4.26.



**Figura 4.26:** Termograma do músculo de piramutaba em solução ternária.

Observa-se, nesse termograma, a ocorrência de duas endotermas para o filé de piramutaba desidratado em solução ternária, sendo que elas estão com tamanhos bem menores. O pico relativo à desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas está imperceptível nesse termograma.

As curvas nesse termograma se tornaram bem menos nítidas e de menor tamanho quando comparados com filé congelado e o desidratado em solução binária. Os picos relativos à desnaturação das proteínas tiveram um deslocamento para temperatura um pouco mais alta para actina e mais baixa para a miosina. A temperatura de desnaturação da actina ficou em torno de 53,8 °C, ficando próxima à obtida pelo peixe congelado e tendendo para um pequeno aumento de 4,3 °C em relação ao produto da solução de NaCl.

O pico referente à transição da miosina para o produto da otimização da piramutaba desidratada em solução ternária apareceu um pouco mais nítido do que para a actina e teve seu valor de temperatura de desnaturação,  $T_d=68,1^\circ\text{C}$ , deslocando-se para um valor mais baixo do que para o filé congelado e o produto obtido da otimização da solução binária. Essa diferença foi de 10,4 e 11,4°C em relação ao peixe congelado e o produto obtido da solução binária, respectivamente. No entanto, este valor ficou relativamente próximo ao obtido por Vivanco (2003), que foi na faixa de 71,77 - 72,87°C para a mesma proteína, também em solução de NaCl e sacarose. Monterrey-Quintero e Sobral (2000) explicam que essa redução na estabilidade da miosina ainda são difíceis de serem explicados, mas devem ser consequência da destruição de certas interações entre as miofibrilas, que tornavam essas proteínas mais estáveis termicamente.

Nesse contexto, sugere-se então, que para trabalhos futuros relacionados à secagem desse tipo de pescado utilizando como condições para desidratação as mesmas da otimização obtida para solução binária, se utilize temperaturas inferiores à 49,5 °C com intuito de preservar as proteínas do complexo actomiosina, tendo em vista que essa foi a temperatura de desestabilização da proteína mais suscetível, a actina. E para trabalhos futuros de secagem de filés de piramutaba utilizando solução ternária contendo NaCl e sacarose como pré-tratamento, nas condições utilizadas do processo de otimização deste trabalho, sugere-se que a temperaturas de secagem sejam inferiores à 53,8 °C para que sejam preservadas as proteínas do produto.

#### 4.7. ANÁLISE SENSORIAL

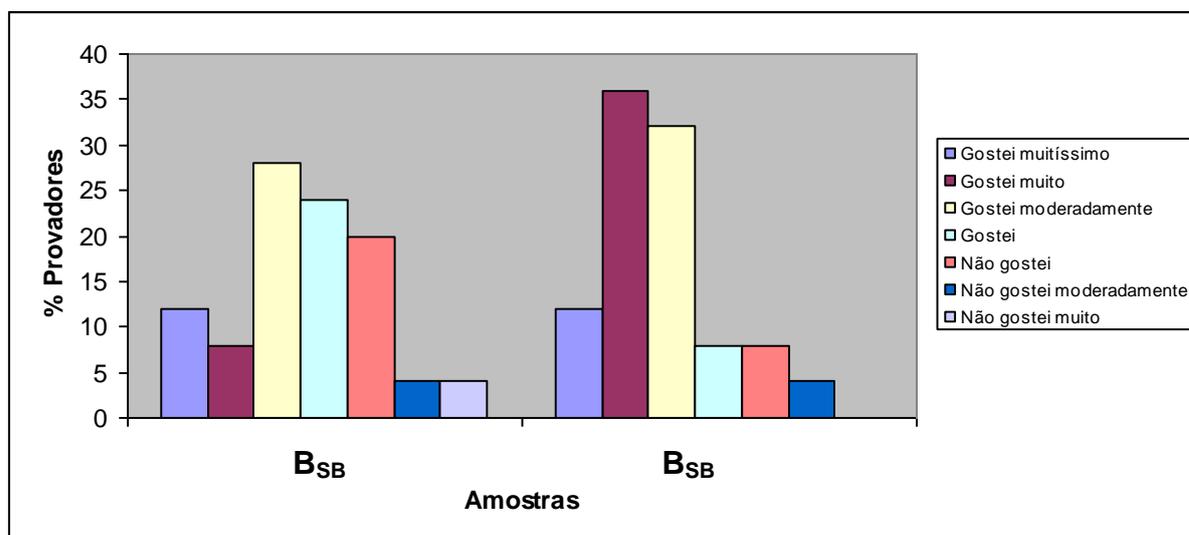
Os resultados obtidos no Teste de Aceitação, para o atributo sabor, do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária estão representados na Tabela 4.34.

**Tabela 4.34:** Caracterização sensorial para o atributo sabor do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária.

Bolinho	*B <sub>SB</sub>	**B <sub>ST</sub>
Aceitação (%)	68,9	80,4

\*B<sub>SB</sub> - Bolinho obtido do produto da otimização da desidratação osmótica de piramutaba em solução binária. \*\*B<sub>ST</sub> - Bolinho obtido do produto da otimização da desidratação osmótica de piramutaba em solução ternária.

A amostra B<sub>ST</sub> foi a que obteve melhor aceitação pelos provadores, obtendo como conceito mais atribuído 80,4% de aceitação. A amostra B<sub>SB</sub> foi considerada razoável, com conceito de 68,9%. Tal fato ocorreu em função do sabor acentuadamente salgado apresentado pela amostra B<sub>SB</sub> devido a concentração de sal na solução, fazendo com que tivesse alta incorporação deste soluto. A amostra (B<sub>SB</sub>) teve o conceito "gostei moderadamente" como mais atribuído para a maioria dos provadores e "gostei muito" para a amostra B<sub>ST</sub>, como mostrado na Figura 4.27.



**Figura 4.27:** Histograma do teste de frequência dos valores atribuídos à aceitação do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária.

A Tabela 4.35 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) para o atributo sabor do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária.

**Tabela 4.35:** Resultados da análise de variância (ANOVA) para o atributo sabor do bolinho obtido da otimização da desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária e ternária.

<b>Fonte da variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>S.M.Q.</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>
Provadores	24	135,28	5,63	16,91	1,98
Amostras	1	12,5	12,50	37,50	4,25
Resíduo	24	8	0,33		
Total	49	155,78			

Pela análise de variância (Tabela 4.35) observou-se que o valor de  $F_{\text{tabelado}}$  foi maior que o  $F_{\text{calculado}}$  mostrando existir diferenças significativas entre as amostras ao nível de 95% ( $p < 0,05$ ).

## 5. CONCLUSÃO

- A caracterização físico-química da piramutaba apresentou resultados próximos aos valores encontrados por outros autores, mostrando com isso, que o produto possui valores nutricionais recomendados para atender as necessidades diárias recomendadas.
- As amostras de piramutaba estudadas nesse trabalho estavam dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 2001), tanto no quesito das condições higiênico sanitárias como para os patogênicos.
- As condições ótimas escolhidas no processo de desidratação osmótica de filés de piramutaba em solução binária foi de 46°C, 22% de NaCl e 120 minutos para temperatura de processo, concentração da solução e tempo de imersão, respectivamente. Para a solução ternária, as condições ótimas foram temperatura de 46°C, concentração da solução com 12% de NaCl + 37% de sacarose e 130 minutos de imersão.
- Pela análise térmica, a temperatura de desnaturação da actina e miosina foram de 49,5°C e 79,5°C, respectivamente, para o produto da condição ótima da solução binária. Para o produto das condições ótimas da solução ternária os valores foram de 53,8°C e 68,1°C, respectivamente.
- Nas amostras avaliadas sensorialmente, o bolinho feito a partir do produto da otimização da solução ternária teve maior aceitabilidade com 80,4% da preferência dos julgadores em contrapartida aos 68,9% para a solução binária.

## **REFERÊNCIAS**

- ACKMAN, R.G. Nutritional Composition of fats in seafoods. **Progress in Food and Nutrition Science**, n. 13, p. 161-241, 1989.
- ADAMS, M. R.; MOSS, M. O. **MICROBIOLOGIA DE LOS ALIMENTOS**. Zaragoza: Acribia, 1997.
- ALMEIDA, O. T. **Indústria Pesqueira Na Amazônia**. Manaus: IBAMA/PROVARZEA, 2006.
- ALMEIDA, O. T.; ANDROCZEVECZ, S. **A novas espécies comerciais e novos produtos de pescado na Amazônia: as instituições de pesquisa e a indústria**. In: ALMEIDA, O. T. Indústria Pesqueira Na Amazônia, Manaus: IBAMA/PROVARZEA, 2006. *Documentos Técnicos: Estudos Estratégicos*.
- ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia punicifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- ANDRADE, R.; RAMON JUNIOR, ATLAS FOTOGRÁFICO DE ZOOLOGIA. Disponível em: < [www.nucleodeaprendizagem.com.br/posseo\\_anat1.jpg](http://www.nucleodeaprendizagem.com.br/posseo_anat1.jpg) >. Acessado em: 18/08/2007.
- AQUINO, K. F. Variabilidade genética da piramutaba *Brachyplatystoma vaillantii* (Siluriformes:Pimelodidae) no sistema Estuário-Amazonas-Solimões. **Biota Neotropica**. São Paulo: FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2006, v. 6, n.1.
- ARAUJO, E. A. F. **Estudo do Processo de Desidratação Osmótica e Secagem de Nectarina (*Prunus persica*)**. Campinas, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. A.O.A.C. (Washington, EUA). **Official methods of analysis**. 16<sup>o</sup> ed, 3rd rev, Washington, 1997.
- BADII, F.; HOWELL, N.K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage. **Food Hydrocolloides**. v. 16, p.313 – 319, 2002.

- BARBOSA JÚNIOR, J. L. **Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (*Cucúrbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota L.*)** utilizando metodologia de superfície de resposta. Campinas, 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FERNÁNDEZ-MOLINA, J. J.; ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; LÓPEZ-MALO, A.; CHANES, J. W. **Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas**. Rome: FAO, 2003, FAO Agricultural Services Bulletins - 149. Disponível em: < <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4358E/y4358e06.htm#bm06.1.1> >. Acessado em: 26/05/2007.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydrations Of Foods**. New York: Chapman & Hall, 1996.
- BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1996.
- BARTHEM, R.B.; GOULDING, M. **The catfish connection**. Biology and Resource Management in the Tropics Series. New York: Columbia University Press. 1997. 145 p.
- BEIRÃO, L. H.; TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; ESPÍRITO SANTO, M. L. P. **PROCESSAMENTO E INDUSTRIALIZAÇÃO DE MOLUSCOS**. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP “TECNOLOGIA PARA O APROVEITAMENTO INTEGRAL DO PESCADO”. **Resumos**. Campinas: ITAL, 2000, p. 38-84. Disponível em: <[http://www.acaq.org.br/arquivos/processamento\\_indust.doc](http://www.acaq.org.br/arquivos/processamento_indust.doc) >. Acessado em: 25/05/2007.
- BENTES, A. S.; SOUZA, H. A. L.; SIMÕES, M. G. Caracterização física e química da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) desembarcada em Belém-Pa. In: Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Pesquisa, 60, 2008, Campinas. **Anais**. São Paulo, 2005.
- BOHUON, P.; COLLIGNAN, A.; RIOS, G.M.; RAOULT-WACK, A.L. Soaking process in ternary liquids: Experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of food engineering**. v.37, p.451-469. 1998.
- BOTELHO, A. T. Causas da decomposição e sua refrigeração desde a captura - **Boletim da Pesca, Lisboa**, (106): 58-64, 1970.

- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics For Experimenters**. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- BOX, G.E.P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. **Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, Brasília, 10 de janeiro de 2001.
- BRASIL, Instrução Normativa MMA nº 6, de 7 de junho de 2004. **Estabelece o período de defeso para a pesca de arrasto de piramutaba (Brachyplatistoma vaillantii), limita a frota pesqueira que opera na captura de piramutaba e outros bagres (ordem Siluriforme) na Foz dos Rios Amazonas e Pará e dá outras providências**. D. O. U. Brasília, DF, 7 de junho de 2004.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Portaria nº 185 de 13 de maio de 1997. **Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e Eviscerado)**. Publicado no Diário Oficial da União de 19/05/1997, Seção 1, Página 10282.
- CAMARGO, A. C. **Conservação de alimentos**. Disponível em: <[http://www.cena.usp.br/irradiacao/cons\\_alim.html](http://www.cena.usp.br/irradiacao/cons_alim.html)>. Acessado em: 25/05/2007.
- CARDOSO, J. M. B. **A pesca como alternativa para o desenvolvimento econômico do município de Calçoene com a implantação de um distrito industrial**. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação para obtenção de Especialização em Gestão Empresarial e de Negócios) – Faculdade de Macapá (FAMA). Macapá-AP. Disponível em: <[http://www.virtual.vserver.com.br/tcc\\_passarinho.doc](http://www.virtual.vserver.com.br/tcc_passarinho.doc)>. Acessado em: 14/02/2008.
- CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L. Aminoácidos, peptídeos y proteínas. **Química de los alimentos**. Departamento f Food Science, University of Wisconsin-Madison; O. R. Fennema, Director; Editorial Zaragoza, 1984.

- COLATO, A.G.; ALVES, D.G.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). **Journal of Food Engineering**, v.84 p. 375–382, 2008.
- COLEMAN, N. J.; CRAIG, D. Q. Modulated temperature differential scanning calorimetry : A novel approach to pharmaceutical thermal analysis. **Internacional Journal of Pharmaceutics**, v. 135, p. 13-29, 1996.
- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 153 – 162, 2001.
- COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L. Dewatering and salting of cod by emmersion in concentrated sugar/salt solutions. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, v. 27, 259-264, 1994.
- DE MEUTER, P.; RAHIER, H.; VAN MELE, B., The use of modulated temperature differential scanning calorimetry for the characterisation of food systems. **International Journal of Pharmaceutics**. v. 192, p.77–84,1999.
- EMBRAPA. **VIA SATÉLITE**. Boletim Informativo da Embrapa Monitoramento por Satélite. Ano8, n.6, Novembro/Dezembro de 2000. Disponível em: < <http://www.cnpm.embrapa.br/vs/vs0806.html>>. Acessado em: 29/08/2007.
- FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993
- FERRARI, C. C. **Estudo da Transferência de Massa e Qualidade do Melão Desidratado Osmoticamente em Soluções de Sacarose e Maltose**. Campinas - SP, 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- FERREIRA, J. A.; ROSS JUNIOR, I. G.; FERNANDES, L. M.; RANGEL, M. S.; CALÇADA, L. A.; MANCINI, M. C. Desidratação osmótica de fatias de chuchu (*sechium edule*, sw.) Em soluções hipertônicas de sacarose: Avaliações experimentais e modelagem matemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6, 2005, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2005. p. 1 – 6.
- FILGUEIRAS, L. G. **Determinação da vida de prateleira de filés congelados de piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*, VALENCIENNES, 1840)**. Manaus – AM, 2002. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas.

- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: ATHENEU, 1996.
- FRAZIER, W. C.; WESTHOFF, D. C. **MICROBIOLOGIA DE LOS ALIMENTOS**. Zaragoza: Acribia, 1991.
- FRÉDOU, F. L.; PINHEIRO, L. A. Caracterização Geral da Pesca Industrial Desembarcada No Estado Do Pará. **Revista Científica da UFPA**. Belém: UFPA, ed. 4, Abril de 2004. Disponível em: <<http://www2.ufpa.br/rcientifica/cabecalho.php?conteudo=10.4>>. Acessado em: 17/05/2007.
- FURUKAWA, V.A.; SOBRAL, P. J. A.; HABITANTE, A.M.; GOMES, J. D. F. Análise térmica da carne de coelhos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 24(2): 265-269, abr.-jun. 2004.
- GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, v.82, p. 284–291. 2007.
- GELLI, D. S. Análise microbiológica de pescado marinho. In: Seminário sobre Controle de Qualidade na Indústria de Pescado, 1988, SANTOS. **RESUMOS**. SANTOS, 1988. p. 61.
- GRAM, L.; HUSS, H. H. Microbiological spoilage of fish products. In: VENUGOPAL, V.DOKE, S. N. THOMAS, P. Radiation processing to improve the quality of fishery products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 39, n. 5, p. 391-440, 1999.
- GUTIERREZ, L.E.; SILVA, R.C.M. da. Fatty acid composition of commercially important fish from Brazil. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 50, n. 3, 1993.
- HASTINGS, R.J.; RODGER, G.W.; PARK, R.; MATTHEWS, Q . D . ; ANDERSON, E.M. Differential scanning calorimetry of fish muscle: the effect of processing and species variation. **Journal of Food Science**, v.50, p.503-510, 1985.
- HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.
- HUBINGER, M. D. FEA é referência em melhoria de alimentos. **Jornal da UNICAMP** São Paulo, n. 249, abril/maio, 2004. Entrevista concedida a Antonio Roberto Fava.

- IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. **Estatística da Pesca 2005: Brasil**. Brasília, 2007.
- JOKIĆ, A.; GYURA, J.; LEVIĆ, L.; ZAVARGO, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**. v.78, p. 47–51, 2007.
- JUNQUEIRA, L. C. V.; CARNEIRO, J. Trocas entre a célula e o meio – Digestão intracelular. In: **Biologia Celular**, cap. 5, p. 88 – 113, 1977.
- KAI, M.; MORAIS, C. de. 1988. **Vias de deterioração do pescado**. In: Seminário sobre Controle de Qualidade na Indústria de Pescado, p.13, ITAL. Santos, SP.
- LEITÃO, M. F. Microbiologia do pescado e controle sanitário no processamento. **Boletim do ITAL**, n. 50, p.1-35, 1977.
- LEITÃO, M. F. Microbiologia do pescado salgado. **Coletânea do ITAL** – Campinas (13), p.123-130. 1983.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**. v.14, n. 2, p.391-413, 1996.
- LISTON, J. Fish and shellfish and their products. In: ICMSF, MICROBIAL ECOLOGY OF FOODS. v.II. **Food Commodities**. New York: Academic Press, 1980, p. 567-605.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft and – Technologie (LWT)**, v.18(2), p.111-117, 1985.
- MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; CAMACHO, M.M.; Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**. ed. 35, p. 307–313, 2002.
- MASTRANGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 80, p. 769-776, 2000
- MCKENNA, G. B.; ALLEN, G.; BEVINGTON, J. C. **Comprehensive Polymer Science**; vol. 2, Pergamon Press: Oxford, 1989, p. 311.
- MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 87-96, 2001.

- MOLINA-FILHO, L.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; BARBOZA, S. H. R. influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (nacl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.26, n.2, abr/jun. 2006.
- MONTERREY-QUINTERO, E. S.; SOBRAL, P. J. A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.1, p. 179, 2000.
- MOTARJEMI, Y. **A study of some physical properties of water in foodtuffs. Water activity binding and water diffusivity in minced meats products**. Dissertation, June 1988. Departament of Food Engineeering Lund University, Lund, Sweden.
- MOURÃO, K. R.; LUCENA, F.; PINHEIRO, L. A. Caracterização preliminar da atividade pesqueira no município de Vigia. In: Simpósio: Amazônia, Cidades e Geopolítica das Águas, 1, 2003, Belém. **Anais**. Belém, 2003. 277 páginas. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/projetomegam/anais/Grupo03.pdf>>. Acessado em: 30/05/2006.
- MUJAFFAR, S; SANKAT, C. K. The mathematical modelling of the osmotic dehydration of shark fillets at different brine temperatures. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, p.405–416. 2006.
- NELSON, D. L.; COX, M.M. **Lehninger: Princípios de Bioquímica**. São Paulo: SARVIER, 3.ed, 2002.
- NOGUEIRA, W. M. **Surimi de resíduos de piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*, VALENIENNES, 1840) utilizado na elaboração de salsicha sabor camarão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação para obtenção de Grau em Engenharia de Pesca). Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. Belém – PA, 2000.
- OGAWA, M.; MAIA, E.L. **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. São Paulo: Varela, 1999.
- OZDEMIR, M.; OZEN B. F., DOCK, L.L.; FLOROS, J. D. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 2044-2050, 2008.

- PARK, J.W.; LAINER, T. C. Scanning calorimetric behavior of tilapia myosin and actin due to processing of muscle and protein purification. **Journal of Food Science**, v. 54, p. 49-51. 1989.
- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 35, 2006, João Pessoa, **PALESTRA**. João Pessoa, 2006. Disponível em: <<http://paginas.agr.unicamp.br/ctea/manuais/selprcequipsec.pdf>>. Acessado em: 20/05/2007.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 1, 2001.
- PESSATTI, M. L.; STORI, F. T.; KUHEN, J; LAÇAVA, L; BONILHA, L. D.; DESCHAMPS, F. C.; PESSATTI, T. L. P. **Aproveitamento dos Sub-Produtos do Pescado**. Revisão: Subprodutos do Pescado. 2001. Disponível em: < <http://siaiacad04.univali.br/download/pdf/Docpescado8.pdf> >. Acessado em: 24/05/2007.
- PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Difusividade efetiva de umidade na secagem de músculos de peixes. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO DE MEIOS POROSOS, 21, 1993, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte, 1993. v. 2, p. 466 – 476.
- PROVARZEA, Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea. **A vida da piramutaba e da Dourada**. Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea/IBAMA. Brasília: IBAMA, 2005.
- RAOULT- WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of food. **Trends in Food Science Technology**, v.5, p. 225-260, 1994
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, p.48–59, 2002.
- RIBEIRO, S.C.A. **Estudo do Processo de Desidratação Osmótica e Secagem de Filés de Mapará (*Hypophthalmus Edentatus*)**. Campinas, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- RODRIGUES , M. S. M.; RODRIGUES, L. B.; CARMO, J. L.; JÚNIOR, W. B. A.; PATEZ, C. Aproveitamento Integral do Pescado com Ênfase na Higiene, Manuseio, Cortes, Salga e Defumação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2, 2004, Belo Horizonte. **ANAIS**. Belo Horizonte, 2004.
- ROOS, Y.H., KAREL, M., KOKINI, J.L.. Glass transitions in low moisture and frozen foods: effect on shelf life and quality. **Food Technol.** v. 50, 95–108. 1996.
- RUITER, A. **EI PESCADO Y LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA PESCA: Composición, propiedades nutritivas y estabilidad**. Zaragoza: Acribia, 1995
- SALES, R. O.; OLIVEIRA, J. A. P.; COSTA, F. J. L.; SALES, A. M. Avaliação do estado de frescor do pescado capturado em água doce e mantido sob refrigeração, no açude de oros, ceará. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 19, ed. 2, p. 109-115. 1988 (Dezembro).
- SANCHES, L. **Pescado: matéria-prima e processamento**. Fundação Cargil, Campinas, 1989. 61 p.
- SANTOS, C. A. M. L. A QUALIDADE DO PESCADO E A SEGURANÇA DOS ALIMENTOS. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE PESCADO – SIMCOP, 2, 2006. São Paulo. **ANAIS**. São Paulo, 2006. Disponível em: < ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/qualidade\_pescado.pdf>. Acessado em: 24/05/2007.
- SANTOS, G.; FERREIRA E.; ZUANON, J. **Peixes comerciais de Manaus**. Manaus: IBAMA/AM, ProVárzea, 2006.
- SILVA, M. A.; DE PAOLI M. A.; FELISBERTI, M. I.; Flory-Huggins interaction parameter of poly(ethylene oxide)/poly(epichlorohydrin) and poly(ethylene oxide)/poly(epichlorohydrin-co-ethylene oxide) blends. **Polymer**. Vol. 39, ed. 12 p. 2551 – 2556, 1998.
- SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 25, n. 3, p. 414-416, dezembro 2003.
- SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, set./out., 2005. Disponível em: < http://www.editora.ufla.br/revista/29\_5/art16.pdf>.

- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. Dupas. Study of osmotic dehydration of tomato in ternary solutions through response surface methodology. **Ciênc. Technol. Aliment.**, Campinas, v. 26, n. 3, 2006.
- TORREGGIANI, D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. **Food Research International**, v.26, p. 59-68, 1993.
- VIVANCO, M. L. M. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- VIVANCO, M. L.; SOBRAL, P. J. do A.; HUBINGER, M. D. Kinetic Aspects of Salting Tilapia Fillets Using Small Volumes of Brine. **Brazilian Journal Food Technol.**, v.9, n.1, p. 9-17, jan./mar. 2006.
- WANG, D.; TANG, J.; CORREIA, L. Salt diffusivities and salt diffusion in farmed atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 115- 123, 2000.