



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

**PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE
VÁCUO E SECAGEM CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

BELÉM – PARÁ
2015



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

MAYARA GALVÃO MARTINS

**PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE
VÁCUO E SECAGEM CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, como um requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

BELÉM – PARÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Martins, Mayara Galvão, 1990-

Processo combinado de desidratação osmótica com pulso de vácuo e secagem convectiva do filé de pirarucu (arapaima gigas) / Mayara Galvão Martins. - 2015.

Orientador: Rosinelson da Silva Pena.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2015.

1. Pirarucu (peixe)- desidratação. 2. Desidratação- Alimentos. 3. Peixe- desidratação.
I. Título.

CDD 22. ed. 664.944

MAYARA GALVÃO MARTINS

PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO E SECAGEM CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU (*Arapaima gigas*)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, como um requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

Data de Avaliação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
(FEA/ITEC/UFPA – Orientador)

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

Prof^a. Dr^a. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro
(DETA/UEPA – Membro)

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

Aos meus pais Claudia e Nivaldo, minha irmã
Déborah e minha avó Dina que sempre estiveram
presentes em todos os momentos da minha vida;
dedico com carinho.

AGRADECIMENTOS

A deus, por ter colocado tantas pessoas especiais em meu caminho, que foram fundamentais para finalização dessa pesquisa, por estar ao meu lado em todos os momentos e me mostrar diariamente ao longo dessa caminhada que não existe coincidência e sim divina providência, que não existe acaso e sim planos do Senhor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos. Ao FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e ao SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) pelo suporte financeiro (028/2010).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena, por sempre ter acreditado e confiado no meu potencial, pelos ensinamentos, pelos momentos de descontração, pelas palavras de conforto e incentivo, pelas sugestões, críticas e atenção dispensada ao longo desses anos em que trabalhamos juntos.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Antonio Rodrigues, Dr. Eder Araujo e Dr^a. Suezilde Ribeiro, pelas valorosas contribuições. Em especial, ao Dr. Antonio Rodrigues (FEA/ITEC/UFPA) pela colaboração nos experimentos de secagem.

Aos técnicos do Laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos, S. Mário Carneiro e a D. Rosa, por todo o suporte durante a realização do trabalho.

À todos da família LAFAMI, onde dei meus primeiros passos na vida acadêmica. Em especial, a minha grande amiga Brenda Brito, que sempre esteve ao meu lado e que sempre foi e será uma referência para mim.

Aos membros dos laboratórios: LAOS, LAMEFI, LAPESCA e GEAAp e seus respectivos professores coordenadores, por todo suporte fornecido ao desenvolvimento desta pesquisa. Em especial, agradeço pela amizade, incentivo, paciência e colaboração, aos colegas: Cesar Mesquita, Adriane Lago, Rebeca Costa, Robson Carvalho, Wanessa Araújo, Luã Oliveira, Rafaela Cristina e Robson Brito.

Aos meus pais, Nivaldo e Claudia, por nunca medirem esforços para que eu conquistasse meus objetivos, pela compreensão nos momentos em que estive ausente, pelo amor incondicional, pela educação que me deram e por sempre me guiarem no caminho da retidão.

A minha vó Dina, por toda paciência e carinho, por sempre estar ao meu lado, por sempre ter me incentivado a estudar e a lutar por meus objetivos, me dando apoio nas horas difíceis. Minha eterna gratidão, amor e admiração!

A minha irmã, Déborah Elena, agradeço com profunda admiração, pela paciência que sempre teve comigo, por me ajudar nos momentos de dificuldades, por ser minha referência de ser humano e profissional.

Ao meu namorado, Jhon Deivid, por toda dedicação, carinho e apoio, por sempre me incentivar nos meus momentos de fraqueza, por iluminar meus dias tornando-os mais felizes.

Aos meus anjinhos, Luppy, Nicky e Pitty, pelos momentos de alegria, tranquilidade e amor incondicional que compartilhamos diariamente.

A toda minha família, meus avós, tios e primos, por todo o apoio e incentivo.

Aos amigos Yuichi Takeda, Jaqueline Moraes, Fernanda Wariss, Adriano Marçal, Verônica Bezerra, Francileni Gomes, Leonardo Pessoa, Rogério Vieira, Thais Souza e todos da Pastoral da Criança, pelos anos de amizade, pelos momentos de descontração, pela paciência e pelos inúmeros ensinamentos que dividimos.

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

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi estudar o processo de desidratação osmótica (OD) do filé de pirarucu (*Arapaima gigas*) em solução binária (NaCl-água), com aplicação de pulso de vácuo e a secagem convectiva complementar. A composição centesimal e de minerais dos quatro principais cortes do músculo do pirarucu (dorso, ventre, ventrecha e cauda) foram determinadas. Os perfis de aminoácidos e de ácidos graxos também foram obtidos. Filés da região dorsal do peixe, no formato de placa plana (6 cm x 2 cm x 1 cm), foram submetidos à OD, segundo um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} , e posteriormente a um delineamento composto central rotacional 2^3 , para avaliar os efeitos das variáveis de processo: temperatura (10-40°C), concentração da solução osmótica (10-25% NaCl), pressão de pulso de vácuo (7-101 kPa) e tempo de pulso de vácuo (10-90 min), sobre as respostas: perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água (a_w). O pirarucu osmoticamente desidratado foi seco a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C, em secador de leito fixo, com velocidade do ar de 1,5 m/s, e para o produto desidratado e seco foram obtidas isotermas de sorção de umidade a 25°C. Foram avaliados os ajustes de modelos matemáticos aos dados de OD, de secagem e de sorção de umidade. O dorso, o ventre e a cauda do pirarucu apresentaram composição centesimal semelhante, tendo a proteína como constituinte majoritário, enquanto a ventrecha apresentou maiores teores de proteínas e de lipídios, e a menor umidade. Potássio, sódio e magnésio foram os minerais mais abundantes em todos os cortes do peixe. A fração proteica do pirarucu é constituída por aproximadamente 50% de aminoácidos essenciais, com destaque para a lisina; enquanto a fração graxa apresentou 43% de ácidos graxos saturados, 49% de monoinsaturados e 8% de poli-insaturados, sendo o ácido oleico o majoritário. Através da metodologia de superfície de resposta e da função desejabilidade foram definidas como condições operacionais ótimas para o processo de OD do filé de pirarucu: 35°C, solução osmótica com 25% NaCl e pressão atmosférica. Nesta condição operacional foram observados PA de $14,87 \pm 1,46\%$, GS de $8,56 \pm 0,45\%$ e $0,87 \pm 0,02$ de a_w . O processo apresentou uma difusividade efetiva (D_{eff}) de $3,59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para PA e de $3,49 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para GS. O aumento das taxas de perda de água, durante a secagem do pirarucu osmoticamente desidratado, foi mais evidente nos menores níveis de temperatura (40-50°C), com variação da D_{eff} de $10,85 \times 10^{-9}$ a $12,30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. As isotermas de sorção de umidade indicaram que o filé de pirarucu osmoticamente desidratado não deve ser seco em níveis de umidade inferiores a 5,7 g H₂O/100 g e que o produto seco já terá estabilidade microbiológica garantida quando apresentar 12,3 g H₂O/100 g de umidade. Os modelos de Azuara e Peleg se mostraram eficientes na predição das cinéticas de PA e de GS durante a OD do filé de pirarucu. Por sua vez, o modelo de Page estimou com excelente precisão as cinéticas de secagem e o modelo de GAB apresentou boa estimativa para as isotermas de sorção de umidade do produto.

Palavras-chave: *Arapaima gigas*, desejabilidade, leito fixo, higroscopicidade, modelagem.

ABSTRACT

This research aimed to study the osmotic dehydration process (OD) of arapaima (*Arapaima gigas*) fillets in binary solution (NaCl-water), with the application of vacuum pulse and complementary convective drying. The chemical and mineral compositions for four different arapaima muscle parts (dorsal, abdominal, ventral abdominal muscle and tail) were determined. Amino acids and fatty acids profiles were also obtained. Fillets from the dorsal portion of the fish, in slab format (6 cm x 2 cm x 1 cm) were submitted to OD, following a fractional factorial design 2^{4-1} , and then to a central composite rotational design 2^3 , in order to evaluate the effect of the process parameters: temperature (10-40 °C), osmotic solution concentration (10-25% NaCl), vacuum pulse pressure (7-101 kPa) and vacuum pulse duration (10-90 min), related to the responses: water loss (WL), solid gain (SG) and activity water (a_w). The osmotically dehydrated arapaima was dried to 40 °C, 50 °C, 60 °C and 70 °C, in a fixed-bed dryer, with airflow velocity of 1.5 m/s. Moisture sorption isotherms were obtained at 25 °C, for the dehydrated and dried product. We evaluated the fitting of mathematical models to OD, drying and moisture sorption data. The dorsal, abdominal and tail portions of arapaima showed similar chemical composition; protein was the major constituent, while the ventral abdominal muscle presented major content of proteins and lipids and reduced moisture. Potassium, sodium and magnesium were the most abundant minerals for all considered portions. The protein fraction shows approximately 50% of essential amino acids, especially lysine; while the fat fraction presented 43% of saturated, 49% of monounsaturated and 8% of polyunsaturated fatty acids, especially oleic acid. Applying the response surface methodology and desirability function, we defined as optimum operating conditions for arapaima fillets OD: 35 °C, osmotic solution with 25% NaCl and atmospheric pressure. For this operating condition, we observed: $14.87 \pm 1.46\%$ of PA, $8.56 \pm 0.45\%$ of GS, 0.87 ± 0.02 of a_w . The process presented an effective diffusivity (D_{eff}) of $3.59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ for WL and $3.49 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ for SG. The increase in water loss rates, during the drying of osmotically dehydrated arapaima, was more evident with lower temperatures (40-50 °C), with D_{eff} from 10.85×10^{-9} to $12.30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. The moisture sorption isotherms indicated that the drying process of arapaima fillets osmotically dehydrated should not be conducted to obtain moisture level lower than 5.7 g H₂O/100 g and that the dried product will present microbiological stability when it reaches 12.3 g H₂O/100 g of moisture. Azuara and Peleg models were effective in predicting PA and GS kinetics during arapaima fillets OD. Page model estimated with excellent precision the drying kinetics and GAB model presented good estimate for the product moisture sorption isotherms.

Keywords: *Arapaima gigas*, desirability function, fixed-bed dryer, hygroscopicity, modelling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista lateral de um exemplar de Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>).....	17
Figura 2. Transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.....	25
Figura 3. Representação esquemática do dispositivo utilizado na realização dos experimentos de desidratação osmótica.	36
Figura 4. Detalhe dos cortes realizados no músculo do pirarucu: (A) dorso, (B) ventre, (C) ventrecha e (D) cauda.....	37
Figura 5. Superfícies de resposta e curvas de nível para PA relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa), (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl) e (c) pressão do pulso e concentração ($T = 30^{\circ}\text{C}$).	64
Figura 6. Superfícies de resposta e curvas de nível para GS relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa) e (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl).	65
Figura 7. Superfícies de resposta e curvas de nível para a_w , relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa), (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl) e (c) pressão do pulso e concentração ($T = 30^{\circ}\text{C}$).	66
Figura 8. Perfil dos valores preditos/otimizados e da desejabilidade para o delineamento composto central rotacional aplicado ao processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu.	67
Figura 9. Cinética de PA, GS e a_w durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu, na condição otimizada ($T = 35^{\circ}\text{C}$, $C = 25\%$ NaCl e $P = 101$ kPa).....	68
Figura 10. Ajuste dos modelos propostos por Azuara et al. (1992) e Peleg (1988) aos dados da cinética de PA (a) e GS (b), durante o processo de desidratação osmótica de filé de pirarucu.	70
Figura 11. Curvas de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente, para secagens realizadas a 40°C , 50°C , 60°C e 70°C	71
Figura 12. Curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco a 40°C (a), 50°C (b), 60°C (c) e 70°C (d) e as curvas preditas pelos modelos de Page e de Midilli.	74
Figura 13. Isotermas de sorção de umidade do pirarucu osmoticamente desidratado e seco.	75

Figura 14. Isotermas de (a) adsorção e (b) dessorção de umidade, do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco, experimentais (marcadores) e preditas pelo modelo de GAB (linha). 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal do pirarucu, segundo diferentes autores.	22
Tabela 2. Níveis codificados e originais das variáveis independentes utilizadas no planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo do filé de pirarucu.	40
Tabela 3. Níveis codificados e originais das variáveis independentes utilizadas no delineamento composto central rotacional 2^3 do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo do filé de pirarucu.	42
Tabela 4. Modelos matemáticos usados no ajuste da cinética de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente.	48
Tabela 6. Avaliação microbiológica do músculo de pirarucu <i>in natura</i>	51
Tabela 7. Composição centesimal dos diferentes cortes do músculo de pirarucu.	51
Tabela 8. Composição mineral dos diferentes cortes do músculo de pirarucu.	53
Tabela 9. Perfil de aminoácidos na região dorsal do pirarucu.	54
Tabela 10. Perfil de ácidos graxos na ventrecha do pirarucu.	56
Tabela 11. Resultados para PA, GS e a_w obtidos experimentalmente para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu segundo o planejamento fatorial fracionário.	57
Tabela 12. Efeito estimado, coeficiente ' t ' e coeficiente ' p ' para PA, GS e a_w na desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu segundo o planejamento fatorial fracionário.	58
Tabela 13. Níveis dos fatores utilizados no delineamento composto central rotacional para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu.	59
Tabela 14. Resultados para PA, GS e a_w obtidos experimentalmente para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu, segundo o delineamento composto central rotacional.	60
Tabela 15. Efeito estimado, coeficiente ' t ' e coeficiente ' p ' para PA, GS e a_w na desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu, segundo o delineamento composto central rotacional.	61
Tabela 16. ANOVA para PA, GS e a_w durante desidratação osmótica do filé de pirarucu com aplicação de pulso de vácuo, segundo o delineamento composto central rotacional.	62

Tabela 17. Valores dos parâmetros estimados para os modelos propostos por Azuara et al. (1992) e Peleg (1988) ajustados aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica de filé de pirarucu, e dos parâmetros estatísticos dos ajustes.	70
Tabela 18. Valores dos coeficientes de difusão (D_{eff}) e dos coeficientes de determinação (R^2) para as diferentes condições de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente.	71
Tabela 19. Valores dos parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, para secagem a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL.....	16
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. PIRARUCU	17
3.1.1. Considerações gerais	17
3.1.2. Aspectos legais	18
3.1.3. Importância econômica	19
3.1.4. Composição química	20
3.2. ALTERAÇÕES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS EM PESCADOS	22
3.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	25
3.3.1. Fundamentos do processo	25
3.3.2. Fatores limitantes	27
3.3.3. Métodos de desidratação osmótica.....	32
3.4. SECAGEM	33
3.5. SORÇÃO DE UMIDADE.....	34
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1. MATERIAL	36
4.1.1. Matéria prima	36
4.1.2. Equipamento utilizado na desidratação osmótica	36
4.2. MÉTODOS	37
4.2.1. Preparo da amostra	37
4.2.2. Avaliação microbiológica da matéria prima	37
4.2.3. Caracterização físico-química da matéria prima	37
4.2.4. Desidratação osmótica com a aplicação de pulso de vácuo (PVOD)	39
4.2.5. Delineamento experimental	40
4.2.6. Cinética da desidratação osmótica.....	43
4.2.7. Cálculo da difusividade para a desidratação osmótica	43
4.2.8. Modelagem matemática da desidratação osmótica	44
4.2.9. Secagem	47
4.2.10. Cálculo da difusividade efetiva para a secagem	47

4.2.11. Modelagem matemática das curvas de secagem.....	48
4.2.12. Obtenção das isotermas de sorção de umidade.....	49
4.2.13. Análise estatística.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA PRIMA	51
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU.....	51
5.3.1. Planejamento fatorial fracionário.....	57
5.3.2. Planejamento fatorial completo	59
5.3.3. Cinética da desidratação osmótica.....	68
5.3.4. Modelagem matemática da cinética de desidratação osmótica	69
5.4. SECAGEM	71
5.4.1. Cinética de secagem.....	71
5.4.2. Modelagem matemática das curvas de secagem.....	72
5.5. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE	74
6. CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande potencial pesqueiro, com enorme diversidade de espécies, porém apenas parte delas tem sido explorada e comercializada em mercados e feiras-livres, causando uma sobre-exploração de determinados estoques pesqueiros (JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007). Dentre essas espécies destaca-se o pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), considerado uma das maiores espécies da ictiofauna de água doce do planeta, pois pode alcançar até 3 m de comprimento e pesar 200 kg (VERÍSSIMO, 1895; PEREIRA-FILHO; ROUBACH, 2005; CASTELLO, 2008 a, b; TORRES et al., 2008).

O pirarucu está entre as cinco espécies mais cultivadas e comercializadas na Amazônia, representando um recurso de grande importância econômica e ecológica para as populações das diversas regiões onde é encontrado. Isto tem motivado o interesse crescente de piscicultores para sua exploração comercial (FERRARIS JR., 2003; PEREIRA-FILHO; ROUBACH, 2005; JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007; TORRES et al., 2008; CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011).

O músculo de pescado constitui uma importante fonte de proteínas de alto valor biológico e elevada digestibilidade. Apesar da elevada importância nutricional, o pescado é um alimento altamente perecível devido ao seu pH próximo a neutralidade, a elevada atividade de água e a microflora natural potencialmente deterioradora (GASPAR; VIEIRA; TAPIA, 1997; SILVA; MATTÉ; MATTÉ, 2008). Diante disso, a utilização de métodos alternativos de conservação é de extrema importância e devem ser escolhidos de tal forma que após o tratamento o produto conserve ao máximo suas características sensoriais e nutricionais, bem como atenda aos requisitos de segurança alimentar (OGAWA; MAIA, 1999).

A desidratação osmótica (OD) consiste na remoção parcial da água de um alimento, baseado na imersão do mesmo em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, o que origina basicamente dois fluxos simultâneos e opostos: saída de água do produto para a solução e migração de solutos da solução para o produto (TORREGGIANI, 1993; TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006).

Autores como Corzo, Bracho e Marjal (2006a,b) e Corzo et al. (2007) destacam a aplicação de vácuo como uma alternativa para o melhoramento de processos osmóticos difusivos. O uso de vácuo no processo de desidratação osmótica ainda é pouco explorado para peixes, diferentemente do que ocorre com frutas e vegetais. A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) ocorre em condições de pressão sub-atmosférica, durante certo período de tempo (pulso de vácuo), seguido de um período à pressão atmosférica. Em geral, o

objetivo do processo é maximizar a perda de água, e ao mesmo tempo, minimizar o ganho de sólidos no produto.

A aplicação de pulso de vácuo, por um curto período, no início do processo de desidratação osmótica, promove modificações na estrutura, que associadas à evacuação dos gases ocluídos, aumentam as taxas de transferência de massa (FITO, 1994; FITO et al., 2001; MAROUZÉ et al., 2001). Em relação à desidratação osmótica convencional, a PVOD promove ainda o aumento da área interfacial sólido/líquido, a promoção de perfis de concentração mais homogêneos no produto, a melhoria da qualidade do produto final e a redução de gastos energéticos (LOMBARD et al., 2008; FANTE et al., 2011).

A PVOD como pré-tratamento para processos de secagem tem sido utilizada visando minimizar os efeitos adversos que podem ocorrer quando o produto é submetido diretamente à secagem (LOMBARD et al., 2008; FANTE et al., 2011). A secagem convectiva consiste na remoção de parte da umidade contida no interior do produto, por meio da evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, onde ocorrem simultaneamente os processos de transferência de calor e massa (RASTOGI et al., 2002; MAYOR; SERENO, 2003; KUDRA; MUJUMDAR, 2009).

A combinação da OD com a secagem tem sido apontada como uma alternativa econômica e segura para a conservação de produtos alimentícios. O processo possibilita a obtenção de produtos desidratados com melhores características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais, quando comparado com produtos submetidos à secagem direta (BRANDÃO et al., 2003; KLEWICKI; UCZCIWEK, 2008; CORRÊA et al., 2011; FANTE et al., 2011; LI et al., 2012; PHISUT, 2012). Ademais, contribui para a redução de custos de embalagem, transporte e armazenamento, devido a redução do volume do produto desidratado (ARAYA-FARIAS; RATTI, 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar o processo de desidratação osmótica (OD) do filé de pirarucu (*Arapaima gigas*) em solução binária (NaCl-água), com aplicação de pulso de vácuo, e a secagem convectiva complementar do produto osmoticamente desidratado.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar a caracterização físico-química dos diferentes cortes do pirarucu (dorso, ventre, ventrecha e cauda);
- Aplicar um planejamento fatorial fracionário para identificar as variáveis com maior influência na desidratação osmótica com pulso de vácuo do filé de pirarucu;
- Aplicar um delineamento composto central rotacional do tipo 2^3 , visando definir condições ótimas para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu com aplicação de pulso de vácuo, com as variáveis definidas previamente através de um planejamento fracionário;
- Obter e modelar matematicamente a cinética de desidratação osmótica do filé de pirarucu, na condição ótima de processo;
- Obter e modelar matematicamente a cinética da secagem convectiva do filé de pirarucu desidratado osmoticamente na condição otimizada;
- Avaliar o comportamento higroscópico do filé de pirarucu desidratado/seco através das isothermas de sorção de umidade.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. PIRARUCU

3.1.1. Considerações gerais

Dentre as diversas espécies de peixes nativos da Bacia Amazônica, destaca-se o pirarucu (Figura 1), *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), da família Arapaimatidae e da ordem dos Osteoglossiformes. Esse peixe representa um recurso de grande importância econômica e ecológica para as populações das diversas regiões onde pode ser encontrado, visto que tem elevado valor comercial e representa uma importante fonte de proteínas e de renda (FERRARIS JR., 2003; JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007; CASTELLO, 2008 a,b; CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011).



Figura 1. Vista lateral de um exemplar de Pirarucu (*Arapaima gigas*).

Fonte: STEWART (2013)

Considerado uma das maiores espécies da ictiofauna de água doce do planeta, pois pode alcançar 3 m de comprimento e pesar 200 kg, o pirarucu é um piscívoro que habita ambientes lacustres das bacias Araguaia-Tocantins, Amazônica e do Orinoco, com registros de ocorrência no Brasil, Peru, Colômbia, Equador e Guiana (VERÍSSIMO, 1895; IMBIRIBA, 2001; CASTELLO, 2004; TORRES et al., 2008; CURREY, 2010; NÚÑEZ et al., 2011).

O pirarucu possui algumas particularidades, como a língua óssea e a presença de dois aparelhos respiratórios: as brânquias, para a respiração aquática, convencional em peixes, e a bexiga natatória modificada, especializada para funcionar como pulmão, durante a respiração aérea, que representa um processo vital, onde ar atmosférico é utilizado para a realização das trocas gasosas (QUEIROZ; SARDINHA, 1999; ARAÚJO et al., 2009; ARANTES et al., 2010).

Além da atenção para o manejo na natureza, pesquisas estão sendo direcionadas para a criação do pirarucu, e indicam seu alto potencial para o cultivo em cativeiro, devido à elevada qualidade de seu músculo, o alto valor agregado e por apresentar diversas características propícias para esse cultivo, tais como: alta taxa de crescimento (até 10 kg no primeiro ano),

elevada rusticidade ao manuseio, adaptabilidade à alimentação artificial e elevado aproveitamento da carcaça (51-57%). Além desses fatores, esta espécie pode ser criada em regime semi-intensivo ou intensivo, destacando-se a criação intensiva em virtude da respiração aérea, que facilita a criação em ambientes com elevada densidade de estocagem, baixas concentrações de oxigênio e altas concentrações de amônia dissolvida na água (IMBIRIBA, 2001; CAVERO et al., 2003a,b; PEREIRA-FILHO et al., 2003; CAVERO et al., 2004; TAVARES-DIAS et al., 2007).

Da mesma forma que muitos peixes de interesse comercial apresentam disfunções reprodutivas quando criados em cativeiro (ZOHAR; MYLONAS, 2001), o pirarucu possui aspectos do comportamento reprodutivo complexos, que envolvem a formação de casais monogâmicos, a construção de ninhos e o cuidado parental. Sabe-se que a espécie atinge a maturidade sexual após o quarto ou quinto ano de vida e que a fecundação e o desenvolvimento dos ovócitos ocorrem em ambiente externo, onde a fêmea é capaz de produzir cerca de 11.000 alevinos por desova (IMBIRIBA, 2001; CASTELLO, 2008b; TORRES et al., 2008; CHU-KOO et al., 2009; ARANTES et al., 2010).

Apesar de todas as vantagens do cultivo do pirarucu em cativeiro, os conhecimentos necessários à sua produção comercial sustentável ainda não foram consolidados. Uma das dificuldades da criação do pirarucu é a produção de juvenis, visto que ainda não se tem o domínio da biologia reprodutiva da espécie, além da alta mortalidade das larvas. Nesse ramo da cadeia produtiva, algumas tecnologias foram desenvolvidas, principalmente no que se refere à sobrevivência e tolerância às condições adversas, treinamento alimentar e exigências proteicas dos peixes nessa fase de vida (CRESCÊNCIO, 2001; CAVERO et al., 2004; CRESCÊNCIO et al., 2005; ITUASSÚ et al., 2005; CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011).

3.1.2. Aspectos legais

A exploração comercial do pirarucu iniciou no século XVIII, por ser um substituto alternativo para o bacalhau (*Gadus morhua*) salgado/seco. Na década de 1970, devido à intensa exploração comercial, a população dessa espécie entrou em declínio. Com isso, desde 1975 o pirarucu foi colocado na lista do anexo II da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES), de acordo com a qual sua exploração só pode acontecer de forma controlada e regulamentada (CASTELLO; STEWART, 2010).

A partir dos anos 90, medidas legais de proteção ao pirarucu na Bacia Amazônica foram implementadas, na tentativa de recuperar os estoques locais. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) estabeleceu um tamanho mínimo de captura e um período de defeso reprodutivo para a espécie. Como essas medidas causaram pouco efeito prático devido à grande extensão geográfica da Região Amazônica e a falta de fiscalização efetiva, em 1996 foi proibido qualquer tipo de captura e venda do pirarucu na região, o que passou a ser permitido apenas em áreas manejadas ou de cultivo (SANTOS; SANTOS, 2005).

Desde 2004, a Instrução Normativa nº 34 (BRASIL, 2004) passou a regulamentar a proibição anual do exercício da pesca do pirarucu, nos seguintes locais e períodos: estados do Amazonas, Pará, Acre e Amapá (1º de dezembro a 31 de maio); estado de Rondônia (1º de novembro a 30 de abril); e estado de Roraima (1º março a 31 de agosto). Esta Instrução Normativa estabelece também o tamanho mínimo de captura, de 1,5 m para o peixe fresco e inteiro, 1,2 m para a manta fresca e 1,1 m para a manta seca.

A Instrução Normativa nº 24 (BRASIL, 2004) regulamenta o período do defeso na bacia hidrográfica dos rios Araguaia-Tocantins (1º de outubro a 31 de março) e a Instrução Normativa nº 01 (BRASIL, 2008) estabelece tal regulamentação para o estado do Acre (1º de junho a 30 de novembro). Por outro lado, a Instrução Normativa nº 05 (BRASIL, 2004) enquadra o pirarucu entre as espécies ameaçadas de extinção e espécies sobre-exploradas ou ameaçadas de sobre-exploração.

No Brasil, nos últimos anos, ocorreu um crescimento na criação e consumo de peixes de cativeiro. Diante deste cenário, a piscicultura do pirarucu tem despontado, não só como uma alternativa para manutenção dos estoques naturais dessa espécie, mas também devido a sua grande importância econômica, que tem despertado crescente interesse do setor produtivo, em investir na produção do pirarucu, já que a espécie apresenta expressiva potencialidade para a piscicultura.

3.1.3. Importância econômica

Segundo Veríssimo (1895), o pirarucu já era comercializado na forma de mantas, salgadas/secas, desde o início do século XVIII. Nos portos de Belém eram registradas produções médias de 1.300 t/ano. Segundo Menezes (1951), no século XIX, mais de 3.000 t/ano de pirarucu foram exportadas da Amazônia brasileira. No início do século XX esta estimativa reduziu para 300 t/ano. Ao longo dos anos, o pirarucu vem sendo explorado pelos

pescadores e ribeirinhos amazônicos e até 1970 foi a espécie mais importante para o comércio do pescado da região (VAL; HONCZARYK, 1995).

A produção mundial de pescado atingiu aproximadamente 168 milhões de toneladas em 2010, onde o maior produtor foi a China (63,5 milhões de toneladas) e o Brasil contribuiu com apenas 0,75% (1.264.765 t), ocupando o 19º lugar no *ranking* (MPA, 2013). Em 2012, cerca de 66.633.253 t da produção mundial foram provenientes da aquicultura, segundo dados estatísticos divulgados pela Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO, 2014).

A produção nacional de pescado, em 2011, foi de 1.431.974,4 t, da qual a pesca extrativa marinha representou a principal fonte de produção, sendo responsável por 553.670,0 t (38,7% do total), seguida pela aquicultura continental (544.490,0 t; 38,2%), pesca extrativa continental (249.600,2 t; 17,4%) e aquicultura marinha (84.214,3 t; 6,0%) (MPA, 2013). Em 2012, a produção nacional referente ao cultivo em cativeiro aumentou em 30% (FAO, 2014).

Segundo a FAO (2014), dentre os setores de produção de alimentos, a aquicultura apresenta o crescimento mais acelerado no mundo, representando aproximadamente 50% dos produtos pesqueiros mundiais destinados à alimentação. O desenvolvimento da aquicultura brasileira está associado à ação de diversas cadeias produtivas, destacando-se entre elas, a aquicultura de água doce do pirarucu.

Embora o pirarucu tenha representado apenas 0,21% (1.137,1 t/ano) e 0,51% (1.262,4 t/ano) da aquicultura continental e da pesca extrativista continental nacional, em 2011, respectivamente, ele está entre espécies mais cultivadas e comercializadas na Amazônia, mesmo com redução das populações naturais, devido à pesca extrativista e predatória (CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011; MPA, 2013).

O Brasil tem potencial para se tornar um dos grandes produtores mundiais de pescado cultivado, já que esta prática se apresenta como uma atividade estratégica na produção de alimento em função da grande extensão de corpos hídricos e da abundância de recursos naturais favoráveis para o cultivo de espécies de grande valor comercial, como tambaqui, caranha e pirarucu, entre outros. Assim, a piscicultura pode contribuir para a produção pesqueira nacional, a geração de emprego e renda, e o abastecimento alimentar (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012).

3.1.4. Composição química

Os pescados destacam-se pela sua composição, devido ao elevado valor nutricional. Dentre os principais constituintes destacam-se: as proteínas, os minerais (cálcio, fósforo e

ferro) e os lipídios. Além disso, são excelentes fontes de vitaminas do complexo B e das vitaminas lipossolúveis A e D (OGAWA; MAIA, 1999).

O estudo da composição lipídica em pescado tem recebido destaque pela comunidade científica, por se tratar de uma importante fonte de ácidos graxos de cadeia longa e insaturada, dentre os quais destacam-se os ácidos eicosapentaenóico e docosaexaenóico (HE et al., 2004). O teor de ácidos graxos varia em função da espécie e a maior diferença pode ser encontrada entre peixes dulcícolas e marinhos. De acordo com Osman, Suriah e Law (2001), peixes de água doce possuem teores de ácidos graxos poliinsaturados mais baixos que peixes marinhos, o que é atribuído à alimentação, visto que peixes de água doce, em geral, se alimentam de produtos de origem vegetal e os peixes marinhos se alimentam de zooplâncton, ricos em ácidos graxos poliinsaturados.

A composição em aminoácidos essenciais no pescado é completa, balanceada e bastante semelhante entre as espécies dulcícolas e marinhas, onde os principais aminoácidos encontrados em diversas espécies de pescado são o ácido glutâmico, o ácido aspártico, a lisina, a leucina, a arginina e a alanina (OGAWA; MAIA, 1999). Pescados e seus derivados também contêm minerais fisiologicamente importantes como: Mg, Mn, Zn, Cu, Na, K, Ca, P, S e Fe, com conteúdos relativamente elevados, dependendo da espécie: peixes, moluscos ou crustáceos. Outros elementos como I, Zn e Se também estão presentes em níveis variados (HUSS; JAKOBSEN; LISTON, 1992; NJINKOUÉ et al., 2002).

Em geral, a composição nutricional do pescado pode variar conforme a espécie, a idade, o sexo e a região do corpo analisada, e especialmente em função de fatores externos de sobrevivência como: condições e tipo de alimentação; características do habitat natural, temperatura e grau de poluição da água; época do ano; micro-organismos presentes e alterações *post mortem*; e dos recursos pesqueiros, desde a captura até a comercialização (PIGOTT; TUCKER, 1990; BELL; SARGENT, 2003; ROBIN; VINCENT, 2003; SISKOS; ZOTOS; TAYLOR, 2005).

Embora o Brasil possua uma diversidade muito grande de espécies de peixes; de maneira geral, ainda há escassez de dados de composição de muitas espécies, como é o caso do pirarucu, para o qual se desconhece com precisão o perfil de aminoácidos, de ácidos graxos, de vitaminas e minerais, por exemplo.

O conhecimento da composição do pescado *in natura*, além do aspecto nutricional, é importante no que se refere a aplicação de processos tecnológicos. A composição aproximada do pirarucu segundo alguns autores é apresentada na Tabela 1, onde é possível observar que,

assim com outras espécies de pescado, o pirarucu apresenta variações na sua composição, em função dos diversos fatores mencionados anteriormente.

Tabela 1. Composição centesimal do pirarucu, segundo diferentes autores.

Autores	Componentes (%)*			
	Umidade	Proteínas	Lipídios	Cinzas
Gonzaga Jr. (2010)	77,36 ± 0,35	22,07 ± 0,04	0,48 ± 0,03	0,96 ± 0,01
Fogaça et al. (2011)	76,37 ± 1,14	20,26 ± 0,90	0,61 ± 0,02	2,33 ± 0,10
Maciel et al. (2012)	79,58 ± 0,92	17,01 ± 0,51	0,86 ± 0,03	0,65 ± 0,04
Martins, Martins e Pena (2015)	75,53 ± 2,22	21,36 ± 0,05	2,60 ± 0,01	0,86 ± 0,05

*Média ± desvio padrão

3.2. ALTERAÇÕES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS EM PESCADOS

Por se tratar de um alimento altamente perecível, o pescado necessita de cuidados adequados desde a captura até chegar ao consumidor ou à indústria transformadora. Isto se faz necessário para evitar a ocorrência de alterações químicas, que podem levar à diminuição do valor nutricional do produto, alterações organolépticas indesejáveis e também à formação de produtos de degradação (ECHARTE; ZULET; ASTIASARAN, 2001; CHAIJAN et al., 2006). A maneira de manipular o pescado durante essa cadeia determina a intensidade da ocorrência de tais alterações, que são atribuídas a reações enzimáticas e oxidativas, e a ação de micro-organismos (PACHECO-AGUILAR; LUGO-SÁNCHEZ; ROBLES-BURGUEÑO, 2000; JESUS; LESSI; TENUTA FILHO, 2001). Dentre os fatores que influenciam o frescor do pescado, pode-se destacar: o grau de esgotamento energético pós-captura, os danos físicos, a higiene, a produção de muco superficial, o *rigor mortis*, a autólise e a decomposição microbiana (OZOGUL; OZOGUL, 2004).

pH

A determinação do pH é de extrema importância, visto que pode fornecer um dado importante sobre o estado de conservação de alimentos. O processo de degradação, seja ele de origem hidrolítica, oxidativa ou fermentativa, quase sempre altera a concentração de íons hidrogênio livres, devido à formação de compostos como amônia e aminas (SILVA; MATTÉ; MATTÉ, 2008). Dessa forma, o pH do músculo pode ser influenciado pela espécie do peixe, métodos de captura, manuseio e armazenamento, e quanto mais elevado for o pH, maior será a atividade bacteriana (LEITÃO, 1988).

Em geral, logo após a captura, ocorre uma redução no valor do pH do músculo do pescado. Com a morte do animal, o processo de respiração cessa, instalando-se o processo de degradação do glicogênio, por via glicolítica ou amilolítica, produzindo o ácido lático, em condições de anaerobiose, que é a principal causa da queda do pH. No entanto, essa acidificação também é influenciada pela liberação de fosfatos inorgânicos e amoníaco, como consequência da degradação enzimática do ATP (OGAWA; MAIA, 1999).

Bases voláteis totais

A carne do pescado apresenta alto conteúdo de nitrogênio proteico e não proteico. A degradação de compostos nitrogenados é uma das principais causas da perda gradual do frescor do pescado e do aparecimento dos primeiros sinais de putrefação, devido principalmente à decomposição de alguns componentes não proteicos, que passam a influenciar no aroma do produto. A formação de compostos voláteis e a degradação de proteínas originam coloração e características sensoriais indesejáveis no músculo do pescado (OGAWA; MAIA, 1999).

Os compostos nitrogenados de maior ocorrência, que representam as bases voláteis totais, são: o amoníaco, a trimetilamina, a dimetilamina e a metilamina. O teor de bases voláteis totais pode ser indicativo do grau de conservação do pescado. Em geral, este índice é diretamente proporcional a deterioração do produto. No entanto, é importante ressaltar que há espécies, como o cação (*Carcharrhinus spp.*), que apresentam teores de bases voláteis elevados, sem que isso esteja necessariamente relacionado à decomposição (TAVARES; GONÇALVES, 2011).

A base nitrogenada mais abundante é o amoníaco, produzido pelas enzimas endógenas e pelas enzimas de origem bacteriana (SIKORSKI, 1994). Dentre as alterações que originam os compostos voláteis, destacam-se as promovidas pela ação de enzimas endógenas na hidrólise das proteínas (processo autolítico), que resultam na redução do óxido de trimetilamina (OTMA) em trimetilamina (TMA), ausente em peixes de água doce, e no desdobramento do OTMA até dimetilamina (DMA) e ao formaldeído (GRAM; HUSS, 1996; KYRANA; LOUGOVOIS, 2002; GIANNINI, 2003).

As enzimas endógenas são as principais responsáveis pela perda do frescor do pescado, nos primeiros momentos *post mortem*, favorecidas pelo baixo conteúdo de glicogênio no tecido muscular, o que conduz a um valor de pH de aproximadamente 6,0. No entanto, após este período as enzimas produzidas por bactérias, passam a ser as principais responsáveis pela degradação. Conforme inicia o processo degradativo, a base volátil mais

representativa é a amônia, originária dos produtos da desaminação dos derivados da ATP e, posteriormente, tem-se o aumento da amônia derivada da degradação de outros compostos nitrogenados e da TMA, formada a partir do OTMA (GRAM; HUSS, 1996; KYRANA; LOUGOVOIS, 2002).

Segundo Contreras-Guzman (1994), pescados marinhos e de água doce armazenados em gelo apresentam evoluções diferentes em relação as bases voláteis totais (BVT). O limite legal para o BVT, em pescados não elasmobrânquios, é de 30 mg N/100 g (BRASIL, 1997). Esses valores nem sempre são os mesmos para todas as espécies, o que torna importante a realização de estudos para determinar os níveis aceitáveis para cada uma delas.

Oxidação lipídica

Os lipídios são substâncias químicas pouco solúveis em água e etanol (polares) e altamente solúveis em solventes orgânicos (apolares). Ao contrário das demais biomoléculas, os lipídios não são polímeros, isto é, não são repetições de uma unidade básica. Embora possam apresentar uma estrutura química relativamente simples, as funções dos lipídios são complexas e diversas. Eles atuam em muitas etapas cruciais do metabolismo e na definição das estruturas celulares (CONTRERAS-GUZMAN, 1994; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A oxidação lipídica é uma das principais causas de deterioração de alimentos, sendo responsável pela produção de odores e sabores desagradáveis, diminuição da vida de prateleira, perda de valor nutricional, desnaturação de proteínas com consequente perda de propriedades funcionais, degradação de vitaminas e a formação de compostos nocivos à saúde humana, tais como os óxidos de colesterol (CASTRILLÓN et al., 1996; FRANKEL, 1996; ECHART; ZULET; ASTIASARAN, 2001; ERICKSON, 2008).

Em pescados, a quantidade de gordura é muito variável, mas em geral, pescados fluviais e lacustres apresentam maior quantidade do que os marinhos. Os principais compostos participantes da oxidação lipídica são os ácidos graxos insaturados e o oxigênio, embora este processo possa ocorrer pela ação de enzimas ou ser induzido pela luz, uso de temperatura elevada, desidratação e presença de agentes pró-oxidantes. A via mais frequente de interação entre os ácidos graxos insaturados e o oxigênio é uma sequência de reações em cadeia de radicais livres, denominada autooxidação, que é caracterizada por três etapas: iniciação, propagação e terminação (ERICKSON, 2008).

Os ácidos graxos insaturados são mais susceptíveis à oxidação lipídica do que os saturados. Os compostos de baixo peso molecular são responsáveis pelos odores e sabores de

ranço, enquanto que os de maior peso molecular são os responsáveis pelas alterações de viscosidade e cor dos produtos oxidados (KIM; MIN, 2008).

Um dos índices mais utilizados para verificar a qualidade do pescado, quanto a oxidação lipídica, é o índice de determinação da reação ao ácido tiobarbitúrico (TBA). Osawa, Felício e Gonçalves (2005) revisaram alguns métodos para determinação do TBA, bem como avaliaram a influência do valor de TBA sobre características sensoriais de pescados congelados. Os autores consideraram como não rancificados as amostras com TBA inferior 0,6 mg/kg, de qualidade aceitável as unidades com índice entre 0,7 a 1,4 mg/kg, e ligeiramente rancificados os exemplares com TBA superior 1,5 mg/kg. Contudo, os valores de TBA variam bastante, pois dependem do perfil de ácidos graxos e das limitações dos testes.

3.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

3.3.1. Fundamentos do processo

A desidratação osmótica (OD) se baseia na imersão de um produto sólido, em pedaços ou inteiro, em uma solução aquosa concentrada (hipertônica), resultando em pelo menos três tipos de fluxos (Figura 2). A diferença de pressão osmótica provoca a saída de água dos tecidos do produto para a solução osmótica. A difusão de água ocorre simultaneamente e em contracorrente com a difusão de solutos da solução osmótica para o produto, em função da diferença de concentração entre este e a solução (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004).

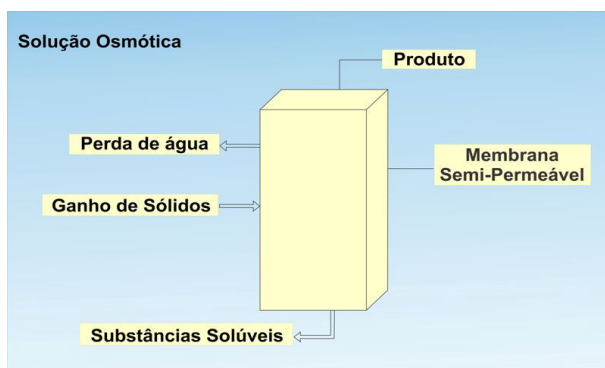


Figura 2. Transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

Como a membrana celular não é perfeitamente seletiva, alguns solutos naturais presentes nas células (açúcares, ácidos orgânicos, minerais e vitaminas) podem ser lixiviados para a solução osmótica. Embora, seja desprezível quantitativamente, quando comparado com

os dois fluxos principais, este fluxo exerce uma importante influência sobre a qualidade sensorial e nutricional do produto final (TORREGIANI; BERTOLO, 2001; RASTOGI et al., 2002; LEWICKI; LENART, 2006; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; ARBALLO et al., 2012).

A eficiência da OD é determinada pela razão entre a perda de umidade e a incorporação de sólidos, ou seja, quanto maior esta razão, mais eficiente é o processo. A incorporação de soluto é considerada uma desvantagem do processo, especialmente quando se busca maior similaridade com alimento fresco (CHIRALT; FITO, 2003; KHIN; ZHOU; PERERA, 2006).

A OD tem sido utilizada como um método de remoção parcial de água dos tecidos no beneficiamento de frutas e hortaliças e mais recentemente para carnes e peixes. Apesar do processo proporcionar uma considerável redução na umidade, a atividade de água ainda permanece elevada, sendo necessário a aplicação de processos adicionais para assegurar a estabilidade microbiológica do produto. Dessa forma, a OD tem sido empregada como pré-tratamento para processos convencionais, como a secagem, a liofilização, a refrigeração e o congelamento, de forma a garantir a estabilidade do produto (ALZAMORA et al., 1993; TORREGGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994).

O processo combinado de OD e secagem apresenta vantagens como: a redução do tempo de secagem, do consumo de energia e dos custos com embalagem e distribuição, em função da diminuição do volume e do peso do alimento. Além disso, favorece aspectos nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos, mostrando-se eficiente na manutenção da textura, na inibição da degradação enzimática e oxidativa e na retenção de pigmentos e aromas voláteis (TORREGGIANI, 1993; LENART, 1996; COLLIGNAN et al., 2001; SERENO et al., 2001; RASTOGI et al., 2002; FERNANDES et al., 2006; KHIN; ZHOU; PERERA, 2006).

A aplicação de pulso de vácuo, por um curto período, no início do processo de DO, promove a expansão da estrutura porosa dos tecidos vegetais e animais, associada à evacuação dos gases ou líquidos ocluídos (FITO, 1994; FITO et al., 2001; MAROUZÉ et al., 2001). Quando a pressão é restaurada, o interior dos poros encontra-se livre, o que facilita a difusão da água e de solutos. O transporte total de água e soluto durante a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo (PVOD) é causado por dois mecanismos: o mecanismo hidrodinâmico (HDM), que atua em tempos curtos, promovido pelo gradiente de pressão, e o mecanismo pseudo-fickiano, que atua em tempos mais longos, promovido pelo gradiente de concentração de sal. A expansão e compressão dos poros provocadas pela

alteração da pressão, permite que os mesmos atuem como pontos de entrada e saída de líquidos (FITO et al., 1996; FITO; CHIRALT, 1997; ZHAO; XIE, 2004; DENG; ZHAO, 2008).

A PVOD apresenta vantagens adicionais em relação à OD em pressão atmosférica, como o aumento das taxas de transferência de massa, o aumento da área interfacial sólido/líquido, a promoção de perfis de concentração mais homogêneos no produto e a melhoria da qualidade deste, além de reduzir o gasto energético (LOMBARD et al., 2008; FANTE et al., 2011).

As propriedades intrínsecas dos tecidos biológicos; o tipo, a concentração e a temperatura do agente osmótico; a relação solução/produto; o tempo de imersão; a agitação e a pressão a qual o sistema é submetido são variáveis que podem interferir na OD. O controle dessas variáveis pode fazer com que o processo resulte em duas situações opostas: uma em que predomina a desidratação (quando a perda de água é maior que o ganho de sólidos) e outra em que há predominância da impregnação, quando o ganho de sólidos é maior que a perda de água (RAOULT-WACK, 1994; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

3.3.2. Fatores limitantes

Propriedades intrínsecas dos tecidos biológicos

Existem fatores como a composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), a estrutura física (porosidade, arranjo de células, orientação das fibras) e os pré-tratamentos (como alta pressão hidrostática, vácuo parcial, tratamento de ultrassom) que podem afetar a permeabilidade da membrana celular e a estrutura da parede celular (ESCOBAR et al., 2007; TORTOE, 2010).

Nos tecidos animais, a transferência de massa é dependente das suas propriedades intrínsecas. Por exemplo, a taxa de penetração do sal é inversamente proporcional ao conteúdo de gordura do músculo, pois a gordura diminui significativamente a difusividade do sal. Sendo assim, com o aumento da quantidade de gordura no músculo do peixe, ocorre a diminuição da perda de água (PA) e do ganho de sólidos (GS) (WANG; TANG; CORREIA, 2000; COLLIGNAN et al., 2001; GALLART-JORNET et al., 2007). O efeito direto da fase lipídica na transferência de massa não é linear. Os fluxos de água e sal parecem ser muito mais limitados pela presença de lipídios em produtos magros do que em produtos gordos (COLLIGNAN et al., 2001).

É importante relacionar as variáveis de processo (composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, tempo de processo), durante a desidratação osmótica, com características de composição mecânicas dos tecidos da matéria prima. A alta variabilidade desses parâmetros pode ser atribuída à microestrutura, em particular a porosidade do material, o que implica diferentes níveis de impregnação (LOMBARD et al., 2008).

Composição do meio osmótico

A composição e a concentração da solução osmótica são fatores de grande importância no estudo da OD, uma vez que apresentam grande influência no processo de difusão do soluto nos tecidos biológicos. A determinação dos perfis de concentração e os coeficientes de difusão podem ajudar a explicar o processo osmótico e os mecanismos de transferência de massa, inclusive em processos subsequentes, como a secagem convectiva (MONNERAT et al., 2010).

A escolha do agente osmótico mais adequado depende de fatores como: a solubilidade do soluto em água, a permeabilidade da membrana celular, a capacidade de favorecer a taxa de PA, o teor de água final do produto, a quantidade de soluto que penetra no material osmodesidratado, o custo e dos efeitos sobre propriedades sensoriais e nutricionais, bem como da estabilidade do produto final (AZOUBEL; MURR, 2004; CHENLO et al., 2006; RÓZEK et al., 2009).

O tipo de agente osmótico afeta significativamente a cinética da PA e do GS, além de interferir na condição de equilíbrio (DIONELLO et al., 2007; OSORIO et al., 2007; ANTONIO et al., 2008; PHISUT, 2012). A solução osmótica deve apresentar uma baixa atividade de água e os solutos devem ser inofensivos à qualidade do produto, além de não provocar mudanças significativas nas propriedades sensoriais (UDDIN; AINSWORTH; IBANOGLU, 2004).

Os solutos mais utilizados como agentes osmóticos são: o açúcar (sacarose) e o sal (cloreto de sódio) (ALVES et al., 2005; ANTONIO et al., 2008). Porém, soluções binárias de cloreto de sódio (NaCl/água) são as mais usadas na OD de peixes (PRANDL et al., 1994). Segundo Lenart (1996) e Tonon, Baroni e Hubinger (2006), o sal é considerado um ótimo agente desidratante, especialmente quando a DO é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva. O NaCl apresenta uma alta capacidade de hidratação (solvatação), o que favorece um aumento na força motriz de saída de água do produto (AZOUBEL; MURR, 2004; HEREDIA et al., 2009; AL-MUHTASEB et al., 2010).

O uso de misturas de solutos pode apresentar algumas vantagens. O efeito do açúcar associado ao sal favorece a PA e controla a penetração do sal, devido à formação de uma camada concentrada de açúcar na superfície do produto, que reduz substancialmente o coeficiente de difusão do sal para o interior do material (COLLIGNAN et al., 2001; JOKIC et al., 2007; RODRIGUES; FERNANDES, 2007; BORIN et al., 2008). Raoult-Wack et al. (1991) avaliaram a influência da concentração e do peso molecular do soluto sobre a PA e o GS e observaram que a relação PA/GS aumentou, com o aumento do peso molecular do soluto.

Concentração da solução osmótica

A porcentagem de água removida na OD é diretamente dependente da concentração da solução osmótica. Com o aumento da concentração da solução osmótica, a PA é mais favorável que a incorporação de sólidos, devido ao aumento da pressão osmótica na solução (TORREGIANI, 1993; TELES et al., 2006).

Em alimentos, o processo osmótico envolve a utilização de soluções com um ou mais solutos, que, normalmente, apresentam viscosidades elevadas. A viscosidade é uma propriedade física muito importante, pois exerce grande influência sobre o nível de agitação necessário ao processo, além de afetar as taxas de transferência de massa. Quando o meio osmótico é viscoso, a transferência de massa pode ser dificultada. Neste caso, a consideração adotada pela maioria dos modelos que descrevem a desidratação osmótica, de que a resistência externa à transferência de massa é desprezível, pode não ser válida (CHENLO et al., 2002).

O uso de soluções osmóticas concentradas pode diminuir as perdas de solutos hidrossolúveis do produto, devido à formação de uma camada periférica concentrada do soluto, além de promover o aumento das taxas de PA e GS, devido ao aumento na pressão osmótica da solução (BOHUON et al., 1998; MIZRAHI; EICHLER; RAMON, 2001). Por outro lado, soluções muito concentradas apresentam altas viscosidades, o que dificulta a manipulação, o processo de agitação e o aumento da temperatura; além de dificultar a preparação da solução, devido à solubilidade do soluto (CORZO; BRACHO, 2007b).

De acordo com Raoult-Wack et al. (1991), em baixas concentrações, o GS é superior à PA (efeito de impregnação); enquanto que em altas concentrações, o GS é menor que a PA (efeito desidratante). Gallart-Jornet et al. (2007) avaliaram os efeitos da adição de sal sobre os músculos de salmão e bacalhau, e observaram que uma alta concentração de sal provocou a

desnaturação proteica, o que reduziu a capacidade de retenção de água (CRA) do produto, e consequentemente aumentou a PA.

Temperatura

O processo de OD é um fenômeno altamente dependente da temperatura. Em geral, as taxas de transferência de massa são diretamente proporcionais à temperatura, a qual provoca a redução na viscosidade do meio osmótico, a diminuição da resistência externa à transferência de massa e a mudança da permeabilidade da membrana celular durante a plasmólise, devido ao inchamento ou plasticização da membrana celular, em função da estrutura celular do tecido biológico; o que favorece a PA e o GS (CHENLO et al., 2006; JOKIC et al., 2007; MONNERAT et al., 2010; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012). Os diferentes tipos de produtos e soluções utilizados respondem de forma específica à variação da temperatura.

As matrizes alimentícias, em geral, possuem estrutura porosa, de forma que altas temperaturas liberam o ar ocluído nos tecidos, resultando em maior efetividade na remoção de água e impregnação de sólidos. No entanto, o uso de temperaturas elevadas pode ocasionar a ruptura da parede celular, devido à ativação dos mecanismos de autólise (YANG; LE MAGUER, 1992).

Segundo Medina-Vivanco (2003), os peixes possuem matriz deformável, o que possibilita apreciável variação devido à desnaturação e agregação das proteínas miofibrilares, ocasionada pelo uso de altas temperaturas e pela remoção da umidade. A desnaturação é entendida como qualquer modificação da conformação das proteínas (secundária, terciária e quaternária), sem a ruptura dos enlaces peptídicos. A estrutura das proteínas é lábil e por essa razão o tratamento das mesmas com soluções salinas e temperaturas elevadas pode modificar essas estruturas, promovendo a diminuição da solubilidade, em consequência da liberação de grupos hidrofóbicos; da modificação da capacidade de fixação da água; da perda de atividade biológica; do aumento da susceptibilidade ao ataque por protease; do aumento da viscosidade intrínseca; da incapacidade de cristalizar, entre outros fatores (BIRKELAND et al., 2005; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA; 2010). Maciel et al. (2012), avaliando a OD do filé de pirarucu, verificaram que o aumento da temperatura, favoreceu a transferência de massa, promovendo o aumento da PA e do GS.

Tempo de imersão

A velocidade do processo de OD é praticamente constante durante as primeiras horas do processo e reduz progressivamente a partir de um dado instante, até que o fluxo de água

não mais ocorra e o ganho de sólidos continue invariavelmente, ou seja, enquanto a PA diminui rapidamente após as duas primeiras horas, o GS continua por um período de tempo mais prolongado (TORREGIANI, 1993; BRENNAN, 2003, CHÁFER; PÉREZ; CHIRALT, 2003; CHAVAN, 2012; PHISUT, 2012). De acordo com Raoult-Wack et al. (1994), isto ocorre devido à grande diferença de pressão osmótica entre a solução e a amostra. O tempo de tratamento osmótico é uma variável bastante importante durante a OD, especialmente para o GS e a PA. Lenart (1996) afirmou que tempos muito elevados favorecem uma maior incorporação de sólidos, devendo ser utilizados em casos onde a impregnação seja desejada.

Agitação

Segundo Lewicki e Lenart (2006), a operação de OD pode ser conduzida em sistemas estáticos (sem agitação) ou dinâmicos (sob agitação). Nos sistemas dinâmicos, a velocidade da agitação pode influenciar os coeficientes de transferência de massa, já que em geral há uma resistência a transferência de massa gerada pela solução osmótica (TONON; BARONI; HUBINGER, 2006). A agitação reduz a camada limite em torno do produto, favorecendo a difusão e reduzindo gradientes de concentração localizados (FALADE; IGBEKA, 2007).

A utilização de sistemas dinâmicos acelera o equilíbrio de concentração e aumenta a relação entre a PA e o GS, favorecendo a desidratação, especialmente durante a primeira hora de tratamento. A agitação garante que a solução concentrada seja renovada ao redor da amostra, mantendo um gradiente de concentração favorável a transferência de massa (RAOULT et al., 1989). Embora o processo de OD seja mais eficiente quando conduzido em sistema agitado, deve-se realizar o controle da agitação para que não haja danos ao produto e nem onere o processo, devido aos equipamentos e ao gasto energético (PONTING et al., 1966).

Pressão

Diversos autores têm verificado que a pressão é um parâmetro importante a ser levado em consideração no processo de OD, visto que a velocidade de transferência de massa durante o processo aumenta em condições de pressão reduzida, quando comparado com processos à pressão atmosférica (FITO, 1994; RASTOGI; RAGHAVARAO, 1996; DEUMIER et al., 2003; CORZO et al., 2007).

Estudos realizados com diferentes produtos alimentícios demonstraram que baixas pressões tornam o processo de OD mais rápido, além de possibilitar o uso de temperaturas

menores na obtenção da mesma taxa de remoção de água. Em função dessa redução no tempo de OD é possível obter produtos desidratados de melhor qualidade (SHI; FITO, 1993).

Segundo Mújica-Paz et al. (2003), a quantidade de líquido e de soluto impregnados na estrutura do alimento, após o restabelecimento da pressão atmosférica, depende principalmente da pressão de vácuo aplicada. Shi e Fito (1993) mostraram que a pressão de operação, durante os tratamentos, é um importante fator na PA e no GS, em frutas.

Por outro lado, pouco se conhece a respeito dos mecanismos de transferência de massa e das mudanças estruturais (físicas, químicas e bioquímicas), que ocorrem quando o pulso de vácuo é aplicado na OD de produtos de origem animal. Corzo et al. (2007) avaliaram a PVOD de filés de sardinha, e encontraram resultados que indicam que a PA e o GS são favorecidos pelo uso de pulso de vácuo no início do processo.

3.3.3. Métodos de desidratação osmótica

Em geral, a OD costuma ser conduzida à pressão atmosférica, no entanto, tem sido enfatizados processos com a utilização de vácuo, e assim novos métodos de desidratação tem sido desenvolvidos. Entre esses métodos destaca-se a desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida constante (VOD), a desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida por pulsos periódicos (PPVOD) e a desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida inicial por pulso (PVOD) (COLLIGNAN et al., 2001; MAROUZÉ et al., 2001).

A VOD é realizada mantendo uma pressão constante reduzida sob a superfície livre da solução desidratante, desde o início do processo até sua conclusão (FITO, 1994; SHI; FITO, 1993). A influência da aplicação de vácuo é muito importante na cinética dos fenômenos de transferência de massa, visto que o vácuo interfere nos mecanismos de difusão e nos mecanismos de transporte osmótico (SALVATORI et al., 1998). A taxa da transferência de massa sob vácuo é mais elevada que em condições de pressão atmosférica, já que há um aumento da área interfacial, que resulta no preenchimento dos poros com solução osmótica (RASTOGI et al., 2002). Embora a aplicação de vácuo na OD de alimentos altere a taxa na qual o equilíbrio é alcançado, ela não altera o conteúdo de umidade no equilíbrio.

A PPVOD é caracterizada por períodos de aplicação de pressão reduzida e pressão atmosférica, de forma intermitente, ou seja, repete-se o ciclo várias vezes sequencialmente. Este processo pode ser usado quando os tempos de processamento são longos ou quando a difusão de soluto é lenta (alto peso molecular e/ou uma forte interação de proteína na matriz) (COLLIGNAN et al., 2001).

A PVOD consiste na imersão do produto em uma solução hipertônica e na aplicação de pressão sub-atmosférica no início do processo, por um período de tempo pré-determinado, com posterior restabelecimento da pressão atmosférica. Durante a aplicação do vácuo, ocorre a expansão das fibras musculares, associada à evacuação dos gases ocluídos no interior dos poros. Quando a pressão atmosférica é restabelecida a solução osmótica é introduzida nos poros do produto por mecanismos hidrodinâmicos. A transferência de massa é favorecida devido ao aumento da superfície de contato, em função do ar que escapou do interior dos poros (MAROUZÉ et al., 2001; DEUMIER, 2004). Em outras palavras, com a recuperação da pressão do sistema, o líquido que está em contato com o produto penetra no interior dos poros devido aos gradientes macroscópicos de pressão e à capilaridade (FITO, 1994).

3.4. SECAGEM

O emprego de secadores convectivos por ar quente é uma das práticas mais utilizadas na secagem artificial de produtos biológicos, tais como pescados e seus derivados. A finalidade de secar alimentos, até níveis de água livre suficientes para impossibilitar a ação de micro-organismos e reações bioquímicas deteriorantes, é assegurar melhorias na qualidade do produto, bem como maiores períodos de armazenamento, com requisitos mínimos de embalagem, e redução do custo de transporte (PINTO; TOBINAGA, 1996; DOE, 1998; KROKIDA et al., 2003).

A secagem por ar aquecido é um processo antigo utilizado para preservar alimentos, no qual o sólido a ser seco é exposto a uma corrente de ar quente que flui continuamente e assim a umidade é removida. A duração dessa operação varia de acordo com o material a ser seco e com o método, desde poucos segundos até vários dias (RATTI, 2001). Com base na técnica de desidratação pelo calor, a secagem ocorre em dois processos de transporte simultâneos: a transferência de calor, para vaporizar o líquido, e a transferência de massa, na forma de líquido e/ou de vapor no interior do material, para a superfície; geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (STRUMILLO; KUDRA, 1986; DINCER; DOST, 1995; KROKIDA; MAROULIS, 2002).

Em função das taxas, os processos de secagem são divididos em dois períodos distintos: o período de secagem a taxa constante e o período de secagem a taxa decrescente. Durante o período de taxa constante a quantidade de água disponível no produto é grande e a pressão de vapor de água na superfície é igual à pressão de vapor da água pura, na temperatura do produto, e a umidade livre migra do interior para a superfície. Nesse período, a taxa de evaporação é controlada pelas condições do ar, isto é, pelas condições externas que

regulam a secagem, como: a velocidade do ar sobre a superfície, a temperatura, a pressão e a umidade relativa (SHERWOOD, 1929; DOE, 1998; KUDRA, MUJUMDAR, 2009).

O período a taxa decrescente inicia quando a umidade da superfície reduz para um valor inferior ao ponto de saturação da superfície. A frente de evaporação migra para o interior do material e o vapor de água ligada se move da frente de evaporação para a superfície do sólido, devido aos gradientes de concentração e à pressão total, de acordo com as condições do agente secante. Neste estágio a resistência interna do produto passa a ser significativa (STRUMILLO; KUDRA, 1986; DOE, 1998).

A difusividade efetiva da umidade é uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem e a desidratação osmótica. Porém, devido à complexa composição e a estrutura física dos alimentos, não são obtidas estimativas precisas desta propriedade, sendo assim necessárias medidas experimentais (FELLOWS, 2009). São vários os fatores que afetam a difusividade efetiva, dentre eles pode-se destacar: a temperatura, a umidade e a composição do produto. As curvas de secagem são utilizadas para estimar a difusividade efetiva. Essa propriedade varia com a umidade, porém em muitos alimentos as curvas representativas sugerem uma difusão bimodal, isto é, valores distintos para a difusividade efetiva, como por exemplo, em músculos de peixe (TOBINAGA; PINTO, 1992).

Embora a secagem garanta a estabilidade do alimento por longo período de estocagem, condições do processo podem provocar depreciações na qualidade do produto, tais como: dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor (RATTI, 2001). Nesse contexto, a desidratação osmótica tem sido utilizada como pré-tratamento, para minimizar os efeitos adversos, que geralmente aparecem quando o produto é submetido à secagem convectiva (DEL VALLE; CUADROS; AGUILERA, 1998).

A combinação da desidratação osmótica com a secagem tem sido apontada como uma alternativa econômica e segura para a conservação de produtos alimentícios, além de possibilitar a obtenção de produtos desidratados de melhor qualidade, quando comparado aos produtos desidratados convencionalmente (BRANDÃO et al., 2003).

3.5. SORÇÃO DE UMIDADE

A diminuição da atividade de água (a_w), provocada pelos uso de processos combinados como a desidratação osmótica e a secagem, inibe o desenvolvimento da maioria das bactérias patogênicas e deterioradoras, de fungos e leveduras, inativa enzimas e diminui a velocidade de várias reações químicas, prolongando a vida útil do pescado (OGAWA, 1999; NUNES;

PEDRO, 2011; PEDRO; NUNES, 2011). Embora os riscos de contaminação sejam reduzidos, é importante avaliar o comportamento do produto em relação ao ganho de água, e identificar o ponto no qual o processo de secagem deve cessar, de modo a não comprometer a estabilidade do produto, bem como representar gastos excedentes de energia (DIAS, 1983; LOURENÇO et al., 2001). A afinidade da água com outros componentes de um produto define a sua higroscopicidade, que é um parâmetro importante no processamento, estabilidade e estocagem de alimentos de baixa umidade (LABUZA, 1986).

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade descrevem a relação entre a umidade e a a_w de um produto, em uma temperatura constante, e são a base para o estudo do comportamento higroscópico de alimentos desidratados (KAREL, 1975; IGLESIAS; CHIRIFE, 1982). De acordo com Lomauro, Bakshi e Labuza (1985), uma isoterma de sorção de umidade pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado da água presente no alimento. A primeira região representa a adsorção de uma camada monomolecular de água, entre 0 e 0,35 de a_w ; a segunda região, representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, e se localiza entre 0,35 e 0,60 de a_w , e a terceira região, localizada acima de 0,60 de a_w , está relacionada com a água condensada nos poros, e com a água capaz de favorecer a dissolução das frações solúveis do produto.

As isotermas podem ser de adsorção, quando o produto seco é colocado em atmosferas com diferentes umidades relativas (UR), sendo acompanhado o ganho de água (hidratação), e de dessorção, quando é acompanhada a perda de água (desidratação) do produto exposto nas mesmas atmosferas de UR. Na maioria das vezes, as isotermas de adsorção e dessorção de um mesmo produto não são coincidentes, gerando um *loop* denominado de fenômeno de histerese (HOSSAIN et al., 2001).

As isotermas são próprias de cada grupo de alimentos e permitem estimar a estabilidade do produto, além de ter aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto; inclusive quando o mesmo é constituído por componentes com diferentes a_w (ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. Matéria prima

O pirarucu (*Arapaima gigas*) utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi adquirido em um reservatório de piscicultura localizado no município de São João de Pirabas (Pará, Brasil) (Latitude 00° 46' 29"S e Longitude 47° 10' 38"W). Foi utilizado um animal do sexo masculino, com 1 ano e 6 meses de idade, 18,6 kg e 1,25 m de comprimento. Após as etapas de captura, abate e evisceração, o peixe foi transportado para a Universidade Federal do Pará, devidamente acondicionado em recipiente termicamente isolado, contendo gelo em escamas, disposto sobre toda a superfície do animal.

4.1.2. Equipamento utilizado na desidratação osmótica

Uma representação esquemática do equipamento utilizado na realização dos ensaios de desidratação osmótica é apresentada na Figura 3. O aparato é composto por um sistema encamisado (1), uma mesa agitadora (2), um banho ultratermostático (3), uma bomba de vácuo (4) provida de um manômetro (5), e um termopar (6).

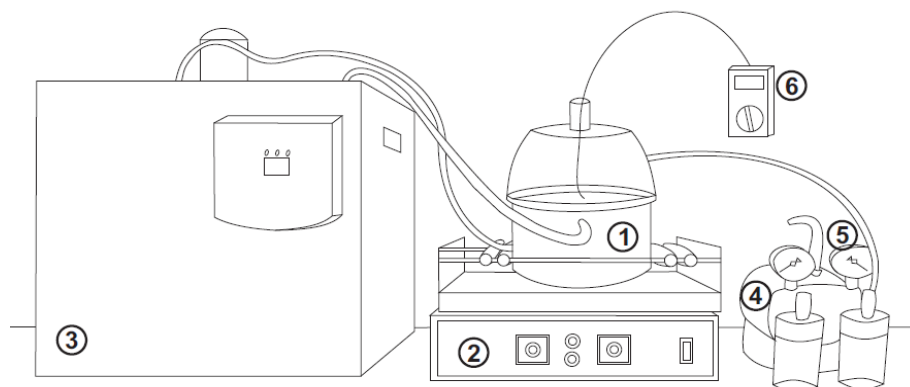


Figura 3. Representação esquemática do dispositivo utilizado na realização dos experimentos de desidratação osmótica.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Preparo da amostra

Após a recepção, o peixe foi submetido à lavagem em água corrente, seguido de imersão em água clorada (5 mg/L de cloro ativo) por 15 minutos, para higienização. Em seguida, foram realizadas as etapas de retirada das escamas e nadadeiras, e a lavagem. Após a retirada da cabeça e a desossa, do músculo do animal foram obtidos os seguintes cortes: dorso, ventre, ventrecha e cauda, conforme esquematizado na Figura 4. A realização dos cortes foi realizada de forma manual, com auxílio de lâminas de aço inox. Todos os cortes foram acondicionados em embalagens de polietileno, sob vácuo, e armazenados a -18°C, até a realização das análises e experimentos.

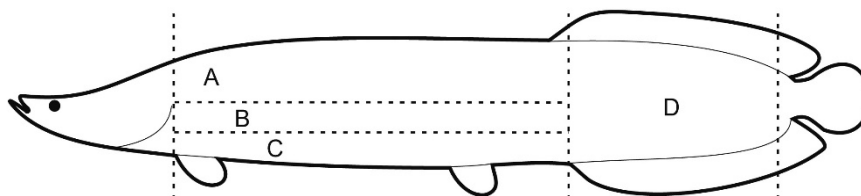


Figura 4. Detalhe dos cortes realizados no músculo do pirarucu: (A) dorso, (B) ventre, (C) ventrecha e (D) cauda.

4.2.2. Avaliação microbiológica da matéria prima

O padrão microbiológico da matéria prima foi avaliado através da pesquisa de *Salmonella*, *Estafilococos* coagulase positivo e micro-organismos do grupo dos coliformes, mais especificamente os coliformes termotolerantes a 45°C, seguindo as recomendações da RDC nº12 (BRASIL, 2001), e de acordo com os métodos proposto por Downes e Ito (2001).

4.2.3. Caracterização físico-química da matéria prima

Os diferentes cortes do pirarucu (Figura 4) foram caracterizados segundo os parâmetros e as metodologias especificados abaixo. Os parâmetros de composição: umidade, cinzas, lipídios, proteína bruta, carboidratos, cloretos e minerais foram determinados em todos os cortes. Por outro lado, o perfil de aminoácidos foi determinado apenas na fração utilizada nos ensaios de desidratação osmótica (dorso), enquanto o perfil de ácidos graxos foi avaliado na fração que apresentou o maior teor de lipídios (ventrecha).

- **Umidade:** determinada por gravimetria, em estufa a 105 °C, até peso constante, segundo método nº 920.151 da AOAC (1997);
- **Cinzas:** determinadas por gravimetria, através da incineração da matéria orgânica da amostra, em forno mufla a 550°C, segundo método nº 930.05 da AOAC (1997);
- **Lipídios:** determinado por extração intermitente da fração lipídica, pelo método *Soxhlet*, usando éter de petróleo como solvente, segundo o método nº 922.06 da AOAC (1997);
- **Proteína bruta:** estimada mediante a determinação do conteúdo de nitrogênio total contido na amostra, pelo método de *Kjeldahl*, de acordo com o método nº 920.87 da AOAC (1997). O resultado foi expresso em proteína bruta, utilizando o fator de conversão nitrogênio-proteína de 6,25;
- **Carboidratos:** determinados por diferença, de acordo com Brasil (2003).
- **Cloretos:** determinado pelo método *Mohr*, baseado na precipitação dos cloretos na forma de cloreto de prata, utilizando cromato de potássio como indicador, segundo o método nº 935.47 (AOAC, 2003);
- **Minerais:** na determinação dos minerais zinco, cobre, ferro, manganês, cálcio, potássio, magnésio e sódio foi utilizado um espectrômetro de absorção atômica com chama (SpectrAA 220, Varian, Victoria, Austrália). Como fonte de radiação foram usadas lâmpadas de catodo oco para Zn (213,9 nm), Cu (324,8 nm), Fe (248,4 nm), Mn (279,5 nm), Ca (422,7 nm), K (766,5 nm), Mg (285,2 nm) e Na (589 nm), operando a 5, 4, 6, 4, 5, 10, 4 e 5 mA, respectivamente. Os gases ar e acetileno foram utilizados como gás oxidante e combustível, respectivamente.

As amostras utilizadas na determinação dos minerais foram previamente liofilizadas e digeridas em um bloco digestor (Modelo TE-040/25-1, Tecnal, São Paulo, Brasil) à uma temperatura de 100°C por 10 minutos e 180°C por 15 minutos, utilizando HNO₃ 50% (v/v) e H₂O₂ PA (m/m), para as amostras referentes ao dorso, a cauda e ao ventre, e HNO₃ 100% (v/v) e H₂O₂ PA (m/m), para a amostra da ventrecha. Ao final da digestão, o material foi resfriado à temperatura ambiente e teve o seu volume ajustado para 14 mL com água ultrapura. Os brancos analíticos foram preparados pelo mesmo procedimento, sem a adição da amostra. Para análise de cálcio e magnésio, uma alíquota dos digeridos foi diluída com cloreto de lantânio a 1% m/v.

- **pH:** determinado por leitura direta da amostra homogeneizada em água destilada, em potenciômetro previamente calibrado com soluções tampão pH 4 e 7 a 20°C, segundo o método nº 981.12 da AOAC (1997);

- **Atividade de água (a_w):** determinada por medida direta em termohigrômetro digital (Aqualab 4TE, Decagon, Puma, WA, USA), com controle interno de temperatura (25°C).
- **Bases voláteis totais (BVT):** determinadas com o objetivo de avaliar o frescor do produto, baseado na extração com ácido tricloracético a 5% e posterior destilação e titulação com ácido sulfúrico 0,01N, até o ponto de viragem característico, conforme a Portaria nº 1 (BRASIL, 1981);
- **Índice de ácido tiobarbitúrico (TBA):** determinado para avaliar a oxidação lipídica, de acordo com a metodologia proposta por Vyncke (1970);
- **Perfil de aminoácidos:** determinado de acordo com a metodologia proposta por White, Hart e Fry (1986), onde os aminoácidos liberados após a hidrólise ácida (HCl 6 N por 24 h) reagem com fenilisotilcianato e, posteriormente, foram separados por HPLC em fase reversa e quantificados pela absorvidade UV em 254 nm;
- **Perfil de ácidos graxos:** a extração da fração lipídica foi realizada de acordo com Bligh e Dyer (1959) e o perfil de lipídico foi obtido por cromatografia gasosa dos ésteres metílicos de ácidos graxos, de acordo com a rotina descrita por Rodrigues, Darnet e Silva (2010).

4.2.4. Desidratação osmótica com a aplicação de pulso de vácuo (PVOD)

A região dorsal do pirarucu foi utilizada na realização dos experimentos, por ser a fração mais representativa do peixe. Desta fração foram obtidos cortes na geometria de placa plana, com dimensões de 6 cm de comprimento, 2 cm de largura e 1 cm de espessura, os quais foram acondicionados individualmente em embalagens de polietileno e armazenados a -18°C, até o momento da utilização.

Para realização dos experimentos, a amostra foi descongelada em ambiente a 5°C, e ainda embalada foi imersa em água na temperatura de trabalho, por 10 min. Em seguida, a amostra foi retirada da embalagem, pesada, e então mergulhada na solução osmótica contida no recipiente encamisado, quando a mesma já se encontrava na temperatura de trabalho. O sistema foi então fechado e evacuado, para dar início ao processo de desidratação osmótica.

Um banho ultratermostático (Q214M2, Quimis, São Paulo, Brasil) foi utilizado para assegurar o controle da temperatura do sistema e uma mesa agitadora (225,21, Quimis, São Paulo, Brasil) foi utilizada, para garantir uma agitação constante de 70 rpm, suficiente para promover a circulação da solução e renovar a camada superficial em torno da amostra. Para assegurar o controle da pressão (vácuo), uma bomba de vácuo (131, PRISMATEC, São Paulo, Brasil) foi acoplada ao sistema.

A temperatura e a pressão do sistema foram controladas, por meio de um termopar e de um manômetro, respectivamente. A relação massa de amostra/volume de solução osmótica foi de 1:20, em todos os ensaios, para garantir que a concentração da solução permanecesse constante e que a amostra totalmente imersa na solução, durante todo processo.

Ao final do processo, a amostra foi retirada da solução osmótica, enxaguada com água destilada (10 mL para cada lado do filé), colocada sobre um papel absorvente (10 s de cada lado), para eliminar o excesso de solução da superfície e pesada. A umidade da amostra foi determinada, antes e após o processo, quando também foi determinada a a_w .

4.2.5. Delineamento experimental

Foi utilizada uma estratégia sequencial de planejamentos para otimização do processo de PVOD do filé de pirarucu. Primeiramente, para avaliar os efeitos principais de um maior número de variáveis que poderiam interferir nas respostas do processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu foi utilizado um planejamento fatorial fracionário do tipo 2^{4-1} , com 3 pontos centrais, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis codificados e originais das variáveis independentes utilizadas no planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo do filé de pirarucu.

Experimentos	Variável codificada				Variável Original			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	T (°C)	t (min)	P (kPa)	C (%)
1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	10	10	7	10
2	1,0	-1,0	-1,0	1,0	40	10	7	30
3	-1,0	1,0	-1,0	1,0	10	90	7	30
4	1,0	1,0	-1,0	-1,0	40	90	7	10
5	-1,0	-1,0	1,0	1,0	10	10	101	30
6	1,0	-1,0	1,0	-1,0	40	10	101	10
7	-1,0	1,0	1,0	-1,0	10	90	101	10
8	1,0	1,0	1,0	1,0	40	90	101	30
9	0,0	0,0	0,0	0,0	25	50	54	20
10	0,0	0,0	0,0	0,0	25	50	54	20
11	0,0	0,0	0,0	0,0	25	50	54	20

*X₁ = Temperatura; X₂ = tempo; X₃ = Pressão; X₄ = Concentração.

Foram avaliados os efeitos das variáveis de entrada (variáveis independentes): temperatura do processo (T), tempo do pulso de vácuo (t), pressão do pulso de vácuo (P) e concentração da solução osmótica (C), sobre as respostas (variáveis dependentes): perda de

água (PA) (Equação 1), ganho de sólidos (GS) (Equação 2) e atividade de água (a_w). Os níveis utilizados nesse planejamento foram definidos a partir da literatura e de ensaios preliminares. Para todos os experimentos o tempo total de processo foi de 90 min.

$$PA(\%) = \frac{MA_o - MA_t}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{M_o} \times 100 \quad (2)$$

onde: PA = perda de água em relação à massa inicial (%); MA_o = massa de água inicial do produto (g); MA_t = massa de água do produto em um tempo t (g); M_o = massa inicial do produto (g); GS é o ganho de sólidos em relação à massa inicial (%); MS_o é a massa seca inicial (g); MS_t é a massa seca em um tempo t (g).

Os resultados do planejamento fatorial fracionário permitiram identificar e eliminar o efeito com menor influência sobre as respostas estudadas. Sendo assim, as variáveis consideradas significativas foram escolhidas e utilizadas em um delineamento composto central rotacional (DCCR) do tipo 2^3 , com oito pontos fatoriais (níveis ± 1), três pontos centrais (nível 0) e seis pontos axiais (uma nos níveis $\pm\alpha$ e três em 0), totalizando 17 ensaios, conforme o apresentado na Tabela 3. O tempo de pulso de vácuo foi fixado em 30 min, sendo então avaliada a influência das variáveis temperatura do processo (T), pressão do pulso de vácuo (P) e concentração da solução osmótica (C), sobre as mesmas respostas estudadas no planejamento fatorial fracionário (PA, GS e a_w).

Segundo Barros Neto, Scarmino e Bruns (2001) e Rodrigues e Iemma (2005), os pontos centrais servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial e os pontos axiais são utilizados para a ampliação do modelo linear, tornando-o quadrático. O valor de alfa é função do número de variáveis independentes (k), sendo definida pela Equação (3).

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad (3)$$

Tabela 3. Níveis codificados e originais das variáveis independentes utilizadas no delineamento composto central rotacional 2^3 do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo do filé de pirarucu.

Experimentos	Variável codificada			Variável original		
	X ₁	X ₂	X ₃	T (°C)	P (kPa)	C (%)
1	-1,00	-1,00	-1,00	24	26	17
2	-1,00	-1,00	1,00	24	26	23
3	-1,00	1,00	-1,00	24	82	17
4	-1,00	1,00	1,00	24	82	23
5	1,00	-1,00	-1,00	36	26	17
6	1,00	-1,00	1,00	36	26	23
7	1,00	1,00	-1,00	36	82	17
8	1,00	1,00	1,00	36	82	23
9	-1,68	0,00	0,00	20	54	20
10	1,68	0,00	0,00	40	54	20
11	0,00	-1,68	0,00	30	7	20
12	0,00	1,68	0,00	30	101	20
13	0,00	0,00	-1,68	30	54	15
14	0,00	0,00	1,68	30	54	25
15	0,00	0,00	0,00	30	54	20
16	0,00	0,00	0,00	30	54	20
17	0,00	0,00	0,00	30	54	20

*X₁=Temperatura; X₂=Pressão; X₃=Concentração.

O planejamento utilizado permitiu a obtenção de modelos de regressão, onde o valor das variáveis dependentes (PA, GS e a_w) é função das variáveis independentes (T, P, C), como é representado pela Equação (4).

$$Y = f(T, P, C) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 P + \beta_{22} P^2 + \beta_3 C + \beta_{33} C^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} TP + \beta_{23} PC \quad (4)$$

onde: Y = perda de água (PA), o ganho de sólidos (GS) ou a atividade de água (a_w); T, P e C são temperatura, pressão e concentração, respectivamente; e os coeficientes de regressão são: β_0 (para a interseção), β_1 , β_2 e β_3 (para os termos lineares), β_{11} , β_{22} e β_{33} (para os termos quadráticos) e β_{12} , β_{13} e β_{23} (para os termos interação).

A otimização simultânea das respostas foi realizada segundo a abordagem usada por Derringer e Suich (1980), que propuseram o uso da função desejabilidade (*desirability*). O método consiste em converter cada resposta (y_i) em uma função de desejabilidade individual

(d_i), que varia em uma faixa de $0 \leq d_i \leq 1$, onde o valor 0 é atribuído a uma resposta indesejável e o valor 1 a uma resposta desejável. As funções desejabilidade individuais para cada resposta são combinadas em uma desejabilidade global (D), através de uma média geométrica, a qual indica a condição otimizada. A natureza de cada função desejabilidade depende dos objetivos dos experimentos, podendo-se maximizar ou minimizar uma resposta e até que a mesma atinja um valor desejável (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Desta forma, com o auxílio da função desejabilidade e baseado nos resultados obtidos através do planejamento fatorial completo foi obtido o conjunto das condições otimizadas para processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu, para o qual o objetivo foi a maximização da PA e minimização do GS e da a_w .

4.2.6. Cinética da desidratação osmótica

Para avaliar a cinética de desidratação osmótica foram obtidos dados experimentais nas condições ótimas de temperatura, pressão e concentração da solução osmótica para o processo, em função do tempo de contato. Os experimentos foram conduzidos de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2.4, sendo avaliados os parâmetros PA, GS e a_w , nos tempos de contato de 20, 40, 60, 90, 120, 240 e 360 min.

4.2.7. Cálculo da difusividade para a desidratação osmótica

Para descrever a cinética da desidratação osmótica, muitos autores utilizaram a segunda lei de Fick, na qual o fluxo de massa é proporcional ao gradiente da concentração dentro do sólido (PARK; BIN; BROD, 2001; TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004). Baseado nisso, Crank (1975) propôs uma equação para difusão unidirecional, em uma amostra com geometria de placa plana, em contato com uma quantidade infinita de solução. A forma simplificada desse modelo, para pequenos tempos (t) de contato, é apresentada na Equação (5), a qual se aplica na fase inicial do processo, quando se assume que a difusão ocorre em um meio semi-infinito. Nessa fase, tanto a quantidade de água que sai, quanto a quantidade sólidos que entra no produto são diretamente proporcionais a raiz quadrada do tempo ($t^{1/2}$). O valor do coeficiente de difusividade aparente (D_{eff}), calculado a partir da Equação (5) é a média dos valores de D_{eff} para a faixa de concentração da solução durante o processo de difusão. Os valores de D_{eff} para PA e GS foram calculados a partir dos coeficientes angulares da região linear das curvas PA_t/PA_∞ e GS_t/GS_∞ versus $t^{1/2}$, respectivamente.

$$\frac{WS_t}{WS_\infty} = 2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

onde: WS_t = quantidade de água que sai (PA) ou de sólidos que entra (GS) no produto em determinado tempo (t); WS_∞ = quantidade de água que sai (PA_∞) ou de sólidos que entra (GS_∞) no produto depois de um tempo infinito (equilíbrio); D_{eff} = coeficiente de difusividade aparente (m^2/s), L = meia espessura da amostra (m).

4.2.8. Modelagem matemática da desidratação osmótica

Modelo de Azuara

O ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) (Equação 6) aos dados experimentais foi avaliado para representar a cinética de processos osmóticos e fazer uma estimativa da concentração de equilíbrio, a partir do balanço de massa no produto.

$$GX = GX^\infty - GX^* \quad (6)$$

onde: GX = perda de água (PA) ou ganho de sólido (GS) em um tempo t do processo; GX^∞ = perda de água (PA^∞) ou ganho de sólidos (GS^∞) no equilíbrio; e GX^* = teor de água (PA^*) ou de sólidos (GS^*) que ainda não saiu ou entrou no produto, respectivamente, em um tempo t do processo.

De acordo com Azuara et al. (1992), o valor do GX (PA ou GS) aumenta e o valor do GX^* (PA^* ou GS^*) diminui durante o processo osmótico, permitindo estabelecer uma relação entre essas variáveis, representada por um parâmetro K . Por sua vez, este parâmetro é função do tempo e da taxa de perda de água ou de ganho de sólidos, podendo ser escrito em termos do tempo de processo (t) e de uma constante (S), conforme representado pela Equação (7).

$$GX^* = \frac{GX}{K} = \frac{GX}{S \cdot t} \quad (7)$$

Substituindo a Equação (7) na Equação (6) e rearranjando os termos, obtêm-se a Equação (8), que pode ser utilizada para caracterizar o processo osmótico de diferentes tipos de alimentos, sem restrições da configuração geométrica. A Equação (9) é a forma linearizada da Equação (8), a qual foi ajustada os dados experimentais de PA e GS, para determinar os valores de PA^∞ (%), GS^∞ (%) e do parâmetro S (h^{-1}). Os parâmetros do modelo de Azuara

foram estimados a partir do coeficiente linear e da declividade da curva t/GX versus t , por regressão linear.

$$GX = \frac{S.t.(GX^\infty)}{1 + S.t} \quad (8)$$

$$\frac{t}{GX} = \frac{1}{S(GX^\infty)} + \frac{t}{GX^\infty} \quad (9)$$

Modelo de Peleg

O modelo bi-paramétrico proposto por Peleg (1988) (Equação 10), para descrever a adsorção de umidade de produtos alimentícios, foi também ajustado aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica do filé de pirarucu. Corzo e Bracho (2006a) testaram e comprovaram a aplicação deste modelo na predição de parâmetros de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica de filés de sardinha.

$$X_w = X_{w_0} \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (10)$$

onde: X_w = teor de umidade em um tempo t (h) do processo (g/100 g b.u.), X_{w_0} = teor de umidade inicial (g/100 g b.u.), k_1 = constante de taxa de Peleg (h/(g/100 g b.u.)) e k_2 = constante de capacidade de Peleg ((g/100 g b.u.)⁻¹). “±” torna-se “+” se o processo é de absorção ou adsorção e “-” se o processo é de secagem ou dessorção.

Para a perda de água (PA) durante um processo de desidratação osmótica, a Equação (10) pode ser expressa na forma da Equação (11), cuja forma linearizada é apresentada na Equação (12). Quando $t \rightarrow \infty$ e $PA = PA^\infty$ a Equação (11) pode ser expressa na forma da Equação (13). Os parâmetros do modelo de Peleg para PA foram estimados a partir do coeficiente linear e da declividade da curva t/PA versus t , por regressão linear.

$$PA = X_w - X_{w_0} = \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (11)$$

$$\frac{t}{PA} = k_1 + k_2 t \quad (12)$$

$$PA^{\infty} = \frac{1}{k_2} \quad (13)$$

Analogamente, para o ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica, a Equação (10) pode ser expressa na forma da Equação (14), cuja forma linearizada é apresentada na Equação (15). Quando $t \rightarrow \infty$ e $GS = GS^{\infty}$ a Equação (14) pode ser expressa na forma da Equação (16). Os parâmetros do modelo de Peleg para GS foram estimados a partir do coeficiente linear e da declividade da curva t/GS *versus* t , por regressão linear.

$$GS = X_s - X_{s_0} = \frac{t}{k_3 + k_4 t} \quad (14)$$

$$\frac{t}{GS} = k_3 + k_4 t \quad (15)$$

$$GS^{\infty} = \frac{1}{k_4} \quad (16)$$

onde: X_w = teor de sólidos em um tempo t (h) do processo (g/100 g b.u.), X_{w_0} = teor de sólidos inicial (g/100 g b.u.), k_3 = constante de taxa de Peleg (h/(g/100 g b.u.)) e k_4 = constante de capacidade de Peleg ((g/100 g b.u.)⁻¹).

Os ajustes dos modelos de Azuara e Peleg aos dados experimentais de PA e GS foram avaliados pelo coeficiente de determinação (R^2) e pelo erro médio relativo quadrático (RMSE), conforme a Equação (17).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{\text{exp},i} - Y_{\text{pred},i})^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

onde: Y_{pred} = valor da perda de água ou do ganho de sólidos predito; Y_{exp} = valor da perda de água ou do ganho de sólidos experimental e N = número de medidas experimentais.

4.2.9. Secagem

Amostras do produto desidratado osmoticamente, na condição otimizada, foram submetidas à secagem complementar, em secador de leito fixo a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C, com velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s. As amostras foram pesadas a cada 5 min, nos 30 primeiros minutos; a cada 10 min nos próximos 60 minutos de secagem; e a cada 20 min, a partir desse tempo, até que a variação de massa da amostra fosse inferior a 1% (equilíbrio). Os produtos foram moídos em moinho de facas, acondicionados em embalagem a vácuo e armazenados a 5°C. A umidade da amostra foi determinada antes e após a secagem. As curvas de secagem foram construídas baseadas na correlação entre relação de umidade (MR) (Equação 18) e o tempo de processo.

$$MR = \frac{m - m_e}{m_i - m_e} \quad (18)$$

onde: MR = relação de umidade (adimensional); m, m_i e m_e são as umidade em um tempo t, inicial e no equilíbrio (g/100 g b.s.), respectivamente.

4.2.10. Cálculo da difusividade efetiva para a secagem

Frequentemente, para realizar a modelagem das curvas de secagem durante o período de taxa decrescente assume-se que o mecanismo principal é a difusão de umidade. Quando a difusão de umidade controla a taxa de secagem durante o período de taxa decrescente, a equação para difusão, representadas pela segunda lei de Fick para difusão, em estado não estacionário, pode ser utilizada. Esta equação, em coordenadas cartesianas e em forma adimensional, pode ser escrita como na Equação (19).

$$\frac{\partial MR}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{\text{eff}} \frac{\partial MR}{\partial y} \right) \quad (19)$$

onde: D_{eff} = coeficiente de difusividade efetiva; t = tempo; y = coordenada retangular e MR = relação de umidade (adimensional).

A solução analítica da Equação (19) é dada pela Equação (20), considerando a umidade inicial uniforme, a difusividade efetiva constante e a amostra com geometria de placa plana, de acordo com Crank (1975). Para um tempo de secagem suficientemente longo, a segunda Lei de Fick da difusão truncada no primeiro termo (Equação 21) fornece uma boa

estimativa da solução. Sendo assim, o valor de D_{eff} foi calculado a partir da declividade da curva $\ln(MR)$ *versus* tempo de secagem (t), por regressão linear.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(\frac{-(2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (20)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (21)$$

onde: MR = relação de umidade (adimensional); D_{eff} = coeficiente de difusividade efetiva (m^2/s); L = meia espessura da placa (m) e t = tempo de processo (s).

4.2.11. Modelagem matemática das curvas de secagem

Na predição das curvas de secagem, foram avaliados os ajustes matemáticos de dez modelos semi-empíricos (Tabela 4), classicamente utilizados para descrever a cinética de processos de secagem em camada delgada.

Tabela 4. Modelos matemáticos usados no ajuste da cinética de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente.

Modelo	Equação ^a	Nº de parâmetros
Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$	1
Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$	2
Page Modificado	$MR = e^{-(k \cdot t)^n}$	2
Henderson e Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$	2
Dois Termos Exponencial	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$	2
Logarítmico	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$	3
Aproximação da difusão	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$	3
Verma	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-g \cdot t}$	3
Midilli	$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n}$	4
Dois Termos	$MR = a \cdot e^{-k_0 \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$	4

^aAkpınar, Bicer e Yildiz (2003).

O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado como critério primário para seleção do modelo que melhor descreveu as curvas de secagem. Além deste parâmetro foram utilizados também o qui-quadrado (χ^2) (Equação 22) e o erro médio relativo quadrático (RMSE) (Equação 17), para determinar o melhor ajuste.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N - n} \quad (22)$$

onde: $MR_{\text{exp},i}$ e $MR_{\text{pre},i}$ são a relação de umidade determinada a partir dos dados experimentais e a relação de umidade predita pelos modelos ajustados, respectivamente; N = número medidas experimentais; e n = número de parâmetros do modelo.

4.2.12. Obtenção das isotermas de sorção de umidade

As isotermas de sorção e umidade foram determinadas em equipamento analisador de sorção de vapor (Aqualab VSA, Decagon, Puma, WA, USA), utilizando o método DDI (*Dynamic Dewpoint Isotherm*) (DECAGON DEVICES, 2015). Para a obtenção das isotermas foi utilizada a amostra triturada do produto desidratado osmoticamente e seco. Inicialmente, a amostra foi submetida à desidratação complementar, em dessecador com sílica gel, sob vácuo, a 25°C por 24 horas. As isotermas foram obtidas com aproximadamente 0,500 g de amostra, pesada diretamente na balança do equipamento, em cápsula de aço inox. Foi utilizada uma programação com leituras em intervalo de 0,01 de a_w e fluxo de vapor de 100 ml/min. As isotermas foram obtidas em um intervalo de a_w de 0,10 a 0,75.

As umidades equivalentes à monocamada (m_o) para os processos de adsorção e dessorção foram determinadas, por regressão linear, a partir da forma linearizada da equação de BET (Equação 23) (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C} \cdot a_w \quad (23)$$

onde: m = umidade (g H₂O/100 g b.s); a_w = atividade de água (adimensional); m_o = umidade da monocamada (g H₂O/100 g b.s); e C = constante relacionada ao calor de sorção.

Aos dados de adsorção e dessorção de umidade do pirarucu desidratado e seco foi também ajustado o modelo de GAB (ANDERSON, 1946). Para avaliar o ajuste do modelo foram utilizados, o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo quadrático (RMSE) (Equação 17) e o desvio médio relativo (P) (Equação 24).

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|m_{\text{exp}} - m_{\text{pre}}|}{m_{\text{exp}}} \quad (24)$$

onde: m_{exp} = umidade obtida experimentalmente (g H₂O/100 g b.s); m_{pre} = umidade predita pelo modelo ajustado (g H₂O/100 g b.s); N = número de medidas experimentais.

4.2.13. Análise estatística

Os resultados das análises de composição foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste complementar de Tukey, para comparação de médias. A ANOVA, a falta de ajuste, a determinação dos coeficientes de regressão e a geração das superfícies de respostas foram utilizadas para avaliar as respostas dos planejamentos experimentais. A condição otimizada do processo de OD foi obtida com o auxílio da função desejabilidade. Os valores da difusividade efetiva para a OD (Equação 5), os parâmetros dos modelos de Azuara (Equação 9) e Peleg (Equações 12 e 15) para a OD, a difusividade efetiva de umidade para a secagem (Equação 21) e o valor da monocamada (Equação 23) foram estimados por regressão linear. Os parâmetros dos modelos matemáticos da secagem e de sorção de umidade foram obtidos por regressão não-linear. Para regressão não linear foi utilizado o algoritmo de Levenberg-Marquardt, com um critério de convergência de 10^{-6} . Para a análise de regressão linear foi utilizado o aplicativo Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, 2012, California, USA), enquanto para as demais análises estatísticas foi utilizado o aplicativo STATISTICA Kernel versão 7.1 (StatSoft Inc., 2006, Tulsa, OK, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA PRIMA

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das análises microbiológicas realizadas no pirarucu *in natura*, onde é possível verificar que o exemplar utilizado encontrava-se dentro dos limites de segurança alimentar estabelecidos pela legislação brasileira. Os valores encontrados confirmam também que os procedimentos higiênico-sanitários foram adequados, durante a captura e a manipulação do peixe.

Tabela 6. Avaliação microbiológica do músculo de pirarucu *in natura*.

Análises	Pirarucu <i>in natura</i>	Legislação (BRASIL, 2001)
<i>Salmonella</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	$< 1 \times 10^1$ UFC/g	Máx. 10^3 UFC/g
Coliformes termotolerantes a 45°C	23 NMP/g	Máx. 10^2 NMP/g

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

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU

A composição centesimal dos diferentes cortes do músculo do pirarucu (dorso, ventre, ventrecha e cauda) é apresentada na Tabela 7. De acordo com os resultados, a proteína se apresentou como o constituinte majoritário do peixe (17,81-25,75%), independente da parte analisada. Outros autores também observaram que a proteína foi o principal constituinte de espécies de peixe de água doce, típicos da região Amazônica, como: o pacu (16,80%) (GUINAZI et al., 2006), a caranha (17,00%) (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012) e o curimatã (18,60-18,67%) (MAIA et al., 1999; MACHADO; FORESTI, 2009).

Tabela 7. Composição centesimal dos diferentes cortes do músculo de pirarucu.

Parâmetros	Dorso	Ventre	Ventrecha	Cauda
Umidade (%)	78,15 ^a ± 0,35	77,07 ^{ab} ± 0,62	52,17 ^c ± 0,57	76,49 ^b ± 0,64
Proteínas (%)	17,81 ^c ± 0,01	18,88 ^b ± 0,14	25,75 ^a ± 0,22	18,78 ^b ± 0,03
Lipídios (%)	1,00 ^b ± 0,10	1,48 ^b ± 0,04	17,09 ^a ± 0,94	1,19 ^b ± 0,10
Cinzas (%)	1,22 ^a ± 0,10	1,12 ^a ± 0,01	0,89 ^b ± 0,02	0,97 ^b ± <0,01
Carboidratos (%)	1,82 ^c ± 0,09	1,45 ^d ± 0,20	4,10 ^a ± 0,10	2,57 ^b ± 0,06
Cloretos (%)	0,33 ^b ± 0,03	0,27 ^{bc} ± 0,02	0,58 ^a ± 0,06	0,24 ^c ± 0,01

* Média ± desvio padrão

* Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$).

Todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) para pelo menos um dos cortes do pirarucu, entre os quais merece destaque a ventrecha, que apresentou o maior teor de lipídios e proteínas e, conseqüentemente, uma menor umidade. Segundo Oliveira et al. (2014), do ponto de vista tecnológico, o elevado teor de lipídios, é uma característica importante para a determinação do tempo de vida útil do pirarucu, pois a oxidação dos lipídios acarreta a produção de compostos orgânicos indesejáveis nas regiões consideradas gordas.

Ao avaliarem a composição centesimal do músculo do pirarucu, Oliveira et al. (2014) encontraram valores de umidade de 79,51 e 77,88%, 17,56 e 16,10% de proteínas, 0,62 e 2,49% de lipídios, 0,87 e 0,84% de cinzas e 1,44 e 2,69% de carboidratos, nas regiões dorsal e ventral do peixe, respectivamente. Fogaça et al. (2011) observaram teores médios de umidade de 75,04%, 20,13% de proteínas, 0,64% de lipídios e 2,46% de cinzas, para a região dorsal de exemplares de pirarucu com peso entre 14 e 16 kg. Maciel et al. (2012) e Martins, Martins e Pena (2015) encontraram 79,58 e 75,53% de umidade, 17,01 e 21,36% de proteínas, 0,86 e 2,60% de lipídios e 0,65 e 0,86% de cinzas, respectivamente, para a região dorsal do pirarucu. As variações observadas para a composição do pirarucu podem ser atribuídas a fatores como: idade do animal, sexo, dieta, fonte de captura (pesca artesanal/piscicultura) e sazonalidade (MOREIRA et al., 2001; VISENTAINER et al., 2005), bem como à parte analisada.

O músculo do pirarucu apresentou um teor de bases voláteis totais (BVT) de $16,41 \pm 0,32$ mg N/100g, pH de $5,34 \pm 0,02$ e a_w de $0,99 \pm <0,01$. Os valores de BVT (< 30 mg N/100 g) e de pH ($< 6,8$) atenderam os padrões exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1997) e confirmaram o grau de frescor do produto. O teor de BVT se aproximou do valor encontrado por Martins (2013) (14,15 mg N/100g), para músculo de pirarucu de piscicultura, porém foi mais que o dobro do valor observado por Oliveira et al. (2014) (6,65 mg N/100g), também em músculo de pirarucu. A diferença observada pode ser justificada pelo fato do método utilizado quantificar, além das bases voláteis já presentes no peixe fresco, os produtos da degradação microbológica e/ou autolítica de compostos nitrogenados. O teor de BVT é bastante variável entre as diversas espécies de peixes e também entre exemplares da mesma espécie. Os valores de pH e a_w classificam o produto como altamente perecível e sugerem a necessidade da aplicação de um método de conservação adequado.

Um dos índices mais utilizados para verificar a qualidade do pescado é o índice de TBA, o qual fornece informações referente ao estado oxidativo do produto, o que está associado ao nível de rancidez do pescado. No entanto, diferentemente do teor de BVT, que é um índice com força legal, o TBA não tem um valor de referência, acima do qual o músculo

do pescado possa ser considerado oxidado, sob o ponto de vista lipídico ou impróprio para o consumo. Porém, sabe-se que baixos valores de TBA indicam baixa quantidade de malonaldeído no músculo do pescado, visto que este composto é um dos principais produtos de decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poli-insaturados (OSAWA et al., 2005). O valor determinado no músculo de pirarucu foi de $3,03 \pm 0,12$ mg de malonaldeído/kg amostra.

O conteúdo de minerais determinado nos quatro cortes do músculo do pirarucu é apresentado na Tabela 8. O mineral majoritário em todos os cortes foi o potássio, o qual foi sucedido pelo sódio e pelo magnésio. A ventrecha apresentou o menor teor de minerais quando comparada com as demais cortes. As principais funções dos minerais incluem a estrutura esquelética, a manutenção do sistema coloidal e a regulação do equilíbrio ácido-base, além de serem componentes importantes de hormônios, enzimas e ativadores enzimáticos (TOPPE et al., 2007).

Tabela 8. Composição mineral dos diferentes cortes do músculo de pirarucu.

Elemento	Composição (mg/100 g do músculo fresco)*			
	Dorso	Ventre	Ventrecha	Cauda
Cobre	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Manganês	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Zinco	$0,14^c \pm 0,01$	$0,35^b \pm 0,09$	$0,28^c \pm 0,09$	$1,40^a \pm 0,06$
Ferro	< 0,17	< 0,17	< 0,17	$0,28 \pm <0,01$
Cálcio	$13,76^b \pm 0,11$	$15,35^a \pm 0,15$	$8,30^d \pm 0,29$	$10,17^a \pm 0,21$
Magnésio	$31,61^a \pm 0,04$	$32,20^b \pm 0,05$	$21,68^d \pm 0,12$	$20,60^c \pm 0,17$
Potássio	$288,58^b \pm 0,27$	$380,95^a \pm 0,23$	$183,53^d \pm 0,62$	$267,66^c \pm 0,03$
Sódio	$65,09^c \pm 0,87$	$67,62^d \pm 0,29$	$175,52^b \pm 0,15$	$93,58^a \pm 0,09$
Total	396,18	496,47	389,31	393,69

*Os valores representam média $\pm$ desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$).

Embora a concentração de ferro encontrada no pirarucu não seja muito expressiva, destaca-se a ocorrência deste mineral apenas no músculo da cauda. Peixes de músculo vermelho/escuro (atum, sardinha, bonito, cavalinha, entre outros) contêm mais Fe e Cu do que os peixes de músculo branco (HUSS; JAKOBSEN; LISTON, 1992), como o pirarucu. Este, como a maioria dos peixes, possui cerca de 70% do músculo composto por fibras brancas e apenas 10% a 30% composto por fibras vermelhas, as quais geralmente se apresentam em maior proporção na região caudal (BONE, 1978; ZHANG et al., 1996; SÄNGER; STOIBER, 2001).

Os valores apresentados na Tabela 8, para os minerais cálcio, magnésio, potássio e sódio encontram-se próximos à faixa apresentada pela FAO (2005), para o músculo fresco de

peixes de aquicultura. Ainda segundo esta organização, o conteúdo de minerais de peixes provenientes da aquicultura reflete a composição da alimentação fornecida ao animal. Wang et al. (2010) observaram teores superiores dos minerais cálcio e zinco e valores semelhantes dos minerais cobre, manganês, ferro e magnésio em músculo de pirarucu.

Na Tabela 9 são apresentados os 19 aminoácidos identificados na região dorsal do pirarucu. O ácido glutâmico, considerado não essencial, foi o aminoácido presente em maior quantidade (16,63%), seguido pelo ácido aspártico (10,26%) e a lisina (9,98%). O aminoácido encontrado em menor quantidade foi a taurina, representando apenas 0,38% do teor de aminoácidos total.

Tabela 9. Perfil de aminoácidos na região dorsal do pirarucu.

Aminoácido	Composição (mg/100 g do músculo fresco)**
Ácido aspártico (ASP)	1.868,35 ± 2,83
Ácido glutâmico (GLU)	3.027,57 ± 7,07
Hidroxiprolina (HPRO)	71,01 ± 1,41
Serina (SER)	759,14 ± 1,41
Glicina (GLY)	832,16 ± 5,65
Histidina (HYS)*	426,08 ± 2,83
Taurina (TAU)	69,01 ± 1,41
Arginina (ARG)*	1.170,22 ± 8,49
Treonina (THR)*	826,15 ± 8,49
Alanina (ALA)	1.114,21 ± 8,49
Prolina (PRO)	643,12 ± 7,07
Tirosina (TYR)	688,13 ± 5,65
Valina (VAL)*	1.018,19 ± 0,01
Metionina (MET)*	573,11 ± 9,90
Cisteína (CYS)	248,05 ± 73,55
Isoleucina (ILE)*	857,16 ± 12,73
Leucina (LEU)*	1.425,27 ± 43,85
Fenilalanina (PHE)*	770,14 ± 5,66
Lisina (LIS)*	1.818,34 ± 19,80
Total	18.205,41

* Aminoácidos essenciais;

** Média ± Desvio padrão

Do ponto de vista nutricional, os aminoácidos podem ser classificados em: aminoácidos essenciais, que precisam ser fornecidos pela dieta, pois não podem ser sintetizados em quantidades suficientes pelo organismo e não-essenciais, que são produzidos

em quantidades suficientes pelo organismo, seja a partir de outros aminoácidos ou outros metabólitos nitrogenados complexos (SILVA; FROTA; ARÊAS, 2012). Desta forma, o músculo do dorso do pirarucu pode ser caracterizado como fonte de proteínas de alto valor biológico, por apresentar na sua composição aproximadamente 49% de aminoácidos essenciais.

Segundo as exigências de proteínas e aminoácidos na nutrição humana, proposta pela FAO (2002), é recomendável consumir diariamente os seguintes aminoácidos essenciais e suas respectivas quantidades: Lisina–30 mg/dia; Leucina–39 mg/dia; Isoleucina–20 mg/dia; Valina–26 mg/dia; Treonina–15 mg/dia; Fenilalanina + tirosina–25 mg/dia; Metionina +cisteína–15 mg/dia; e Histina–10 mg/dia.

Como as proteínas são codificadas geneticamente, a sua síntese depende da presença simultânea de todos os aminoácidos essenciais na proporção característica. A falta ou a limitação de um único aminoácido essencial faz com que o aproveitamento da proteína seja comprometido na dieta, sendo esse aminoácido denominado limitante (SILVA; FROTA; ARÊAS, 2012). Em geral, o perfil de aminoácido da região dorsal do pirarucu não apresentou aminoácidos limitantes, quando comparadas com o padrão da FAO/WHO (FAO, 1991). Desta forma, além de apresentar proteína de excelente qualidade, o pirarucu apresenta um perfil de aminoácidos balanceado.

De acordo com o perfil de ácidos graxos (Tabela 10), a ventrecha do pirarucu apresentou 42,85% de ácidos graxos saturados (AGS), 49,02% de ácidos graxos monoinsaturados (AGM) e 8,13% de ácidos graxos poliinsaturados (AGP). Dados sobre o perfil de ácidos graxos de peixes de água doce são limitados a algumas espécies, e não há informações a respeito deste perfil para o músculo de pirarucu, na literatura científica. Maia, Rodriguez-Amaya e Franco (1994) observaram 42% de AGS; 36% de AGM e 21% de AGP na composição de ácidos graxos de curimatã. Moreira et al. (2001) encontraram 33,63-41,86% de AGS, 46,97-57,20% de AGM e 6,54-17,88% de AGP, nas espécies matrinhã, piraputunga e piracanjuba. Ramos Filho et al. (2008) observaram 33,81-47,53% de AGM, 32,91-38,89% de AGS e 5,24-7,33% de AGP, nas espécies pintado, cachara, pacu e dourado. De maneira geral, os teores de AGS, AGM e AGP da ventrecha do pirarucu apresentaram-se nas faixas observadas pelos autores.

O ácido oléico foi o componente majoritário, seguido pelo ácido palmítico e pelo ácido esteárico, no perfil de ácidos graxos do pirarucu. Essa mesma tendência foi observada para o perfil de ácidos graxos das espécies pintado, cachara, pacu e dourado (RAMOS FILHO et al., 2008). Por outro lado, Luzia et al. (2003) encontraram predominância do ácido

palmitico na fração lipídica dos peixes curimatá e tilápia, ambos de água doce. Segundo a FAO (2009), o ácido oléico é o ácido graxo predominante tanto em fontes de origem animal quanto vegetal.

Tabela 10. Perfil de ácidos graxos na ventrecha do pirarucu.

Ácidos Graxos	Composição	
	%	mg/100 g do músculo b.s
C14:0 (Ácido Mirístico)	3,85	1.376,58
C14:1 (Ácido Miristoléico)	0,75	268,82
C 16:0 (Ácido Palmítico)	27,80	9.934,74
C16:1 (Ácido Palmitoléico)	0,79	282,34
C18:0 (Ácido Estearico)	9,60	3.429,60
C18:1 (Ácido Oléico)	46,47	16.610,07
C18:2 (Ácido linoléico)	—	—
C20:0 (Ácido Araquídico)	0,58	207,28
C20:1 (Ácido Eicosenóico)	0,82	292,33
C18:3 (Ácido α -linolenico)	2,59	924,56
C20:2 (Ácido eicosadienóico)	—	—
C20:3 (Ácido Eicosatrienóico)	0,39	138,29
C20:4 (Ácido Araquidônico)	—	—
C22:0 (Ácido Behênico)	1,02	364,66
C22:1 (Ácido Erúcico)	—	—
C20:5 (Ácido Eicosapentaenóico—EPA)	1,85	662,13
C24:0 (Ácido Lignocérico)	—	—
C24:1 (Ácido Nervônico)	0,19	67,76
C22:6 (Ácido Docosaheptaenóico—DHA)	3,30	1.180,67
Total	—	35.739,83

A qualidade nutricional da fração lipídica pode ser avaliada por índices de qualidade como a razão AGP/AGS e a razão entre os ácidos graxos $\omega 6$ e $\omega 3$ ($\omega 6/\omega 3$). Para a razão AGP/AGS valores abaixo de 0,45 têm sido considerados indesejáveis à dieta por sua potencialidade na indução do aumento de colesterol sanguíneo. Por outro lado, valores de $\omega 6/\omega 3$ abaixo de 4,0 sugerem quantidades desejáveis à dieta, como prevenção aos riscos cardiovasculares (DHSS, 1984). No caso do pirarucu, os dois índices foram atendidos, visto que $AGP/AGS = 1,144$ e $\omega 6/\omega 3 = 0,05$, o que classifica a espécie como um alimento potencialmente saudável.

5.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

5.3.1. Planejamento fatorial fracionário

Os resultados experimentais de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água (a_w), para a desidratação osmótica do filé de pirarucu com aplicação de pulso de vácuo (PVOD), segundo o planejamento fracionário, são apresentados na Tabela 11. Observa-se que a PA máxima ocorreu no tratamento osmótico realizado com a maior concentração da solução osmótica e na maior temperatura (Corrida 2). Os resultados evidenciam também, que nas corridas realizadas com a concentração da solução osmótica em 10% de NaCl ocorreu o efeito de intumescimento (aumento de volume) das amostras, o qual é caracterizado por um valor de PA negativo. Segundo Ooizumi, Kawase e Kahane (2003), o aumento da umidade em amostras imersas em soluções com baixa concentração de NaCl (intumescimento), ocorre provavelmente devido a solubilidade das proteínas miofibrilares.

Tabela 11. Resultados para PA, GS e a_w obtidos experimentalmente para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu segundo o planejamento fatorial fracionário.

Corrida	T (°C)	t (min)	P (kPa)	C (%)	PA (%)	GS (%)	a_w
1	10 (-1)	10 (-1)	7 (-1)	10 (-1)	-6,51	3,78	0,950
2	40 (+1)	10 (-1)	7 (-1)	25 (+1)	17,71	10,23	0,877
3	10 (-1)	90 (+1)	7 (-1)	25 (+1)	11,68	5,40	0,935
4	40 (+1)	90 (+1)	7 (-1)	10 (-1)	-12,74	3,30	0,953
5	10 (-1)	10 (-1)	101 (+1)	25 (+1)	7,61	8,35	0,963
6	40 (+1)	10 (-1)	101 (+1)	10 (-1)	-0,26	3,99	0,955
7	10 (-1)	90 (+1)	101 (+1)	10 (-1)	-5,65	3,87	0,971
8	40 (+1)	90 (+1)	101 (+1)	25 (+1)	16,80	7,05	0,871
9	25 (0)	50 (0)	54 (0)	18 (0)	2,90	5,83	0,924
10	25 (0)	50 (0)	54 (0)	18 (0)	2,76	7,29	0,932
11	25 (0)	50 (0)	54 (0)	18 (0)	4,24	7,73	0,940

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de PA, GS e a_w foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 12. Os valores dos efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia na resposta estudada. O valor t indica a grandeza da variável em relação ao seu desvio, ou seja, quanto maior for o valor de t , maior é a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente p está

relacionado ao nível de significância do fator (variável independente) sobre as respostas em estudo (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2001).

Tabela 12. Efeito estimado, coeficiente ‘*t*’ e coeficiente ‘*p*’ para PA, GS e a_w na desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu segundo o planejamento fatorial fracionário.

Fatores	Perda de água (PA)			Ganho de sólidos (GS)			Atividade de água (a_w)		
	Efeito	t	p	Efeito	t	p	Efeito	t	p
Efeitos principais									
Temperatura (T) (°C)	3,592	6,203	0,025	0,793	1,131	0,376	-0,041	-7,364	0,018
Tempo (t) (min)	-2,116	-3,655	0,067	-1,685	-2,402	0,138	-0,004	-0,639	0,588
Pressão (P) (kPa)	2,092	3,612	0,069	0,138	0,196	0,863	0,011	1,999	0,184
Concentração (C) (%)	19,738	34,086	0,001	4,019	5,729	0,029	-0,046	-8,220	0,014
Efeito das interações									
T x t	-4,577	-7,903	0,016	-0,252	-0,359	0,754	2×10^{-4}	-0,0360	0,975
T x P	3,693	6,378	0,024	-1,381	-1,969	0,188	-0,013	-2,350	0,143
T x C	4,016	6,936	0,020	0,970	1,383	0,301	-0,035	-6,212	0,025

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Um efeito positivo indica que ao passar de um nível menor para um nível maior, o fator (variável) provoca um aumento na resposta. Este comportamento foi observado para o fator temperatura sobre a resposta PA e para o fator concentração de NaCl sobre as respostas PA e GS. Por outro lado, um efeito negativo indica que ao passar de um nível menor para um nível maior, o fator provoca uma redução na resposta, o que foi observado para os fatores temperatura e concentração de NaCl sobre a resposta a_w .

Os resultados apresentados na Tabela 12 indicam que os fatores estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) sobre a PA foram a temperatura, a concentração de NaCl e as interações temperatura x tempo de pulso de vácuo, temperatura x pressão, temperatura x concentração de NaCl. Para a resposta GS apenas o fator concentração de NaCl apresentou efeito significativo e para a a_w , além da concentração, a temperatura e a interação destas duas variáveis foram significativas.

De acordo com os resultados apresentados (Tabela 12), a concentração de NaCl na solução osmótica foi o fator que apresentou maior efeito significativo sobre todas as respostas analisadas (PA, GS e a_w), seguido pelo fator temperatura. Por outro lado, não foram observados efeitos isolados, estatisticamente significativos, dos fatores tempo de pulso de vácuo e pressão do pulso de vácuo sobre nenhuma das respostas estudadas.

Embora a pressão do pulso de vácuo pudesse ser desconsiderada na realização de um planejamento fatorial completo, optou-se por mantê-la, possibilitando um estudo mais aprofundado da sua influência no processo de OD do filé de pirarucu, visto que há poucas informações na literatura científica sobre a influência de pressões sub-atmosféricas sobre os mecanismos de difusão em tecidos animais e das modificações estruturais que ocorrem durante esse processo, especialmente para músculo de pescado (CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006a,b; CORZO; BRACHO, 2007a,b; CORZO et al., 2007).

Baseado no exposto e considerando que um planejamento fatorial fracionário é utilizado apenas como uma análise exploratória dos efeitos causados pelas variáveis no processo analisado, a concentração de NaCl na solução osmótica, a temperatura de processo e a pressão de pulso de vácuo foram as variáveis selecionadas para a realização de um planejamento fatorial completo na etapa seguinte do trabalho. O objetivo foi determinar os níveis destas variáveis operacionais, que resultarão nas melhores condições para a desidratação osmótica do filé de pirarucu, visando a maximização de PA e a minimização de GS e a_w .

5.3.2. Planejamento fatorial completo

Os níveis das variáveis utilizados no delineamento composto central rotacional 2^3 são apresentados na Tabela 13. O nível inferior ($-\alpha$) da variável concentração da solução osmótica foi alterado para 15% de NaCl, pois o planejamento fracionário indicou que para concentrações inferiores a esta houve ganho de água (PA negativo) (Figura 5c), quando o objetivo da OD é o aumento da PA. O tempo de pulso de vácuo foi fixado em 30 min, o que foi definido em função dos resultados do planejamento fracionário.

Tabela 13. Níveis dos fatores utilizados no delineamento composto central rotacional para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu.

Níveis	$-\alpha$ (-1,68)	-1	0	+1	$+\alpha$ (+1,68)
Temperatura (°C)	20	24	30	36	40
Pressão do pulso de vácuo (kPa)	7	26	54	82	101
Concentração (% NaCl)	15	17	20	23	25

Na Tabela 14, estão apresentados os valores de PA, GS e a_w , obtidos a partir dos experimentos de desidratação osmótica do filé de pirarucu com aplicação de pulso de vácuo, seguindo o delineamento composto central rotacional 2^3 .

Tabela 14. Resultados para PA, GS e a_w obtidos experimentalmente para a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu, segundo o delineamento composto central rotacional.

Corrida	T (°C)	P (kPa)	C (%)	PA (%)	GS (%)	a_w
1	24 (-1)	26 (-1)	17 (-1)	1,21	5,05	0,925
2	24 (-1)	26 (-1)	23 (+1)	7,18	8,41	0,912
3	24 (-1)	82 (+1)	17 (-1)	0,97	5,30	0,921
4	24 (-1)	82 (+1)	23 (+1)	8,63	8,58	0,897
5	36 (1)	26 (-1)	17 (-1)	3,76	5,80	0,941
6	36 (1)	26 (-1)	23 (+1)	11,39	9,87	0,897
7	36 (1)	82 (+1)	17 (-1)	2,49	7,41	0,919
8	36 (1)	82 (+1)	23 (+1)	11,38	8,03	0,883
9	20 (-1,68)	54(0)	20 (0)	3,93	7,48	0,912
10	40 (+1,68)	54 (0)	20 (0)	6,73	7,21	0,923
11	30 (0)	7 (-1,68)	20 (0)	6,78	7,11	0,918
12	30 (0)	101 (+1,68)	20 (0)	3,79	5,50	0,924
13	30 (0)	54 (0)	15 (-1,68)	-0,28	5,27	0,944
14	30 (0)	54 (0)	25 (+1,68)	11,03	7,11	0,877
15	30 (0)	54 (0)	20 (0)	4,75	7,40	0,924
16	30 (0)	54 (0)	20 (0)	4,18	7,54	0,921
17	30 (0)	54 (0)	20 (0)	4,04	7,02	0,926

Observa-se que a máxima perda de água e a menor atividade de água foram obtidas quando os experimentos foram realizados em temperaturas mais elevadas e em soluções mais concentradas, assim como também ocorreu no planejamento fracionário. Verificou-se também que a menor concentração usada, definida a partir dos resultados dos experimentos do planejamento fracionado, ainda favoreceu o fenômeno de intumescimento (Experimento 13).

Na Tabela 15, encontram-se os resultados da análise de variância (ANOVA) aplicada aos dados experimentais de PA, GS e a_w , determinados através do erro puro, a um intervalo de confiança de 95%, segundo o delineamento composto central rotacional do tipo 2^3 . Segundo Barros Neto, Scarmino e Bruns (2001), 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. Portanto, para assegurar que a regressão seja significativa estatisticamente e o modelo útil para fins preditivos, o valor do $F_{\text{calculado}}$ para a regressão deve ser no mínimo 4 a 5 vezes maior que do F_{tabelado} . Por outro lado, o F da falta de ajuste, em relação ao erro puro, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto valor de F indica uma grande falta de ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 15. Efeito estimado, coeficiente ‘*t*’ e coeficiente ‘*p*’ para PA, GS e a_w na desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo do filé de pirarucu, segundo o delineamento composto central rotacional.

Fatores*	Perda de água (PA)			Ganho de sólidos (GS)			Atividade de água (a_w)		
	Efeito	t	p	Efeito	T	p	Efeito	t	p
Efeitos principais									
Temperatura (T) (L)	2,308	11,430	0,008	0,488	3,307	0,081	0,000	0,122	0,914
Temperatura (T) (Q)	0,929	4,175	0,053	0,346	2,129	0,167	-0,006	-3,802	0,063
Concentração (C) (L)	7,207	35,687	0,001	2,115	14,342	0,005	-0,034	-23,116	0,002
Concentração (C) (Q)	0,962	4,326	0,050	-0,472	-2,905	0,101	-0,011	-7,041	0,020
Pressão (P) (L)	-0,747	-3,697	0,066	-0,367	-2,485	0,131	-0,007	-4,552	0,045
Pressão (P) (Q)	0,896	4,028	0,057	-0,392	-2,411	0,137	-0,004	-2,303	0,148
Efeito das interações									
T x C	0,722	2,738	0,112	-0,486	-2,525	0,128	-0,011	-5,628	-0,026
T x P	-0,625	-2,368	0,141	-0,161	-0,836	0,491	-0,004	-2,270	-0,019
C x P	0,742	2,812	0,107	-0,883	-4,583	0,044	-0,001	-0,380	-0,016

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

De acordo com a ANOVA (Tabela 15), os fatores temperatura e concentração da solução osmótica apresentaram efeito linear significativo ($p \leq 0,05$) positivo sobre a resposta PA, indicando que um aumento nestes fatores provocou um aumento na resposta PA, no domínio experimental avaliado. Foi também observado um efeito quadrático do fator concentração da solução osmótica sobre PA. Para a resposta GS foi também observado um efeito linear significativo ($p \leq 0,05$) positivo do fator concentração da solução osmótica, além de um efeito combinado deste fator com a pressão. Para a a_w foi observado efeito linear significativo ($p \leq 0,05$) negativo dos fatores concentração da solução osmótica e da pressão, indicando que um aumento nos níveis destes fatores provocou a redução da a_w do produto. Foi também observado um efeito quadrático do fator concentração da solução osmótica e um efeito combinado deste fator com a temperatura sobre a a_w .

Em geral, o parâmetro que apresentou maior efeito sobre todas as respostas foi a concentração da solução osmótica. Esse mesmo comportamento foi observado por Maciel (2014) para a PVOD do filé de mapará. Ribeiro et al. (2008) verificaram que o parâmetro que apresentou maior efeito sobre a PA e GS, na desidratação osmótica de filé de mapará, foi a temperatura. Maciel et al. (2012) observaram maiores efeitos das variáveis temperatura e concentração da solução osmótica, na desidratação osmótica de filé de pirarucu.

Através da ANOVA para a regressão, apresentada na Tabela 16, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando o teste F, para todas as variáveis em estudo, segundo o delineamento composto central rotacional do tipo 2³. Segundo Barros Neto, Scarmino e Bruns (2001), 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. Portanto, para assegurar que a regressão seja significativa estatisticamente e o modelo útil para fins preditivos, o valor do $F_{\text{calculado}}$ para a regressão deve ser no mínimo 4 a 5 vezes maior que do F_{tabelado} . Por outro lado, o F da falta de ajuste, em relação ao erro puro, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto valor de F indica uma grande falta de ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 16. ANOVA para PA, GS e a_w durante desidratação osmótica do filé de pirarucu com aplicação de pulso de vácuo, segundo o delineamento composto central rotacional.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)	F _c /F _t (>4)	R ²
Perda de água (PA)							
Regressão	197,934	3	65,978	58,648	3,41	17,199	0,943
Resíduo	14,625	13	1,125				
Falta de ajuste	14,347	11	1,304	9,376	19,16	0,489	
Erro puro	0,278	2	0,139				
Total	209,865	16	—	—	—	—	
Ganho de sólidos (GS)							
Regressão	16,815	2	8,408	10,883	3,74	2,910	0,600
Resíduo	10,816	14	0,773				
Falta de ajuste	10,667	12	0,889	11,984	19,00	0,631	
Erro puro	0,148	2	0,074				
Total	28,014	16	—	—	—	—	
Atividade de água (a _w)							
Regressão	0,005	4	0,001	18,983	3,26	5,823	0,883
Resíduo	0,001	12	0,000				
Falta de ajuste	0,001	10	0,000	9,856	19,25	0,512	
Erro puro	0,000	2	0,000				
Total	0,005	16	—	—	—	—	

SS: soma quadrática; GL: grau de liberdade; MS: média quadrática.

Os modelos propostos para as respostas PA e a_w indicam que, além de significativos os modelos podem ser utilizados para fins preditivos no domínio experimental avaliado, pois apresentaram regressão significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$) e $F_{\text{calculado}}$ pelo menos 4 vezes superior ao F_{tabelado} , para regressão. Baseado no coeficiente de determinação (R^2) obtido observou-se que o modelo explicou 94,30% e

88,30% da variação dos dados experimentais para PA e a_w , respectivamente. Por outro lado, embora o modelo ajustado para o GS tenha apresentado regressão significativa, a relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ para a regressão foi inferior 4 e o valor do R^2 indicou que o modelo explicou apenas 60% da variação dos dados experimentais. Sendo assim, o modelo quadrático para a_w não pode ser utilizado para fins preditivos. Os modelos quadráticos para a PA, o GS e a a_w , durante a PVOD do filé de pirarucu são apresentados nas Equações (22), (23) e (24).

$$\begin{aligned} PA = & 24,14 - 0,899T + 0,013T^2 - 1,81C + 0,054C^2 - 0,107P + 5,6 \times 10^{-4}P^2 + 0,020TC \\ & - 1,9 \times 10^{-3}TP + 4,4 \times 10^{-3}CP \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} GS = & -22,39 + 0,049T + 4,9 \times 10^{-3}T^2 + 2,12C - 0,027C^2 + 0,140P + 2,0 \times 10^{-4}P^2 - 0,014TC \\ & - 5,0 \times 10^{-4}TP - 5,3 \times 10^{-3}CP \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} a_w = & 0,496 + 0,012T - 8,6 \times 10^{-5}T^2 + 0,029C - 6,4 \times 10^{-4}C^2 - 6,1 \times 10^{-4}P - 2,0 \times 10^{-6}P^2 \\ & - 3,0 \times 10^{-4}TC - 1,3 \times 10^{-5}TP - 4,0 \times 10^{-6}CP \end{aligned} \quad (24)$$

As superfícies de resposta e suas respectivas curvas de nível geradas pelo modelo proposto para PA (Equação 22) são apresentadas na Figura 5. O comportamento apresentado ratificou o que foi observado nos resultados obtidos na análise estatística, onde a PA foi favorecida pelo aumento da concentração de NaCl na solução osmótica (Figura 5a), o que pode ser atribuído ao aumento do gradiente osmótico entre o produto e a solução. O aumento da temperatura também favoreceu um aumento da PA (Figuras 5a e 5b), o que pode estar relacionado com o aumento da permeabilidade da membrana celular, e ainda com a redução da viscosidade da solução osmótica, que faz com que a resistência externa à transferência de massa diminua (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; UDDIN; AINSWORTH; IBANOGLU, 2004). Observa-se também que para temperatura (Figura 5b) e concentração de NaCl (Figura 5c) elevadas, a pressão do pulso de vácuo praticamente não interfere na resposta PA.

Na Figura 6 são apresentadas as superfícies de resposta e suas respectivas curvas de nível, para a resposta GS, as quais confirmam o que foi estabelecido pela análise estatística. Neste caso as curvas são apresentadas apenas para indicar as tendências, já que o modelo proposto (Equação 23) não pode ser considerado preditivo. Observa-se uma tendência do aumento do GS quando o processo de OD foi realizado nos níveis de concentração da solução osmótica (Figura 6a) mais elevados.

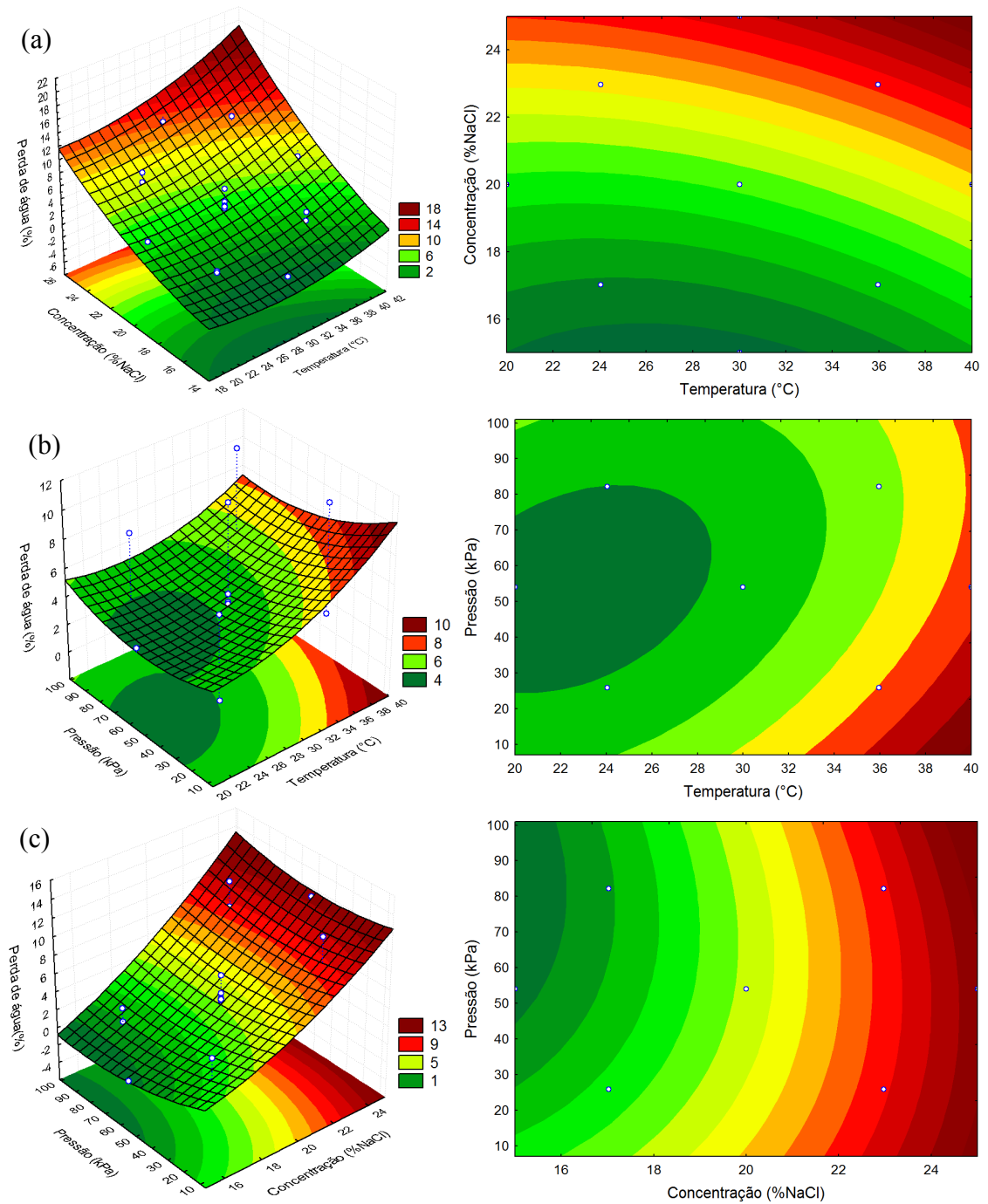


Figura 5. Superfícies de resposta e curvas de nível para PA relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa), (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl) e (c) pressão do pulso e concentração ($T = 30^{\circ}\text{C}$).

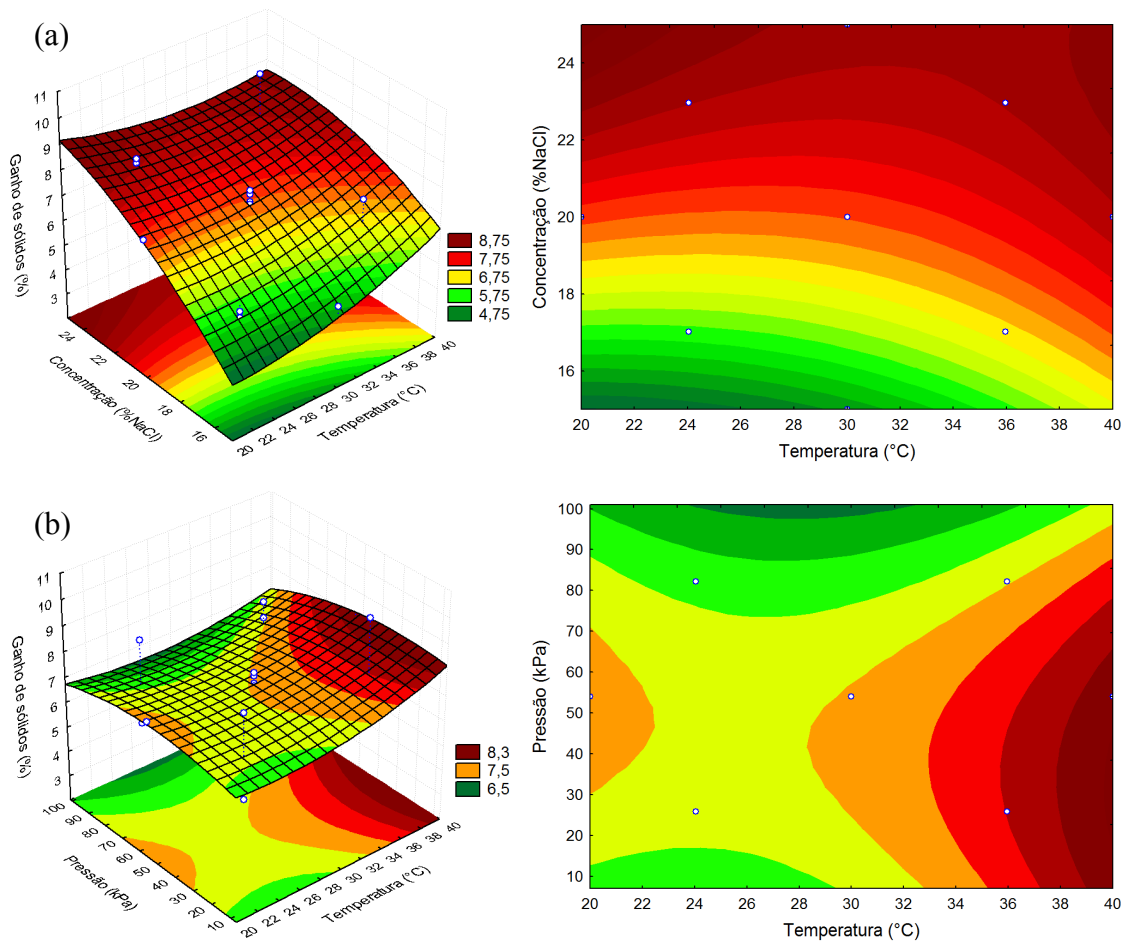


Figura 6. Superfícies de resposta e curvas de nível para GS relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa) e (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl).

Na Figura 7 são apresentadas as superfícies de resposta e as respectivas curvas de nível, para a resposta a_w . Os menores valores de a_w foram observados quando os maiores níveis de temperatura (Figuras 7a e 7b), concentração de NaCl na solução osmótica (Figuras 7a e 7c) e pressão de pulso de vácuo (Figuras 7b e 7c) foram utilizadas na OD.

A partir dos resultados obtidos com o delineamento composto central rotacional e através da função desejabilidade foi possível definir as condições operacionais otimizadas para a PVOD do filé de pirarucu, no domínio experimental avaliado. Os seis primeiros perfis da Figura 8 são relativos à variação da razão sinal/ruído para cada fator (PA, GS e a_w), mantendo fixos os outros no valor crítico, para cada resposta. Os perfis apresentados na coluna desejabilidade mostram a faixa da resposta de desejabilidade aceitável ($0 \leq d_i \leq 1$). Os três últimos perfis apresentados na última linha mostram a desejabilidade individual para cada fator e a desejabilidade global. As linhas verticais, em vermelho, correspondem aos valores ótimos dos fatores avaliados. Dessa forma, a função desejabilidade definiu como condições operacionais ótimas para a PVOD do filé de pirarucu: $T = 35^\circ\text{C}$, $C = 25\%$ NaCl e $P = 101$

kPa, a partir da qual foram estimados valores para as respostas de: PA = 14,82%, GS = 6,15% e $a_w = 0,85$, para uma desejabilidade global de 0,999.

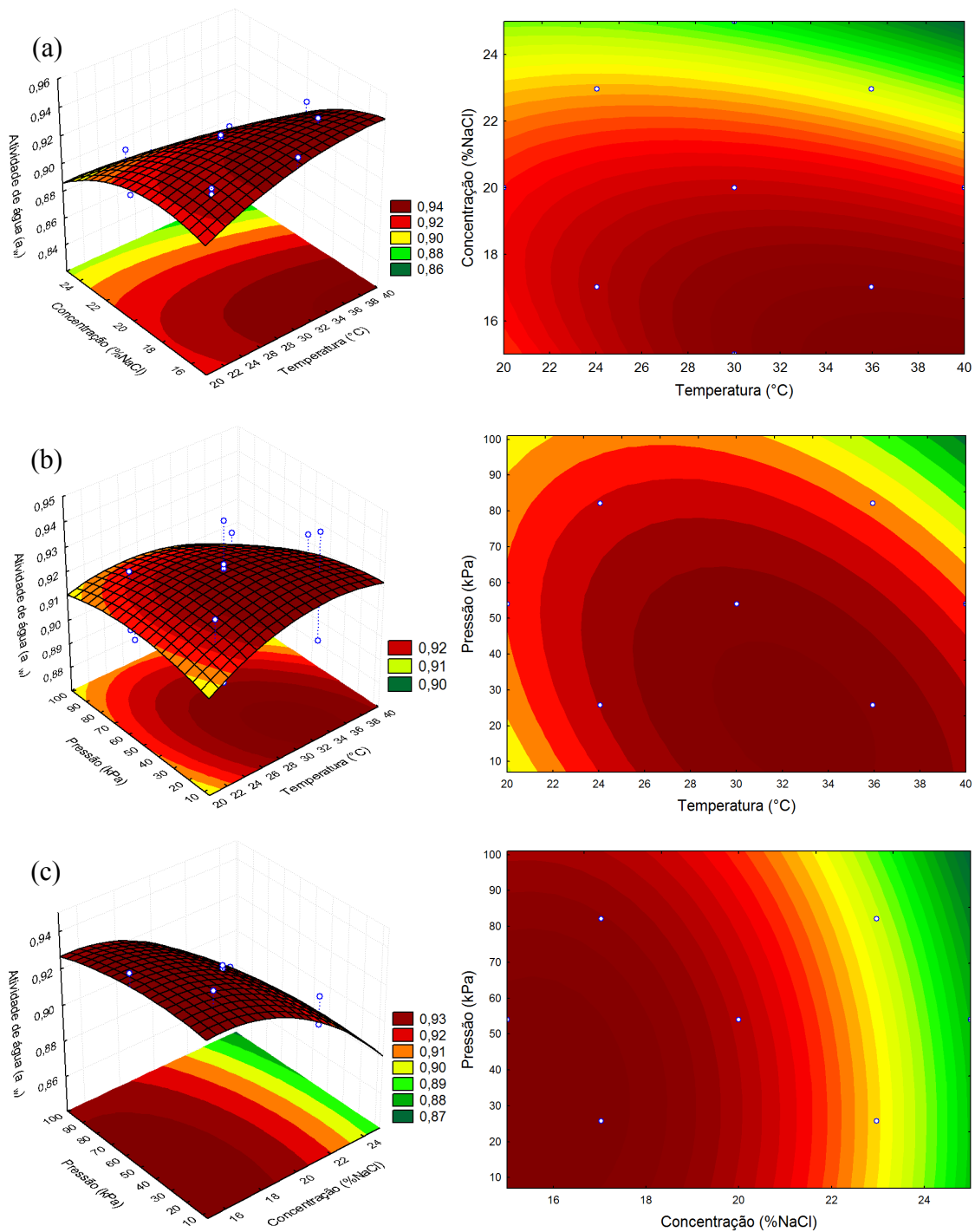


Figura 7. Superfícies de resposta e curvas de nível para a_w , relacionando: (a) concentração e temperatura ($P = 54$ kPa), (b) pressão do pulso e temperatura ($C = 20\%$ NaCl) e (c) pressão do pulso e concentração ($T = 30^\circ\text{C}$).

Ensaios de OD para o filé de pirarucu realizados, em quintuplicata, na condição ótima definida pela função desejabilidade ($T = 35^\circ\text{C}$, $C = 25\%$ NaCl e $P = 101$ kPa), com um tempo

total de processo de 90 min, forneceram valores de $14,87 \pm 1,46\%$ para PA, $8,56 \pm 0,45\%$ para GS e $0,87 \pm 0,02$ para a_w . Os valores experimentais de PA e a_w convergiram bem para os valores estimados pela função desejabilidade e pelas Equações (22) e (23), respectivamente, enquanto o valor experimental de GS apresentou uma menor convergência para o valor estimado, o que é atribuído a baixa correlação do modelo polinomial aos dados experimentais de GS (Equação 24), no planejamento fatorial completo.

Maciel et al. (2012) observaram como condição ótima para OD de filé de pirarucu à pressão atmosférica: $T = 49^\circ\text{C}$ e $C = 28\%$ NaCl; Simões (2007) encontrou como condição otimizada para a OD de filé de tilápia, em solução binária (Água e NaCl) e pressão atmosférica: $T = 34^\circ\text{C}$ e $C = 24,6\%$ NaCl; e Maciel (2014) estabeleceu como condição ótima, para o processo de OD de filé de mapará: $C = 25\%$ NaCl, $T = 25^\circ\text{C}$, $t = 120$ min e $P = 101$ kPa (pressão atmosférica).

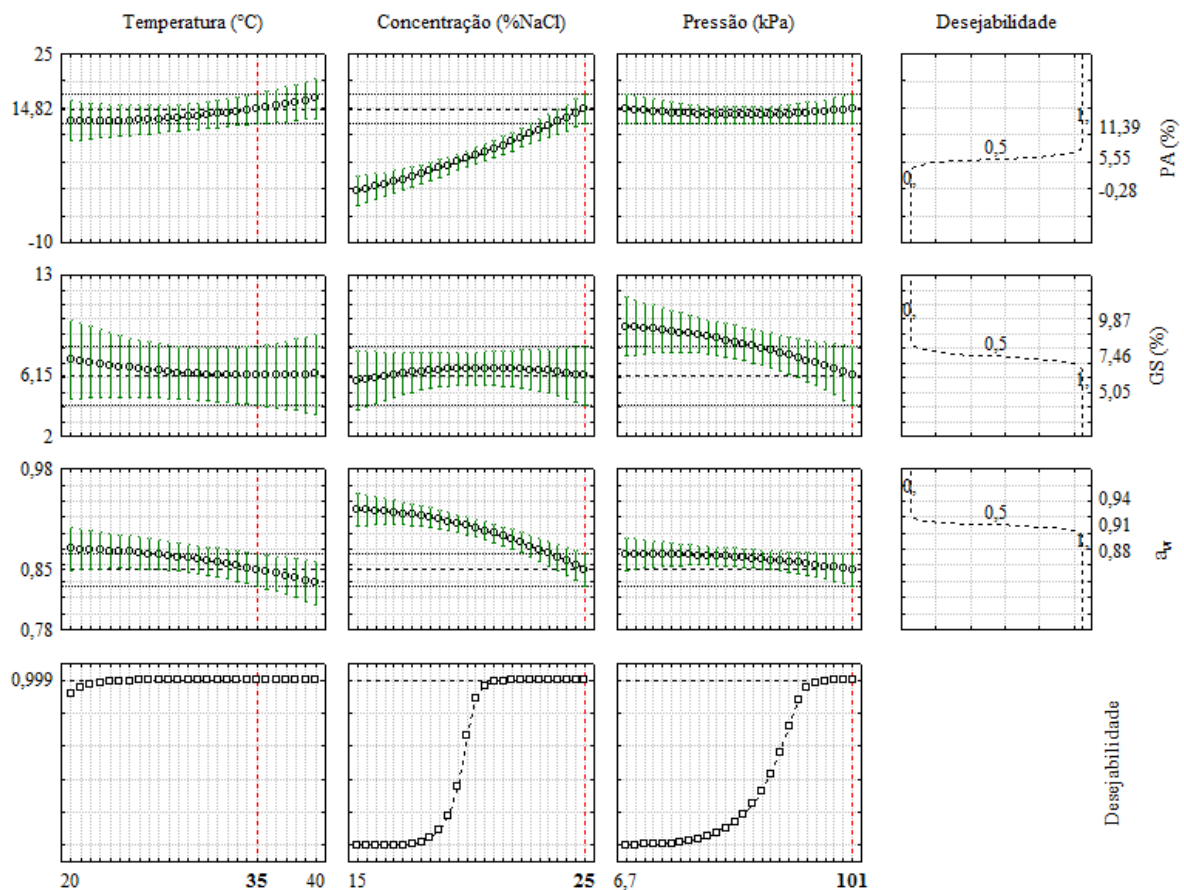


Figura 8. Perfil dos valores preditos/otimizados e da desejabilidade para o delineamento composto central rotacional aplicado ao processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu.

5.3.3. Cinética da desidratação osmótica

As cinéticas da OD do filé de pirarucu para os parâmetros PA, GS e a_w , são apresentados na Figura 9. O acompanhamento da cinética foi realizado em função dos tempos de processo e conduzidos a 35°C, em solução salina a 25% de NaCl e a pressão atmosférica de 101,3 kPa (condição otimizada).

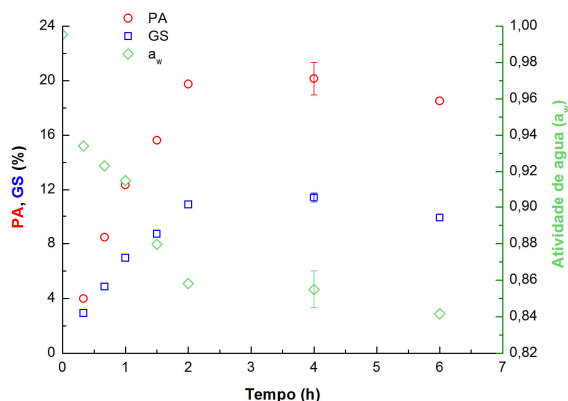


Figura 9. Cinética de PA, GS e a_w durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu, na condição otimizada ($T = 35^\circ\text{C}$, $C = 25\%$ NaCl e $P = 101\text{ kPa}$).

Observa-se que durante a OD do filé de pirarucu ocorreu o aumento da PA e do GS, que foi mais acentuado nas duas primeiras horas e é atribuído a força motriz responsável pela difusão de água e de sólidos entre o produto e a solução hipertônica no início do processo. No início do processo os gradientes de pressão osmótica e de concentração, entre o produto e a solução osmótica são maiores, favorecendo as taxas de PA e GS. Com o avanço do processo esses gradientes vão diminuindo gradativamente, até a condição de equilíbrio seja atingida (RASTOGI; RAGHAVARAO, 1997; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002). Por outro lado, o maior aumento da PA e GS nas duas primeiras horas de processo provocou uma acentuada redução na a_w do produto, a qual permaneceu praticamente invariável a partir desse tempo, atingindo o valor de 0,84 (Figura 12).

O valor da difusividade efetiva (D_{eff}) para a OD do filé de pirarucu foi de $3,59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para PA e $3,49 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para GS. Estes valores foram superiores aos observados por Ribeiro (2005), Corzo e Bracho (2007a,b) e Gallart-Jornet et al. (2007) para D_{eff} de PA e GS durante a OD de filés de mapará, sardinha, bacalhau e salmão ($10^{-10} - 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$). Por outro lado, foram da mesma ordem de grandeza ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) observada por Medina-Vivanco, Sobral e Hubinger (2002), para a OD de filés de tilápia.

A difusividade efetiva é uma das propriedades mais conveniente para descrever o processo de difusão em meios sólidos, que têm uma intrincada rede de poros e em sistemas químico e estruturalmente complexos, onde as espécies difusoras percorrem um caminho heterogêneo (VARZAKAS et al., 2005). Em termos de difusividade, a razão entre a difusividade efetiva da água e a difusividade efetiva dos sólidos pode ser utilizada como índice de eficiência para a desidratação osmótica (MERCALI, 2009). No presente estudo foi determinado um índice de 1,03, o que indica a boa eficiência do processo, onde o objetivo foi maximizar a perda de água e minimizar a incorporação de sólidos.

5.3.4. Modelagem matemática da cinética de desidratação osmótica

Os valores dos parâmetros dos modelos e dos parâmetros estatísticos dos ajustes dos modelos propostos por Azuara et al. (1992) e Peleg (1988), aos dados experimentais da cinética de OD do filé de pirarucu, são apresentados na Tabela 17. Os valores dos coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$) e dos RMSE ($< 2,35$), com valores de P para a regressão menores que 0,0001, indicaram que os dois modelos testados podem ser utilizados com boa precisão na predição das cinéticas de PA e GS, para a OD do filé de pirarucu, no domínio experimental, como pode ser observado na Figura 10. Simões (2007) verificou que o modelo de Azuara et al. (1992) se ajustou bem à cinética de OD de filés de Tilápia, em solução binária.

Para o modelo de Azuara et al. (1992), a velocidade com que o processo atingiu o equilíbrio (PA^∞ ou GS^∞) pode ser avaliada segundo os valores do parâmetro S, sendo que quanto maior o valor de S, maior é a difusão da água ou de sólidos por unidade de tempo. Dessa forma, foi possível comprovar, através dos valores praticamente iguais de S_1 e S_2 , que os processos de PA e GS atingiram o equilíbrio em um mesmo tempo. Maciel (2014) encontrou valores inferiores de S ($S_1 = 0,36 \text{ h}^{-1}$ e $S_2 = 1,02 \text{ h}^{-1}$), para a modelagem da cinética de OD do filé de mapará, valores estes que também indicaram que o equilíbrio para o GS foi atingido bem mais rápido que para a PA.

Tabela 17. Valores dos parâmetros estimados para os modelos propostos por Azuara et al. (1992) e Peleg (1988) ajustados aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica de filé de pirarucu, e dos parâmetros estatísticos dos ajustes.

Perda de água (PA)				Ganho de sólidos (GS)					
Modelo de Azuara									
S ₁	PA [∞]	R ²	RMSE	S ₂	GS [∞]	R ²	RMSE		
1,61	21,46	0,972	2,24	1,50	11,79	0,963	1,11		
Modelo de Peleg									
K ₁	K ₂	PA [∞]	R ²	RMSE	K ₃	K ₄	GS [∞]	R ²	RMSE
0,027	0,047	21,32	0,971	2,34	0,059	0,085	11,83	0,964	1,11

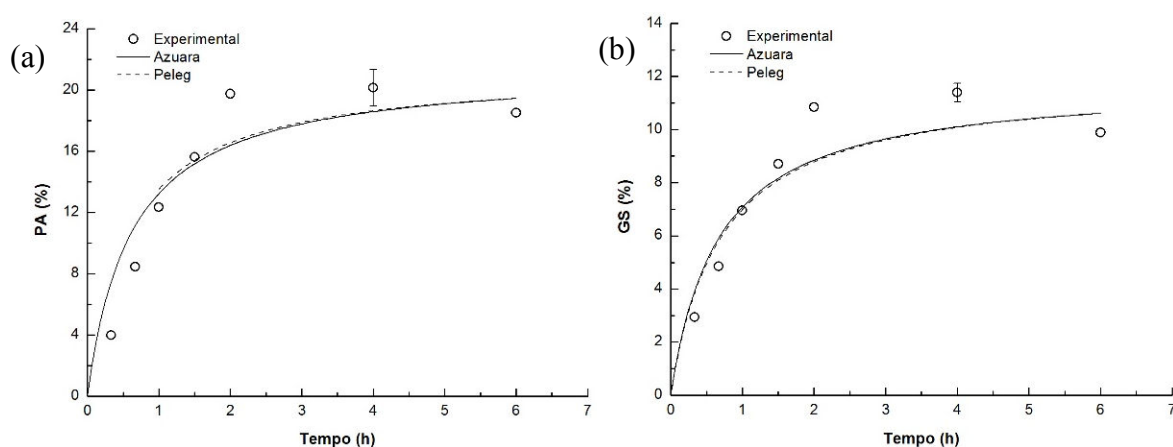


Figura 10. Ajuste dos modelos propostos por Azuara et al. (1992) e Peleg (1988) aos dados da cinética de PA (a) e GS (b), durante o processo de desidratação osmótica de filé de pirarucu.

As constantes de velocidade do modelo de Peleg, para PA (k_1 e k_2) e GS (k_3 e k_4), definem as taxas de transferência de massa inicial, onde baixos valores de k indicam elevadas taxas de PA ou GS, no início do processo de OD. Dessa forma, pode-se afirmar que para o processo de OD do filé de pirarucu, as taxas iniciais de PA foram superior as taxas de GS, o que é desejável em um processo de OD. Corzo e Bracho (2006a), ao aplicarem o modelo de Peleg para estudar as transferências de massa durante a OD de filés de Sardinha, encontraram valores superiores para os parâmetros k ($k_1 = 0,391 \text{ h}^{-1}$; $k_2 = 1,033 \text{ h}^{-1}$; $k_3 = 1,630 \text{ h}^{-1}$; $k_4 = 3,558 \text{ h}^{-1}$), usando solução osmótica com concentração de 24% NaCl e 34 °C. Corzo e Bracho (2006b) predisseram valores $PA^\infty = 23,9\%$ e $GS^\infty = 8,3\%$, para o processo de OD de filés de sardinha, através do modelo de Azuara.

5.4. SECAGEM

5.4.1. Cinética de secagem

As curvas de secagem do filé de pirarucu desidratado na condição ótima da OD, para as diferentes temperaturas de secagem (40, 50, 60 e 70°C) são apresentadas na Figura 11. Embora as curvas tenham apresentado o mesmo comportamento geral, é possível observar que o aumento da temperatura de 40°C para 50 °C favoreceu a perda de água, ou seja, aumentou as taxas de secagem, o que pode ser comprovado através dos valores da difusividade efetiva ($D_{\text{eff}} = 10,85 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para 40°C e $D_{\text{eff}} = 12,30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para 50°C). Para a secagem realizada a 60°C, o valor da D_{eff} se manteve praticamente no mesmo nível ($11,89 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$), mas para a secagem realizada a 70°C ocorreu uma redução no valor deste parâmetro ($D_{\text{eff}} = 10,98 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) (Tabela 18).

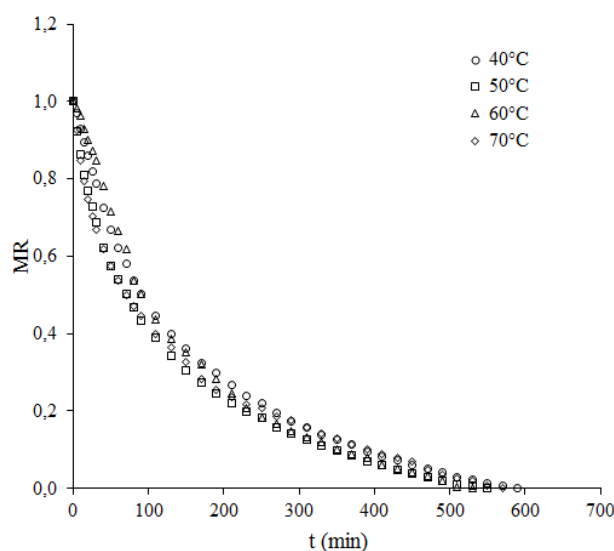


Figura 11. Curvas de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente, para secagens realizadas a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.

Tabela 18. Valores dos coeficientes de difusão (D_{eff}) e dos coeficientes de determinação (R^2) para as diferentes condições de secagem do filé de pirarucu desidratado osmoticamente.

Temperatura de secagem	$D_{\text{eff}} \times 10^9 (\text{m}^2/\text{s})$	R^2
40°C	10,85	0,995
50°C	12,30	0,989
60°C	11,89	0,997
70°C	10,98	0,980

Segundo Shenouda (1980), a influência do NaCl sobre a capacidade de redução da umidade de músculos de peixes salgados, pode ser atribuída aos efeitos da desnaturação de

proteínas, pela ação do sal. De acordo com Lassen (1965), Sanchez e Lam (1965) e Jonsson et al. (2001), o NaCl provoca a desnaturação de proteínas do pescado, e consequentemente a diminuição da solubilidade das mesmas, fazendo com que as proteínas percam sua capacidade de retenção de água. A redução das forças de ligação proteína-água favorece então o processo de remoção da água do produto, o que foi observado na medida em que aumentou a temperatura de secagem, de 40°C para 50°C.

A desnaturação das proteínas pode facilitar a difusão da água do músculo do peixe, no entanto, em concentrações elevadas de NaCl, maiores temperaturas de secagem podem favorecer uma maior interação entre os componentes musculares e o soluto, especialmente a miosina (NKETSIA-TABIRI; SEFA-DEDEH, 1995). A natureza hidrofílica do NaCl e as possíveis mudanças estruturais/bioquímicas podem ter contribuído para ocorrência do comportamento observado para as secagens realizadas a 60°C e 70°C.

O coeficiente de difusão (D_{eff}) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem interferir na migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva (OLIVEIRA et al. 2006). No geral, a ordem dos valores de D_{eff} (10^{-9} m²/s) para a secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, no domínio experimental avaliado, foi superior a encontrada para a secagem de outras espécies de pescados (10^{-10} m²/s) (MEDINA-VIVANCO, 2003; RIBEIRO, 2005; PEZANTES, 2006; SIMÕES, 2007; RIBEIRO, 2009; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015). Todos os valores citados variaram dentro da faixa encontrada para materiais biológicos (10^{-12} - 10^{-8} m²/s), relatada por Zogzas, Maroulis e Marinos-Kouris (1996).

5.4.2. Modelagem matemática das curvas de secagem

Os valores do coeficiente de determinação (R^2), do qui-quadrado (χ^2) e do erro médio relativo quadrático (RMSE), utilizados para avaliar o ajuste dos modelos matemáticos aos dados de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, nas diferentes condições estudadas, são apresentados na Tabela 19. Os valores de $R^2 > 0,98$, $\chi^2 < 0,005$ e $\text{RMSE} < 0,07$ indicam que todos os modelos testados são capazes de prever com boa precisão as cinéticas de secagem do produto, porém o modelo de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições avaliadas, seguido pelo modelo Dois termos; ambos com quatro parâmetros. O modelo de Page, por ter apresentado um bom ajuste e possuir apenas dois

parâmetros, o que facilita a sua solução matemática, pode ser utilizado para efeitos práticos na predição da cinética de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, no domínio experimental avaliado.

Tabela 19. Valores dos parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, para secagem a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.

	Parâmetros estatísticos					
	R ²	$\chi^2 \times 10^4$	RMSE	R ²	$\chi^2 \times 10^4$	RMSE
	40°C			50°C		
Newton	0,993	7,0	0,026	0,973	24,0	0,049
Page	0,998	2,0	0,015	0,997	2,0	0,015
Page Modificado	0,998	2,0	0,015	0,997	2,0	0,015
Henderson e Pabis	0,995	5,0	0,022	0,989	1,0	0,032
Dois Termos Exponencial	0,998	2,0	0,014	0,994	5,0	0,022
Logaritmico	0,996	2,0	0,012	0,990	10,0	0,030
Aproximação da Difusão	0,999	2,0	0,013	0,999	1,0	0,010
Verma	0,999	2,0	0,013	0,999	1,0	0,010
Midilli	0,999	1,0	0,010	0,999	1,0	0,007
Dois Termos	0,999	2,0	0,012	0,999	1,0	0,010
	60°C			70°C		
Newton	0,997	4,0	0,019	0,951	41,0	0,063
Page	0,997	4,0	0,019	0,996	4,0	0,019
Page Modificado	0,997	4,0	0,019	0,996	4,0	0,019
Henderson e Pabis	0,997	3,0	0,017	0,980	17,0	0,040
Dois Termos Exponencial	0,997	4,0	0,019	0,984	14,0	0,037
Logaritmico	0,998	3,0	0,017	0,984	15,0	0,037
Aproximação da Difusão	0,999	3,0	0,017	0,998	2,0	0,013
Verma	0,997	4,0	0,019	0,998	2,0	0,013
Midilli	0,999	3,0	0,016	0,999	1,0	0,010
Dois Termos	0,998	3,0	0,016	0,998	2,0	0,013

O ajuste dos modelos de Page e de Midilli aos dados experimentais de secagem é apresentado na Figura 12. Djendoubi et al. (2009) e Sobukola e Olatunde (2011) observaram que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem de sardinha (*Sardina pilchardus*) e bagre africano (*Clarias gariepinus*). Já Martins, Martins e Pena (2015) identificaram o modelo de Midilli com melhor ajuste na predição de cinéticas de secagem de pirarucu salgado, seguido do modelo Aproximação da difusão e Page.

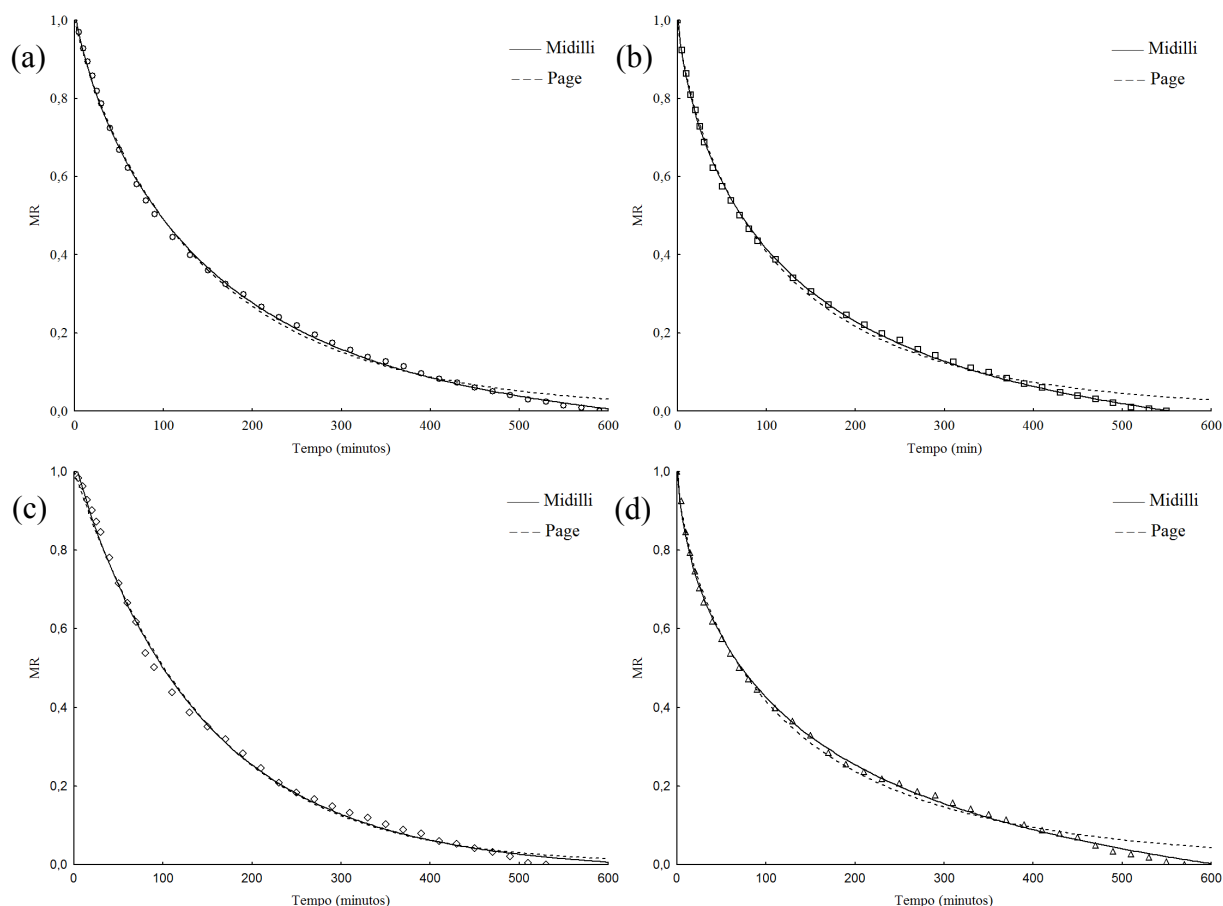


Figura 12. Curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco a 40°C (a), 50°C (b), 60°C (c) e 70°C (d) e as curvas preditas pelos modelos de Page e de Midilli.

5.5. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade para o pirarucu osmoticamente desidratado e seco, com 10% de NaCl, são apresentadas na Figura 13. De acordo com a classificação proposta por Blahovec e Yanniotis (2009), as isotermas do produto apresentaram comportamento tipo II. O tipo II (sigmóide) é a forma mais comum de isotermas para alimentos e, segundo Salwin (1963), é característica de produtos amiláceos e proteicos. Hubinger et al. (2009) observaram isotermas tipo II para filé de Bonito (*Sarda sarda*) desidratado/defumado, enquanto Molina-Filho et al. (2003) observaram isotermas tipo III para Tambaqui (*Colossoma macroporum*) osmoticamente desidratado (10-30% NaCl). Martins, Martins e Pena (2015) observaram isotermas tipo II para pirarucu salgado e seco, com até 20% de NaCl, e isotermas tipo III, para o produto com concentração de NaCl superior a esta.

O processo de sorção do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco não foi completamente reversível, o que é caracterizado pela diferença entre as isotermas de adsorção e dessorção de umidade (Figura 13), denominada de efeito de histerese. Segundo Caurie

(2007), o efeito de histerese pode ser utilizado como um índice de qualidade para alimentos, onde uma histerese pronunciada é indicativo de baixa estabilidade e a uma pequena histerese ou ausência da mesma é indicativo de uma maior estabilidade do produto durante o armazenamento.

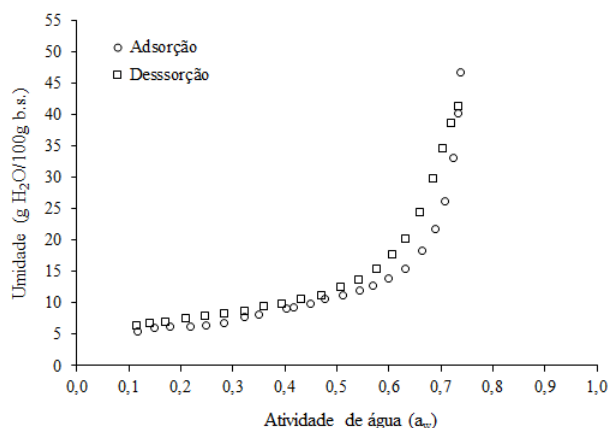


Figura 13. Isotermas de sorção de umidade do pirarucu osmoticamente desidratado e seco.

A monocamada é o nível de umidade na qual um produto alimentício apresenta sua maior estabilidade aos processos degradativos diversos. Os valores da monocamada (m_0) determinados para o filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco foram de 5,04 g H₂O/100 g ($R^2 = 0,992$) para a adsorção e 6,02 g H₂O/100 g ($R^2 = 0,998$) para a dessorção. Com base no valor de m_0 para a dessorção, não é recomendado que a secagem do pirarucu osmoticamente desidratado se estenda até níveis de umidade inferiores a 6 g H₂O/100 g b.s., para evitar gastos desnecessários, visto que abaixo de m_0 há um aumento exponencial na quantidade de energia envolvida no processo de secagem (ROCKLAND, 1969; MISHRA; RAI, 1996). Por outro lado, de acordo com o valor de m_0 para a adsorção do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco terá sua maior estabilidade deteriorativa, quando apresentar 5 g H₂O/100 g b.s. de umidade. Porém foi observado que o produto já terá assegurada a sua estabilidade microbiológica quando apresentar 14 g H₂O/100 g b.s. de umidade ($a_w < 0,6$) (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980).

Com base no elevado valor de R^2 , e pequenos valores de P e RMSE, verificou-se que o modelo de GAB foi ajustado aos dados de sorção de umidade do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco com boa precisão e pode ser utilizado na a predição das isotermas de adsorção ($R^2 = 0,966$; P = 15,8; RMSE = 2,05) e dessorção ($R^2 = 0,980$; P = 12,2; RMSE = 1,54) de umidade do produto. Os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais de adsorção e dessorção de umidade do produto podem ser observados na Figura 14. O modelo de GAB foi também o que melhor se ajustou aos dados de dessorção de

umidade de filé de bonito salgado e defumado (HUBINGER et al., 2009), e aos dados de adsorção e dessorção de pirarucu salgado seco (MARTINS; MARTINS; PENA, 2015).

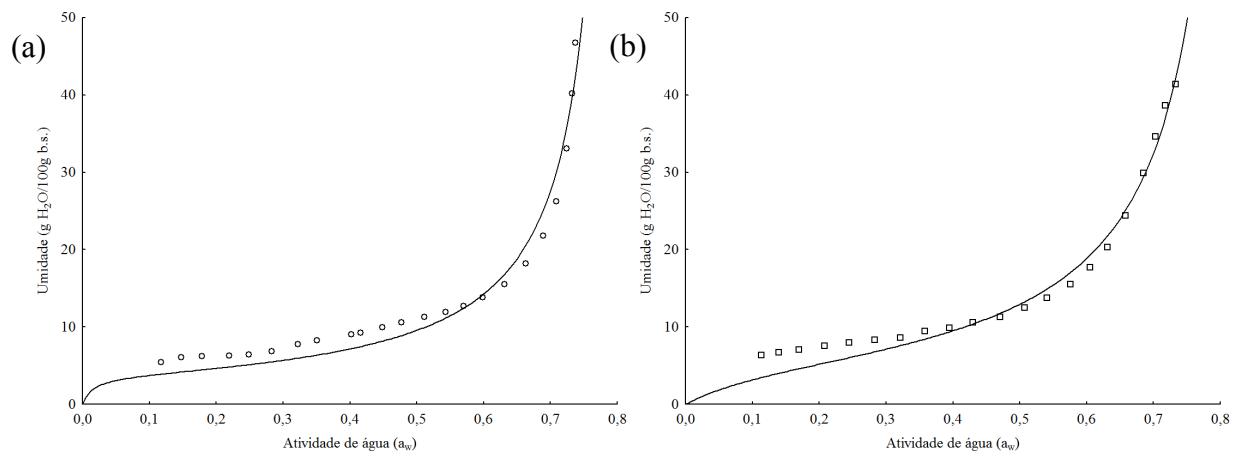


Figura 14. Isotermas de (a) adsorção e (b) dessorção de umidade, do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco, experimentais (marcadores) e preditas pelo modelo de GAB (linha).

6. CONCLUSÃO

A composição centesimal do músculo do dorso, do ventre e da cauda do pirarucu foi aproximadamente a mesma, sendo a proteína o constituinte majoritário. Por sua vez, a ventrecha apresentou o maior teor de proteínas e de lipídios, e a menor umidade. Potássio, sódio e magnésio foram os minerais mais abundantes em todos os cortes do pirarucu.

O perfil de aminoácidos indicou que aproximadamente 50% das proteínas do músculo do dorso do pirarucu são constituídas por aminoácidos essenciais, sendo a lisina o majoritário. Por sua vez, a fração graxa do músculo da ventrecha do peixe apresentou 43% de ácidos graxos saturados, 49% de monoinsaturados e 8% de poli-insaturados.

O planejamento fatorial fracionário apontou a concentração da solução osmótica, a temperatura e a pressão de pulso de vácuo como as variáveis com maior influência no processo de desidratação osmótica (OD) do filé de pirarucu.

O planejamento fatorial completo indicou a concentração da solução osmótica como o fator que apresentou maior efeito sobre a perda de água (PA), o ganho de sólidos (GS) e a atividade de água (a_w), durante a OD do filé de pirarucu, e a metodologia de superfície de resposta juntamente com a função desejabilidade definiram como condições operacionais ótimas para o processo de OD: 35°C, solução osmótica com 25% NaCl e pressão atmosférica.

A difusividade efetiva (D_{eff}) para a OD do filé de pirarucu foi de $3,59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para PA e $3,49 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para GS, e os modelos de Azuara e Peleg se mostraram eficientes na predição das cinéticas de PA e GS durante o processo.

As taxas de transferência de massa não foram fortemente influenciadas pela temperatura de secagem, na faixa de 40°C a 70°C, tendo a difusividade efetiva variado de $10,85 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a $12,30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. O modelo de Page foi eficiente na predição das cinéticas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado.

As isotermas de sorção do filé de pirarucu osmoticamente desidratado e seco apresentaram comportamento tipo II, as quais foram preditas com boa precisão pelo modelo de GAB. A sorção de umidade indicou que o produto desidratado poderá ser seco até 5,7 g $\text{H}_2\text{O}/100 \text{ g}$ de umidade, mas já terá a sua estabilidade microbiológica assegurada com 12,3 g $\text{H}_2\text{O}/100 \text{ g}$ de umidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.
- AL-MUHTASEB, A. H.; AL-HARAHSEHB, M.; HARARAH, M.; MAGEED, T. R. A. Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 171-177, 2010.
- ALVES, D. G.; JUNIOR, J. L. B.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 1, p. 99-103, 2005.
- ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M.S.; ARGÁIZ, A.; WELTI, J. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. **Food Research International**, v. 26, n. 2, p. 125-130, 1993.
- ANDERSON, R. B. Modifications of the Brunauer, Emmett and Teller Equation. **Journal of the American Chemical Society**, v. 68, n. 4, p. 686-691, 1946.
- ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696-701, 2008.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. (16th ed.). Gaithersburg: AOAC, 1997.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Gaithersburg: AOAC, 2003.
- ARANTES, C. C.; CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; CETRA, M.; QUEIROZ, H. L. Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. **Ecology & Freshwater Fish**, v. 19, p. 455-465, 2010.
- ARAÚJO, C. S. O.; GOMES, A. L.; TAVARES-DIAS, M.; ANDRADE, S. M. S.; BELEM-COSTA, A.; BORGES, J. T.; QUEIROZ, M. N.; BARBOSA, M. Parasitic infections in pirarucu fry, *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimatidae) kept in a semi-intensive fish farm in Central Amazon, Brazil. **Veterinarski arhiv**, v. 79, p. 499-507, 2009.
- ARAYA-FARIAS, M.; RATTI, C. Dehydration of foods: general concepts. In: RATTI, C. **Advances in Food Dehydration**. New York: CRC Press, 2009. p. 311-389.
- ARBALLO, J. R.; BAMBICHA, R. R.; CAMPAÑONE, L. A.; AGNELLI, M. E.; MASCHERONI, R. H. Mass transfer kinetics and regression-desirability optimization during osmotic dehydration of pumpkin, kiwi and pear. **International Journal of Food and Technology**, v. 47, n. 2, p. 306-314, 2012.
- ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico de resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291-295, 2004.
- AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 27, p. 409-418, 1992.

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos-pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora UNICAMP, 2001. 401 p.
- BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 72-77, 2009.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.
- BELL, J. G.; SARGENT, J. R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. **Aquaculture**, v. 218, n. 1-4, p. 491-499, 2003.
- BIRKELAND, S.; SIVERTSVIK, M.; NIELSEN, H. H.; SKARA, T. Effects of brining conditions on weight gain in herring (*Clupea harengus*) fillets. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 418-424, 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, n. 4, p. 451-469, 1998.
- BONE, Q. Locomotor muscle. In: RANDALL, D. J.; CONTE, F. P. **Fish physiology**. New York: Academic Press, 1978. p. 361-424.
- BORIN, I.; FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, 2008.
- BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 de janeiro de 2001. Seção 1, p. 45.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 34, de 18 de junho de 2004. Aprova as normas gerais para o exercício da pesca do pirarucu na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 22 de junho de 2004. Seção 1, p. 74.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 01, de 30 de maio de 2008. Proíbe de 1º de junho a 30 de novembro a captura, o transporte, a armazenagem e a comercialização do pirarucu no estado do Acre. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 30 de maio de 2008. Seção 1, p. 99.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº1, de 07 de outubro de 1981. Aprova os Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 13 de outubro de 1981. Seção XI.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº185, de 13 de maio de 1997. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (inteiro e eviscerado). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 de maio de 1997. Seção 1, p. 10.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério de Estado do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 5, de 21 de maio de 2004. Reconhece como espécies ameaçadas de extinção e espécies sobre-exploradas ou ameaçadas de sobre-exploração, os invertebrados aquáticos e peixes, que constam nos anexos desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 28 de maio de 2004, Seção 1, p. 136 - 142.

BRASIL. Ministério de Estado do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 24, de 4 de julho de 2004. Proíbe, anualmente, na bacia hidrográfica dos rios Araguaia-Tocantins, a captura, o transporte, a comercialização e a armazenagem do pirarucu, no período de 1º de outubro a 31 de março. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 06 de julho de 2005, Seção 1.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (idr) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 de setembro de 2005. Seção 1, p. 10.

BRENNAN, J. G. **Dielectric and Osmotic Drying**. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. London: Elsevier Science, 2003, p.1938-1942.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003. 260 P.

CALZETTA, A. N. R.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Drying characteristics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 197-203, 2004.

CAMPOS, C. D. M.; SATO, A. C. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 2, p. 357-365, 2012.

CASTELLO, L. A method to count pirarucu: fishers, assessment and management. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 24, p. 379-389, 2004.

CASTELLO, L. Lateral migration of the arapaima in floodplains of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 17, p. 38-46, 2008a.

CASTELLO, L. Nesting habitat of pirarucu *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. **Journal of Fish Biology**, v.72, n.6, p. 1520-1528, 2008b.

CASTELLO, L.; STEWART, D. J. Assessing CITES non-detriment findings procedures for Arapaima in Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 26, n. 1, p. 49-56, 2010.

CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; ARANTES, C. C. Modeling population dynamics and conservation of arapaima in the Amazon. **Reviews in Fish Biology & Fisheries**, v. 21, p. 621-640, 2011.

CASTRILLÓN, A. M.; ALVÁREZ-PONTES, E.; GARCÍA ARIAS, M. T.; NAVARRO, P. Influence of frozen storage and defrosting on the chemical and nutritional quality of Sardine (*Clupea pilchardus*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70; p. 29-34, 1996.

CAURIE, M. Hysteresis phenomenon in foods. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, p. 45-49, 2007.

- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A. M.; FONSECA, F. A. L.; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; ONO, E. A. Tolerance of pirarucu juveniles to increasing ammonia concentration in a closed environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 513-516, 2004.
- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSU, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. Stocking density effect on alimentary efficiency in juveniles pirarucu (*Arapaima gigas*) in a confined environment. **Acta Amazônica**, v. 33, p. 631-637, 2003a.
- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. Stocking density effect growth homogeneity juvenile pirarucu in confined environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 103-107, 2003b.
- CHÁFER, M.; PÉREZ, S.; CHIRALT, A. Kinetics of solute gain and water loss during osmotic dehydration of orange slices. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 6, p. 389-396, 2003.
- CHAIJAN, M.; SOOTTAWAT, B.; VISESSANGUAN, W.; FAUSTMAN, C. Changes of lipids in sardine (*Sardinella gibbosa*) muscle during iced storage. **Food Chemistry**, v. 99, p. 83-91, 2006.
- CHAVAN, U. D. Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 2, p. 201-209, 2012.
- CHENLO, F.; MOREIRA, G.; PEREIRA, G.; AMPUDIA, A. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 4, p. 347-352, 2002.
- CHENLO, F.; MOREIRA, R.; FERNÁNDEZ-HERRERO, C.; VÁZQUEZ, G. Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 2, p. 164-173, 2006.
- CHIRALT, A.; FITO, P. Transport mechanisms in osmotic dehydration: the role of the structure. **Food Science and Technology International**, v. 9, p. 179-186, 2003.
- CHU-KOO, F.; DUGUÉ, R.; ALVÁN AGUILAR, M.; CASANOVA DAZA, A.; ALCÁNTARA BOCANEGRA, F.; CHÁVEZ VEINTEMILLA, C.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J. F.; TELLO, S.; NÚÑEZ, J. Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 β -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology & Biochemistry**, v. 35, p. 125-136, 2009.
- 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.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 409p.
- CORRÊA, J. L. G.; DEV, S. R. S.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, v. 29, n. 13, p. 1556-1561, 2011.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin inodel. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 51-56, 2005.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 535-541, 2006a.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Equilibrium water and salt contents of sardine sheets during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 535-541, 2006b.

- CORZO, O.; BRACHO, N.; MARVAL, J. Color change kinetics of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 21-26, 2006a.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; MARVAL, J. The use of fractional conversion technique on firmness change kinetics of vacuum pulse osmotic dehydration sardine sheets. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 358-363, 2006b.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 1452-1458, 2007a.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Water effective diffusion coefficient of sardine sheets during osmotic dehydration at different brine concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 497-502, 2007b.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRÍGUEZ, J.; GONZÁLEZ, M. Predicting the moisture and salt contents the sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 781-790, 2007.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414 p.
- CRESCÊNCIO, R. **Treinamento alimentar de alevinos de pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829), utilizando atrativos alimentares**. 2001. 35f. Dissertação: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade do Amazonas, Manaus, 2001.
- CRESCÊNCIO, R.; ITUASSU, D. R.; ROUBACH, R.; PEREIRA FILHO, M.; CAVERO, B. A. S.; GANDRA, A. L. Influência do período de alimentação no consumo e ganho de peso do pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 40, n.12, p. 1217-1222, 2005.
- CURREY, J. D. Mechanical properties and adaptations of some less familiar bony tissues. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 3, p. 357-372, 2010.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Brasil: Artmed, 2010. 890 p.
- DECAGON DEVICES. **Vapor Sorption Analyzer: Operator's Manual**. Washington: Decagon Devices, 2015. 95 p.
- DEL VALLE, J. M.; CUADROS, T. R. M.; AGUILERA, J. M. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**, v. 31, n. 3, p. 191-204, 1998.
- DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 84-93, 2008.
- DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980
- DEUMIER, F. Pulsed-vacuum immersion of chicken meat and skin in acid solutions. Effects on mass transfers, colour and microbial quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, n.3, p. 277-286, 2004.
- DEUMIER, F.; BOHUON, P.; TRYSTRAM, G.; SABER, N.; COLLIGNAN, A. Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 75-83, 2003.
- DHSS (Department Of Health and Social Security). **Diet and cardiovascular disease**. Report on Health and Social Subjects, n. 28. London: HMSO, 1984.

DIAS, A. F. **Salga e secagem do pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829), com aplicação de coletores solares**. 1983. 133 f. Dissertação (Biologia de Água Doce e Pesca Interior): Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1983.

DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, v. 13, p. 425-435, 1995.

DIONELLO, R. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007.

DJENDOUBIA, N.; BOUDHRIOUA, N.; BONAZZIB, C.; KECHAOU, N. Drying of sardine muscles: Experimental and mathematical investigations. **Food and Bioproducts Processing**, v. 87, n. 2, p. 115-123, 2009.

DOE, P. E. **Fish drying & smoking: Production and quality**. Lancaster: Editorial Technomic, 1998. 250p.

DOWNES, F. P.; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological. Examinations of Foods**. 4th. ed. Washington: APHA, 2001. 676 p.

ECHARTE, M.; ZULET, M. A.; ASTIASARAN, I. Oxidation process affecting fatty acids and cholesterol in fried and roasted salmon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5662-5667, 2001.

ERICKSON, M. C. Lipid Oxidation of muscle foods. In: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008.

ESCOBAR, M. P.; GALINDO, F. G.; WADSO, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 313-317, 2007.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, n. 4, p. 373-405, 2007.

FANTE, C.; CORRÊA, J.; NATIVIDADE, M.; LIMA, J.; LIMA, L. Drying of plums (*Prunus sp, c.v Gulfblaze*) treated with KCl in field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, 2011.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Protein quality evaluation: report of a joint FAO/WHO expert consultation group**. Food and nutrition paper, 1991. 72 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO expert consultation group**. Food and nutrition paper, 2002. 284 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Fisheries and aquaculture topics: Vitamins and minerals**. FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2005.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Fats and fatty acids in human nutrition: report of an expert consultation**. Food and nutrition paper, 2009. 189 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO Global Aquaculture Production Volume and Value Statistics Database Updated to 2012**. FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2014.

- FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. (3th ed.). Boca Raton: CRC Press, 2009. 928p.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492-498, 2006.
- FERRARIS JR, C. J. Family Arapaimatidae. In: REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JR., C. J. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre: Edipucrs, 2003. 742 p.
- FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 1-4, p. 313-328, 1994.
- FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, n. 3, p. 229-240, 1996.
- FITO, P.; CHIRALT, A. **An approach to the modeling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration**. New York: Chapman & Hall, 1997. 252 p.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHÁFER, M.; MARTINÉS-MONZO, J.; ANDRÉS, A.; VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 175-183, 2001.
- FOGAÇA, F. H. S.; OLIVEIRA, E.G.; CARVALHO, S. E. Q.; SANTOS, F. J. S. Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 95-99, 2011.
- FRANKEL, E. N. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. **Food Chemistry**, v. 57, p. 51-55, 1996.
- GALLART-JORNET, L.; BARAT, J. M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. A Comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morthua*) and Atlantic salmon (*Salmo solar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 261-270, 2007.
- GASPAR JR, J. C.; VIEIRA, R. H. S. F.; TAPIA, M. S. R. Aspectos sanitários do pescado de origem de água doce e marinha comercializado na feira de Gentilândia - Fortaleza. **Revista Higiene Alimentar**, v. 11, n. 51, p. 20-23, 1997.
- GIANNINI, D. H. Determinación de nitrógeno básico volátil (NBV) en pescado: consideraciones generales. **Alimentaria: Revista de tecnologia e higiene de los alimentos**, v. 40, n. 343, p. 49-54, 2003.
- GONZAGA JR., M. A. **Avaliação da qualidade de filés de pirarucu (*Arapaima gigas*, CUVIER 1829), refrigerados e embalados sob atmosfera modificada**. 2010. 74 f. Dissertação: Universidade Federal do Rio Grande, 2010.
- GRAM, L.; HUSS, H. H. Microbial spoilage of fish and fish products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 121-137, 1996.
- GUINAZI, M.; MOREIRA, A. P. B.; SALARO, A. L.; CASTRO, F. A. F.; DADALTO, M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Composição química de peixes de água doce frescos e estocados sob congelamento. **Acta Scientiarum Technology**, v. 28, n. 2, p. 119-124, 2006.
- HE, K.; DAVIGLUS, M. L.; LIU, K.; HORN, L. V. H.; DYER, A. R.; GOLDBOURT, U.; GREENLAND, P. Fish consumption and incidence of stroke - a meta-analysis of cohort studies. **Stroke**, v. 35, p. 1538-1542, 2004.

- HEREDIA, A.; PEINADO, I.; BARRERA, C.; GRAU, A. A. Influence of process variables on color changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 4, p. 285-294, 2009.
- HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A., Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 2, p. 103-107, 2001.
- HUBINGER, M. D.; VIVANCO-PEZANTES, D.; KUROZAWA, L. E.; SOBRAL, P. J. A. Isotermas de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 305-311, 2009.
- HUSS, H. H.; JAKOBSEN, M.; LISTON, J. **Quality Assurance in the Fish Industry**. Amsterdã: Elsevier Science Publishers, 1992. 602 p.
- IGLESIAS, H.A; CHIRIFE J. **Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food component** (1.ed.). New York: Academic Press, 374 p., 1982.
- IMBIRIBA, E. P. Potencial de criação de pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. **Acta Amazônica**, v. 31, n. 2, p. 299-316, 2001.
- JESUS, R. S.; LESSI, E.; TENUTA FILHO, A. Estabilidade química e microbiologia de “mincedfish” de peixes amazônicos durante o congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 144-148, 2001.
- JOKIC, A.; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGÓ, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 47-51, 2007.
- JONSSON, A.; SIGURGISLADOTTIR, S.; HAFSTEINSSON, H.; KRISTBERGSSON, K. Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets measured by different methods in comparison to expressible moisture. **Aquaculture Nutrition**, v. 7, n. 2, p. 81-89, 2001.
- JUNK, W. J.; SOARES, M. G. M.; BAYLEY, P. B. Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, n. 2, p. 153-173, 2007.
- KAREL, M. Water activity and food preservation. In: FENNEMA, O.R. **Principles of food science: physical principles of food preservation**. New York, Marcel Dekker, v. 4, p. 237-265, 1975.
- KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. A study of mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 84-95, 2006.
- KIM, H. J.; MIN, D. B. Chemistry of lipid oxidation. In: AKOH, C. C; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008. p. 299-320.
- KLEWICKI, R.; UCZCIWEK, M. Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructo oligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. **Agricultural and Food Science**, v. 17; p. 367-375, 2008.
- KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 391-403, 2003.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Heat and mass transfer coefficients in drying: Compilation of literature data. **Drying Technology**, v.20, n. 1, p. 1-18, 2002.

- KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. **Advanced drying technologies** (2th ed.). Boca Raton: CRC Press, 2009. 438p.
- KYRANA, V. R.; LOUGOVOIS, V. P. Sensory, chemical and microbiological assessment of farm-raised European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in melting ice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 319-328, 2002.
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v. 22, p. 263-272, 1986.
- LASSEN, S. Technological problems in heat treatment of fish requiring more knowledge from fundamental nesearch. In: Kreuzer, R. **The Technology of Fish Utilization**, London: Fishing News, 1965.
- LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 151-166, 1995.
- LEITÃO, M. F. F. Microbiologia e deterioração do pescado fresco e refrigerado de origem fluvial ou marinha. In: KAI, M.; RUIVO, U. E. **Controle de qualidade do pescado**. Santos: Leopoldianum, 1988. p.40-58.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391-413, 1996.
- LEWICKI, P. P.; LENART, A. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In: MUJUMDAR, A. S. (3 ed). **Handbook of industrial drying**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. p. 665-687.
- LI, H.; ZHAO, C.; GUO, Y.; AN, K.; DING, S.; WANG, Z. Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 5, p. 954-960, 2012.
- LIMA, M. M.; MUJICA, P. I. C.; LIMA, A. M. Chemical characterization and evaluation of yield in caranha fillets (*Piaractus mesopotamicus*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 41-46, 2012.
- LOMBARD, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pré-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 277-284, 2008.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations: Part II - milk, coffe, tea, nut, oilseeds, spices and starchy foods, **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.
- LOURENÇO, L. F. H.; FERNANDES, G. M. L.; CINTRA, I. H. A. Características físicas, químicas e microbiológicas da pescada-branca (*Plagioscion squamosissimus*) salgada e seca em secador solar. **Boletim Técnico Científico CEPNOR/IBAMA**, v. 1, n. 1, p. 135-144, 2001.
- LUZIA; L. A.; SAMPAIO; G. R.; CASTELLUCCI, C. M. N.; TORRES, E. A. F. S. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. **Food Chemistry**, v. 83, p. 93-97, 2003.
- MACHADO, M. R. F.; FORESTI, F. Rendimento e composição química do filé de *Prochilodus lineatus* do rio Mogi Guaçu, Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 663-670, 2009.
- MACIEL, R. A.; VIANA, C. M. C.; SIMÕES, M. G.; FONTELLES, M. J. P. Desidratação osmótica de filé de pirarucu (*Arapaima gigas*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, n. 1, p. 618-629, 2012.

- MACIEL, R. A. **Desidratação osmótica à vácuo do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 2014. 76 f. Tese (Ciência e Tecnologia de Alimentos): Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- MAIA E. L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; FRANCO, M. R. B. Fatty acids of the total, neutral, and phospholipids of the Brazilian freshwater fish *Prochilodus scrofa*. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 6, n. 4, p. 240-251, 1994.
- MAIA, E. L.; OLIVEIRA, C. C. S.; SANTIAGO, A. P.; CUNHA, F. E. A.; HLANDA, F. C. A. F.; SOUSA, J. A. Composição química e classes de lipídios em peixe de água doce Curimatã comum, *Prochilodus cearensis*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, 1999.
- MAROUZÉ, C.; GIROX, F.; COLLIGNAN, A.; RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 207-221, 2001.
- MARTINS, M. G. **Secagem e comportamento higroscópico do pirarucu (*Arapaima gigas*) em diferentes níveis de cloreto de sódio**. 2013. 28 f. Trabalho de conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos): Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 144-151, 2015.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 29-37, 2011.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2003.
- MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p. 199-205, 2002.
- MEDINA-VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2003. 199 f. Tese (Faculdade de Engenharia de Alimentos): Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- MENEZES, R. S. Notas biológicas e econômicas sobre o pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier). **Serviço de Informação Agrícola/Ministério da Agricultura**, v. 3, p. 9-39, 1951.
- MERCALI, G. D. **Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de banana (*Musa sapientum*, shum)**. 2009. 145 f. Dissertação (Faculdade de Engenharia química): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 5, p. 557-566, 2006.
- MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, 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**, v. 26, n. 2, p. 453-458, 2006.
- MONNERAT, S. M.; PIZZI, T. R. M.; MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: concentration profiles and effective diffusion coefficients. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 4, p. 604-612, 2010.

- MOREIRA, A. B.; VISENTAINER, J. V.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M. Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian Brycon freshwater fishes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.14, p.565-574, 2001.
- MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura). **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasil, 2013. 60 p.
- MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO A.; LOPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANES, J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 305-314, 2003.
- NJINKOUÉ, J. M.; BARNATHAN, G.; MIRALLES, J.; GAYDOU, E. M.; SAMB, A. Lipids and fatty acids in muscle, liver and skin of three edible fish from the Senegalese coast: *Sardinella maderensis*, *Sardinella aurita* and *Cephalopholis taeniops*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.131, n. 3, p. 395-402, 2002.
- NKETSIA-TABIRI, J.; SEFA-DEDEH, S. Optimisation of process conditions and quality of salted dried tilapia (*Oreochromis niloticus*) using response surface methodology. **Journal Science Food Agriculture**, v. 69, p. 117-127, 1995.
- NUNES, M. L.; PEDRO, S. Tecnologias tradicionais: salga do pescado. In: GONÇAVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 607 p.
- NÚÑEZ, J.; CHU-KOO, F.; BERLAND, M.; ARÉVALO L.; RIBEYRO, O.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J.F. Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 815-822, 2011.
- OGAWA, M. Tecnologia do Pescado. In: OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. São Paulo: Livraria Varela, 430 p., 1999.
- OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. São Paulo: Livraria Varela, 1999.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 181-189, jan./abr. 2006.
- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. Sensorial, physicochemical and microbiological assessment of pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) during ice storage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 1, 67-74, 2014.
- OOIZUMI, T.; KAWASE, M.; KAHANE, Y. Permeation of sodium chloride into fish meat and its effect on moisture content as a function of the osmotic pressure of the soaking solution. **Fisheries Science**, v. 69, p. 830-835, 2003.
- OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 655-663, 2005.
- OSMAN, H.; SURIAH, A. R.; LAW, E. C. Fatty acid composition and cholesterol content of selected marine fish in Malaysian waters. **Food Chemistry**, v.73, n. 1, p.55-60, 2001.
- OSORIO, C.; FRANCO, M. S.; CASTAÑO, M. P.; GONZÁLEZ-MIRET, M. L.; HEREDIA, F. J.; MORALES, A. L. Colour and flavor changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 3, p. 353-359, 2007.
- OZOGUL, Y.; OZOGUL, F. The effects of slaughtering methods on the freshness quality of rainbow trout. **European Food Research and Technology**, v. 219, n.3, p. 211-216, 2004.

- PACHECO-AGUILAR, R.; LUGO-SÁNCHEZ, M. E.; ROBLES-BURGUEÑO, M. R. Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0°C. **Journal of Food Science**, v.65, n. 1, p. 40-47, 2000.
- PANADÉS, G.; FITO, P.; AGUIAR, Y.; VILLAVICENCIO, M. N.; ACOSTA, V. Osmotic dehydration of guava: Influence of operating parameters on process kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 4, p. 383-389, 2006.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Estudo da secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 21, p. 288-292, 2001.
- PEDRO, S.; NUNES, M. L. Tecnologias tradicionais: secagem do pescado. In: GONÇAVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 607 p.
- PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1217, 1988.
- PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 562-567, 2007.
- PEREIRA-FILHO, M.; CAVERO, B. A. S.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. Cultivo do Pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado. **Acta Amazônica**, v. 33, p. 715-718, 2003.
- PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Criação de Pirarucu. In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L. C. **Criação de Espécies Nativas de Peixes**. Santa Maria: UFSM, 2005. p. 37-66.
- PHISUT, N. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 7-18, 2012.
- PIGOTT, G.; TUCKER, B. **Seafood: Effects of Technology on Nutrition**. New York: Marcel Dekker, 1990. 390 p.
- PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, Rio Grande, n.6, p. 33-49, 1996.
- PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R.; STANLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20 n. 10, p. 125-128, 1966.
- PRANDL, O.; FISCHER, A.; SCHMIDHOFER, T.; SINELL, H. J. **Tecnología higiene de la carne**. Zaragoza: Editorial Acribia, SA., 1994.
- QUEIROZ, H. L.; SARDINHA, A. D. A preservação e o uso sustentado dos pirarucus em Mamirauá. In: QUEIROZ, H. L.; CRAMPTON, W. G. **Estratégias para o manejo de recursos pesqueiros em Mamirauá**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá, 1999. p. 108-141.
- RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I. L.; HIANE, P. A.; SOUZA, E. M. T. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 361-365, 2008.
- RAOULT, A. L., LAFONT, F., RIOS, G.; GUILBERT, S. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. In: MUJUMDAR, A. S. **Drying**, Hemisphere Corporation, 1989.
- RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.
- RAOULT-WACK, A. L.; GUILBERT, S.; LEMAGUER, M.; RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media - Part 1: Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). **Drying Technology**, v. 9, p. 589-612, 1991.

- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. **Food Science and Technology**, v. 29, n. 7, p. 669-672, 1996.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 429-440, 1997.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel-Wissenschaftund Technologie**, v. 37, n. 1, p. 43-47, 2004.
- 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.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2, p. 311-319, 2001.
- RIBEIRO, S. C. A. **Estudo do processo de desidratção osmótica e secagem de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 2005. 288 f. Tese (Engenharia de Alimentos): Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- RIBEIRO, C. F. A. **Processamento da piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*): desidratção osmótica, defumação e secagem**. 2009. 243 f. Tese (Engenharia Agrícola): Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- RIBEIRO, S. C. A.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D.; RIBEIRO, C. F. A.; ARAUJO A. A. F.; TOBINAGA, S. Otimização da desidratção osmótica de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) através da metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 485-492, 2008.
- ROCKLAND, L. B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, v. 23, p. 1241-1251, 1969.
- ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 34, n. 4, p. 42-59, 1980.
- ROBIN, J. H.; VINCENT, B. Microparticulate diets as first food for gilthead seabream larva (*Sparus aurata*): study of fatty acid incorporation. **Aquaculture**, p. 463-474, 2003.
- RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, S.; SILVA, L. H. M. Fatty acid profiles and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*), patawa (*Oenocarpusbataua*), tucumã (*Astrocaryumvulgare*), mari (*Poraqueibaparaensis*) and inaja (*Maximilianamaripa*). **Fruits Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 21, n. 10, p. 2000-2004, 2010.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas: Editora Casa do Pão, 2005. 325 p.
- RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 678-687, 2007.
- RÓZEK, A.; ACHAERANDIO, I.; GÜELL, C.; LÓPEZ, F.; FERRANDO, M. Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 59-68, 2009.
- RUIZ-LÓPEZ, I. I., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E., COBOS-VIVALDO, R.; HERMAN-LARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal. **Journal of Food Engineering**, v. 89, p. 310-318, 2008.

- SALVATORI, D.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 21, p. 59-73, 1998.
- SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, n. 9, p. 1114-1121, 1963.
- SANCHEZ, J. T.; LAM, R. C. **Principios técnicos de salado y secado del pescado: estudio químico de la sal en el litoral**. La Punta: Institui del Mar del Peru, 37 p., 1965.
- SÄNGER, A. M.; STOIBER, W. Muscle fiber diversity and plasticity. In: JOHNSTON, I. A. **Muscle development and growth**. London: Academic Press, 2001. p. 187-250.
- SANTOS, G. M.; SANTOS, A. C. M. Sustentabilidade da pesca na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 165-182, 2005.
- SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J. F.; CORRA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 103-114, 2001.
- SHENOUDA, S. Y. K. Theories of protein desnuration during frozen storage of fish flesh. **Advances in Food Research**, v. 26, p. 275-311, 1980.
- SHERWOOD, T. K. The drying of solids II. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, n. 10, p. 976-980, 1929.
- SHI, X. Q.; FITO, P. Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits. **Drying Technology**, v. 11, n. 6, p. 1429-1442, 1993.
- SIKORSKI, Z. E. **Tecnología de los productos del mar: Recursos, composición nutritive y conservación**. Zaragoza: Editorial ACRIBIA S. A, 1994. 315 p.
- SILVA, A. C. C.; FROTA, K. M. G.; ARÊAS, J. A. G. **Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: Proteínas**. São Paulo: ILSI Brasil, 2012. 16 p.
- SILVA, M. L.; MATTÉ, G. R.; MATTÉ, M. H. Aspectos sanitários da comercialização de pescado em feiras livres da cidade de São Paulo, SP/Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, n. 3, p. 208-214, 2008.
- SIMÕES, M. R. **Desidratação osmótica, secagem e defumação líquida de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade tailandesa**. 2007. 183 f. Tese de doutorado (Engenharia de Alimentos): Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- SISKOS, I.; ZOTOS, A.; TAYLOR, A. K. D. The effect of drying, pressure and processing time on the quality of liquid-smoked trout (*Salmo gairdneri*) fillets. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2054-2060, 2005.
- SOBUKOLA, O. P.; OLATUNDE, S. O. Effect of salting techniques on salt uptake and drying kinetics of African catfish (*Clarias gariepinus*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 3, p. 170-177, 2011.
- SOUZA, T. C. L., SOUZA, H. A. L., PENA, R. S. A rapid method to obtaining moisture sorption isotherms of a starchy product. **Starch/Stärke**, v. 65, n. 5-6, p. 433-436, 2013.
- STEWART, D. J. A New Species of *Arapaima* (*Osteoglossomorpha: Osteoglossidae*) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil. **Copeia**, v. 3, p. 470-476, 2013.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, applications and design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

- TAVARES, M.; GONÇALVES, A. A. Aspectos físico-químicos do pescado. In: GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 607 p.
- TAVARES-DIAS, M.; BARCELLOS, J. F. M.; MARCON, J. L.; MENEZES, G. C.; ONO, E. A.; AFFONSO, E. G. Hematological and biochemical parameters for the pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (*Osteoglossiformes, Arapaimidae*) in net cage culture. **Electronic Journal of Ichthyology**, v. 2, p. 61-68, 2007.
- TELES, U. M.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; LIMA, A. S.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 674-680, 2006.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 253-259, 2004.
- TOBINAGA, S.; PINTO, L. A. A. Secagem de materiais fibrosos: músculo de peixe. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. S. **Tópicos especiais em secagem**. Vol. 1, São Carlos, 1992. p. 211-251.
- TONON, R. V., BARONI, A. F., HUBINGER, M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n. 3, p. 715-723, 2006.
- TOPPE, J.; ALBREKTSSEN, S.; BRITT, H.; AKSNES, A. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 146, p. 395-401, 2007.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247-253, 2001.
- TORRES, F. F.; TRONCOSO, O. P.; NAKAMATSU, J.; GRANDE, C. J.; GOMEZ, C. M. Characterization of the nanocomposite laminate structure occurring in fish scales from *Arapaima gigas*. **Materials Science and Engineering**, v. 28, n. 8, p. 1276-1283, 2008.
- TORTOE, C. A review of osmodehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 6, p. 303-324, 2010.
- UDDIN, M. B.; AINSWORTH, P.; IBANOĞLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 473-477, 2004.
- VAL, A. L.; HONCZARYK, A. **Criando peixes na Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1995. 160p.
- VARZAKAS, T. H.; LEACH G. C.; ISRAILIDES, C. J.; ARAPOGLOU, D. Theoretical and experimental approaches towards the determination of solute effective diffusivities in foods. **Enzyme and microbial technology**, v. 37, p. 29-41, 2005.
- VERÍSSIMO, J. **A pesca na Amazônia**. Rio de Janeiro: Livraria Clássica Alves & Cia, 1895. 206 p.
- VISENTAINER, J. V.; SALDANHA, T.; BRAGAGNOLO, N.; FRANCO, M. R. B. Relação entre teores de colesterol em filés de tilápias e níveis de óleo de linhaça na ração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 310-314, 2005.

- VYNCKE, B. W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 72, n. 12, p. 1084-1087, 1970.
- WANG, D.; TANG, J.; CORREIA, L. R. Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 2, p. 115-123, 2000.
- WANG, Y.; WU, C.; GUO, J.; LIU, S.; SU, Y. Nutrition composition of *Arapaima gigas* fillet. **Fujian Journal of Agricultural Sciences**, v. 25, n. 4, p. 491-495, 2010.
- WHITE, J. A.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the waters Pico-Tag System for the aminoacids analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, London, v. 8, n. 4, p. 170-177, 1986.
- YANG, D. C.; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberry in a batch recirculation system. **Journal of Food Quality**, v. 15, p. 387-397, 1992.
- ZHANG, G.; SWANK, D. M.; ROME, L. C. Quantitative distribution of muscle fiber types in the scup *Stenotomus chrysops*. **Journal of Morphology**, v. 229, p. 71-81, 1996.
- ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 9, p. 434-451, 2004.
- ZOHAR, Y.; MYLONAS, C. C. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. **Aquaculture**, v. 197, n. 1 - 4, p. 99-136. 2001.
- ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.