

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

CAMPUS DE ARAÇATUBA

**COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE SECAGEM PARA
A OBTENÇÃO DE BIOMASSA DE *Rubrivivax*
*gelatinosus***

Edson Francisco do Espírito Santo

Médico Veterinário

Araçatuba – SP

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

CAMPUS DE ARAÇATUBA

**COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE SECAGEM PARA
A OBTENÇÃO DE BIOMASSA DE *Rubrivivax*
*gelatinosus***

Edson Francisco do Espírito Santo

Orientador: Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária – Unesp, Campus de Araçatuba, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal).

Araçatuba – SP

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

E77c Espírito Santo, Edson Francisco do.
Comparação entre técnicas de secagem para a obtenção de
biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* / Edson Francisco do
do Espírito Santo. - Araçatuba: [s.n.], 2011
71 f. : il. + 1 CD-ROM

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Medicina Veterinária
Orientadora: Profa. Elisa Helena Giglio Ponsano

1. Conservação de alimentos 2. Cor 3. Eficiência 4. Indústria
pesqueira 5. Liofilização 6. Pigmentos biológicos

CDD 664

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Comparação entre técnicas de secagem para a obtenção de
biomassa de *Rubrivivax gelatinosus*.

AUTOR: EDSON FRANCISCO DO ESPÍRITO SANTO

ORIENTADOR: Dr.^a ELISA HELENA GIGLIO PONSANO

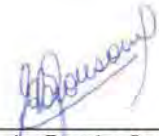
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIA ANIMAL
(MEDICINA VETERINÁRIA PREVENTIVA E PRODUÇÃO ANIMAL) pela Comissão Examinadora.


Dr. ANTONIO CARLOS DE LAURENTIZ


Dr. ROBERTO DA SILVA


Dr.^a ELISA HELENA GIGLIO PONSANO

DATA DA REALIZAÇÃO: 21 de fevereiro de 2011.



Presidente da Comissão Examinadora
Dr.^a ELISA HELENA GIGLIO PONSANO
- Orientadora -

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

EDSON FRANCISCO DO ESPÍRITO SANTO - nascido em 5 de agosto de 1981 no município de Caraguatatuba – SP. Coursou o ensino fundamental na antiga E.E.P.G. “Alcides de Castro Galvão” e o ensino médio na antiga E.E.P.S.G. “Thomaz Ribeiro de Lima” do município de Caraguatatuba – SP. Ingressou no curso de Medicina Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba – SP da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP em 2002 e formou-se no ano de 2006. Durante a graduação, realizou estágios extra-curriculares em diversas áreas. Foi bolsista de projetos de extensão em educação ambiental e de esterilização de animais. Realizou estágio de iniciação científica em clínica cirúrgica de pequenos animais, sendo bolsista pela CNPq. Em 2006, realizou estágios curriculares, inclusive na área de inspeção e tecnologia de produtos de origem animal. Em 2008, através de um processo seletivo de trainees, foi supervisor de produção no frigorífico JBS. Também em 2008, iniciou o I Curso de Especialização em Gestão de Sistemas de Produção Animal na UNESP – Campus de Araçatuba sob orientação da Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano, com término em 2009. Em 2009, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Animal na UNESP – Campus de Araçatuba, na área de Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal. É bolsista FAPESP sendo orientado pela Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano.

Dedico...

Inicialmente a Deus, pelo dom da vida, a meus pais Benedito e Maria Aparecida, pelo apoio, dedicação e pela lealdade aos sonhos e vitórias conquistadas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo Nº 2009/12964-9) pelo auxílio financeiro dado a esse projeto de dissertação de mestrado.

À Indústria Tilápia do Brasil S/A pela confiança em nosso projeto e pelo fornecimento da matéria-prima cedida para a realização dos trabalhos. Em especial ao gerente industrial Marcelo e ao médico veterinário Marlon.

À Labmaq do Brasil Ltda pela atenção e realização da técnica de atomização. Em especial ao Fábio e à Luciana.

À Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Curso de Medicina Veterinária – Campus de Araçatuba, pela oportunidade de realização do curso de mestrado, nas pessoas do Diretor Pedro Felício Estrada Bernabé e da Vice-diretora Ana Maria Pires Soubhia. Em especial às Profas. Dras. Gisele Fabrino Machado e Luzia Helena Queiroz pela contribuição no exame geral de qualificação, e ao Prof. Dr. Marcos Franke Pinto pela atenção e apoio durante a pós-graduação.

À coordenadora da pós-graduação em Ciência Animal, Profa. Dra. Juliana Peiró, pela amizade, apoio e orientações concedidas.

Aos professores Antônio Carlos de Laurentiz e Roberto da Silva pelo aceite e contribuição na defesa da dissertação

À Biblioteca – UNESP – Araçatuba-SP. Em especial à Fátima, pelo excelente atendimento e à Isabel pela revisão dos dados bibliográficos e pela atenção.

Ao Laboratório de Análises de Alimentos – UNESP – Araçatuba-SP. Em especial ao funcionário Alexandre Teixeira que auxiliou nas práticas laboratoriais, e pela sua atenção e amizade.

Aos pós-graduandos: Ane, Leandro e Diego pelo companheirismo e apoio.

Aos estagiários: Gabriela e Thiago pela ajuda durante a execução desse projeto.

Aos amigos: Michele, Kátia, Anderson e José Roberto, pela consideração e companheirismo na amizade.

Às minhas irmãs Edna, Kátia, Renata e Sabrina, pelo eterno apoio e conforto nos diversos momentos.

E, por fim, a todos que influenciaram direta e indiretamente neste momento de importante evolução, por possibilitarem que me tornasse uma pessoa melhor e mais instruída.

Agradecimento especial:

Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano, pela notória atenção e orientação, fundamentais à minha formação.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO.....	
LISTA DE ABREVIATURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
RESUMO.....	
SUMMARY.....	
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Tilapicultura.....	16
2.2 Efluente da indústria de pescado.....	19
2.3 Bactérias na biotecnologia e <i>Rubrivivax gelatinosus</i>	20
2.4 Cor dos alimentos.....	25
2.5 Técnicas de secagem.....	29
2.5.1 Liofilização.....	32
2.5.1.1 Efeito nos alimentos.....	34
2.5.2 Atomização.....	34
2.5.2.1 Efeito nos alimentos.....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 Micro-organismo, reativação, pré-inóculo e inóculo.....	38
3.2 Preparo do substrato.....	40
3.3 Produção e técnicas de secagem da biomassa.....	40
3.4 Cálculo do rendimento, recuperação e tempo de processamento..	44
3.5 Caracterização químico-bromatológica.....	44
3.6 Caracterização objetiva da cor.....	44
3.7 Quantificação dos pigmentos carotenóides.....	45
3.8 Análise estatística.....	46

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Rendimento, recuperação e tempo de processamento.....	46
4.2 Caracterização químico-bromatológica.....	50
4.3 Caracterização objetiva da cor.....	51
4.4 Quantificação dos pigmentos carotenóides.....	53
4.5 Técnicas de secagem.....	56
5 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BPNS	Bactérias Púrpuras Não-Sulfurosas
BPS	Bactérias Púrpuras Sulfurosas
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAO	Food and Agriculture Organization
OMS	Organização Mundial da Saúde
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SCP	Single Cell Protein
UFC	Unidades Formadoras de Colônia

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Teor de umidade de alguns alimentos em pó.....	31
Tabela 2 - Rendimento das técnicas de secagem e recuperação da biomassa de <i>Rubrivivax gelatinosus</i> produzida em efluente de indústria de processamento de pescado.....	47
Tabela 3 - Aditivos utilizados para secagem por atomização.....	49
Tabela 4 - Composição químico-bromatológica, em base seca, das biomassas de <i>Rubrivivax gelatinosus</i> obtidas pelos métodos de atomização e liofilização.....	50
Tabela 5 - Cor objetiva das biomassas de <i>Rubrivivax gelatinosus</i> obtidas pelos métodos de atomização e liofilização.....	52
Tabela 6 - Concentrações de pigmentos carotenóides, em base seca, das biomassas de <i>Rubrivivax gelatinosus</i> obtidas pelos métodos de atomização e liofilização.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Mecanismo de liofilização.....	33
Figura 2 - Atomizador. 1) Alimentação. 2) Ar quente. 3) Disco centrífugo. 4) Ciclone. 5) Exaustão. 6) Pó.....	36
Figura 3 - <i>Rubrivivax gelatinosus</i> armazenada em ágar inclinado de Pfennig como cultura estoque.....	38
Figura 4 - Inóculo de <i>Rubrivivax gelatinosus</i>	39
Figura 5 - Local de coleta do efluente de indústria de processamento de pescado.....	40
Figura 6 - Reatores biológicos utilizados para o cultivo do micro-organismo no efluente de indústria de processamento de pescado.....	41
Figura 7 - Liofilizador utilizado para a secagem da biomassa de <i>R. gelatinosus</i>	42
Figura 8 - Atomizador utilizado para a secagem da biomassa de <i>R. gelatinosus</i>	43
Figura 9 - Diagrama de cor do espaço <i>LCh</i>	45
Figura 10 - A) Biomassa de <i>R. gelatinosus</i> atomizada. B) Biomassa de <i>R. gelatinosus</i> liofilizada.....	48
Figura 11 - Biomassas de <i>R. gelatinosus</i>	52

COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE SECAGEM PARA A OBTENÇÃO DE BIOMASSA DE *Rubrivivax gelatinosus*

RESUMO – A cor de um alimento é de suma importância para a sua aceitação, pois serve como critério de qualidade. Os pigmentantes, ao serem adicionados na produção animal melhoram a coloração dos produtos e a aceitação pelo mercado consumidor. Tais aditivos podem ser elaborados a partir de diversas origens, inclusive de resíduos industriais, e podem ser processados por diferentes técnicas de secagem. Este estudo teve como objetivo comparar dois métodos de retirada de umidade da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* produzida em efluente de indústria de processamento de pescado, liofilização e atomização, em relação a rendimento do processo e recuperação, cor, composição químico-bromatológica e concentração de oxicarotenóides dos produtos. A bactéria foi cultivada nas águas residuárias citadas, sob condições de anaerobiose, temperatura e luminosidade controladas. Ao final do processo, a biomassa bacteriana foi processada por microfiltração e transformada em pó por meio de liofilização ou atomização. As técnicas não diferiram entre si em relação ao rendimento. A maior recuperação do produto ($p = 0,004$) e a mais elevada umidade ($p = 0,0022$) foram obtidas pela técnica de liofilização. As porcentagens de matéria mineral ($p < 0,0001$) e todos os parâmetros de cor ($p < 0,0001$) foram maiores para o produto obtido por atomização. Os outros constituintes analisados não diferiram significativamente entre as técnicas. Os resultados obtidos demonstraram que, apesar de resultar em menor recuperação, a atomização foi um processo mais rápido que a liofilização, apresentou rendimento equivalente a esta e originou um produto semelhante ao liofilizado em relação à composição químico-bromatológica e pigmentante. Este novo produto pode ser alvo de estudos posteriores para avaliar sua aplicação como componente pigmentante de ração animal.

Palavras-chave: conservação de alimentos, cor, eficiência, indústria pesqueira, liofilização, pigmentos biológicos

COMPARISON BETWEEN DRYING TECHNIQUES FOR OBTAINING *Rubrivivax gelatinosus* BIOMASS

SUMMARY – The color of a food is parameter of acceptance, because it serves as a quality criterion for the consumers. Pigments are added to animal feeding in order to improve the color of the products and, so, its acceptance. These additives can be made from various sources, including industrial wastes, and can be processed by different drying techniques. This study aimed at comparing two methods of water removal from *Rubrivivax gelatinosus* biomass produced in the effluent from fish processing industry, lyophilization and spray drying. Parameters analyzed were: process yield, recuperation, color, proximate composition and oxycarotenoids concentration of the products. The bacterium was grown in the wastewater under anaerobiosis and controlled temperature and light conditions. At the end of the process, the bacterial biomass was prepared by microfiltration and dried by freeze and spray drying. No difference was detected for yield between the drying techniques. The higher recuperation of the product ($p = 0.004$) and the higher moisture content ($p = 0.0022$) were achieved with lyophilization. The percentages of ash ($p < 0.0001$) and all color parameters ($p < 0.0001$) were higher for the product obtained by spray drying. The other constituents analyzed did not differ significantly. The results showed that, although resulting in less recuperation, the spray drying process was faster than lyophilization, had the same yield and produced a biomass similar to the lyophilized one in relation to composition and pigment concentration. This new product can be subjected to further studies to evaluate its use as a pigmenting component of animal feed.

Keywords: food preservation, color, efficiency, fishing industry, lyophilization, biological pigments

1 INTRODUÇÃO

A cor de um alimento é de suma importância para a sua aceitação. Ela serve como critério de qualidade, uma vez que a percepção do mundo é determinada por impressões sensoriais (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). A cor de um produto deve-se à presença de pigmentos que podem ser naturais ou sintéticos (RIBEIRO et al., 2007). A adição de pigmentantes na fase de produção animal proporciona a pigmentação característica dos produtos de origem animal, aumentando sua qualidade e aceitação no mercado (MOTTA et al., 2009; TOYOMIZU et al., 2001)

Como exemplo de produção animal tem-se a aquicultura, que apresenta um crescimento contínuo ao longo das últimas quatro décadas (FAO, 2009). Entre os peixes cultivados no Brasil, a tilápia é umas das espécies exóticas com maior potencial de produção (SANTA RITA, 2006) e seu cultivo, segundo D'orbcastel et al. (2009), causa grande impacto ambiental.

Durante o processamento na indústria de pescado, além da elaboração dos produtos com valor comercial, há a geração de outros que são indesejáveis, como os materiais líquidos, também chamados de efluentes. Há relatos na literatura sobre a utilização de bactérias fototróficas para a remoção da carga poluente de efluentes industriais, com a simultânea produção de biomassa (AZAD et al., 2001; 2004; KANTACHOTE et al., 2005; PONSANO et al., 2003a). Devido à sua composição, o bioproduto elaborado por esses organismos pode ser utilizado como biofertilizante e suplemento em ração animal (KANTACHOTE et al., 2005; PONSANO et al., 2002a; 2003a; 2004a; 2004b; PRASERTSAN et al., 1997; SASIKALA et al., 1995).

Estudos realizados com a bactéria *Rubrivivax gelatinosus* em efluentes de indústrias de processamento de aves e de pescado demonstraram sua habilidade em produzir uma biomassa rica em proteínas e em pigmentos carotenóides, que pode ser usada como aditivo alimentar em ração animal e como ingrediente pigmentante para melhorar as características do produto

(LIMA, 2009; PONSANO et al., 2002b; 2003a; 2004a; 2004b; SANTO et al., 2010; TORRES; PONSANO; 2010).

A secagem de produtos para essa finalidade pode ser feita em diferentes tipos de secadores, de acordo com as características do produto, do processamento e de fatores de origem econômica (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). A liofilização é um processo que se caracteriza pela retirada da água do alimento sem submetê-lo a altas temperaturas. O alimento, após etapa de preparo, é congelado e submetido ao vácuo, com consequente saída da água do alimento por sublimação (ROSA et al., 2006). O produto liofilizado preserva as características nutritivas originais, forma e textura após a reconstituição que é instantânea (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). A atomização, técnica também conhecida por *spray drying* tem como princípio a maximização da área de troca de calor durante a secagem (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Devido à sua versatilidade e rapidez, tornou-se o principal processo de secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica (LABMAQ, 2010; ROSA et al., 2006). A desidratação durante o processo é muito rápida e a qualidade do produto é excelente (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

Alguns estudos avaliaram a produtividade do cultivo de *Rubrivivax gelatinosus* (LIMA, 2009; PONSANO et al., 2002a; 2002b; 2003a; 2008; SANTO et al., 2010). Nesses casos, o produto foi desidratado por liofilização, uma técnica que exige longo tempo de processamento. Na procura por um método de secagem que resulte em menor tempo de processamento, a secagem por atomização aparece como uma alternativa. Porém, não se encontram informações na literatura a respeito das características do produto obtido por essa técnica. Este estudo tem como objetivo comparar dois métodos de remoção de umidade - liofilização e atomização - da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* produzida em efluente de indústria de processamento de pescado, em relação ao rendimento e à recuperação da biomassa após secagem, à

composição químico-bromatológica, à concentração de oxicarotenóides e à cor dos produtos obtidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TILAPICULTURA

A aquicultura tem tido um crescimento contínuo ao longo das últimas quatro décadas, contribuindo para o aumento de metade do consumo de pescado pela população mundial. Essa situação reflete não só a potencialidade do setor aquícola, mas também o crescimento econômico global e a contínua evolução no processamento do pescado e do comércio. O crescimento deste setor tem sido mais rápido do que em qualquer outro setor de produção animal, o que representa uma produção inferior a 1 milhão de toneladas no início dos anos 50 para 51,7 milhões de toneladas em 2006 (FAO, 2009). Além disso, devido à estagnação das atividades da pesca marinha e ao crescente consumo de peixe, nota-se o aumento da aquicultura como indústria de fornecimento mundial de pescado (LEM; KARUNASAGAR, 2007).

Mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo depende do pescado como uma das principais fontes de proteínas, vitaminas e minerais, tais como vitaminas A, D, fósforo, magnésio, selênio e iodo. Os óleos fornecidos por muitas espécies de peixes também têm demonstrado benefícios para a dieta e saúde humana (FAO, 2003). O pescado é um dos alimentos mais versáteis e pode ser utilizado e processado em uma grande variedade de produtos, que podem ser apresentados vivos, refrigerados, congelados, tratados termicamente, fermentados, secos, defumados, salgados, em conserva, cozidos, fritos, liofilizados, picados, em pó ou como uma combinação de duas ou mais dessas formas (FAO, 2009).

O Brasil destaca-se por possuir imenso potencial para o desenvolvimento da piscicultura por meio dos 8,4 mil km de litoral e 5,5 milhões de hectares de reservatórios de águas doces (ALAGOAS, 2003).

Uma das modalidades de aquicultura que mais vem se desenvolvendo no Brasil é a criação de peixes de água doce (especialmente as tilápias) em sistemas de tanques-rede instalados em grandes reservatórios, constituindo-se numa alternativa viável para a geração de empregos e renda (ANA, 2005). Esse sistema ocupa pouca terra, não desmata florestas, não exauri recursos hídricos e ainda contribui com um aumento localizado na produção pesqueira dos parques aquícolas (KUBITZA, 2007). As principais vantagens produtivas são: menor variação dos parâmetros físico-químicos da água durante a criação, maior facilidade de retirada dos peixes para venda (despesca), pequeno investimento inicial, facilidade de movimentação e relocação dos peixes, produção intensiva, facilidade de observação dos animais, redução do manuseio dos peixes e diminuição dos custos com tratamentos de doenças (FURLANETO et al., 2006).

A tilápia-do-nilo ou nilótica, *Oreochromis niloticus*, pertencente à família dos ciclídeos, é originária da bacia do rio Nilo, no leste da África, encontrando-se amplamente disseminada em regiões tropicais e subtropicais, como em Israel, no sudeste asiático (Indonésia, Filipinas e Formosa) e no continente Americano (EUA, México, Panamá e toda a América do Sul) (CARVALHO, 2006). Na década de 70, a introdução da tilápia em alguns países da América Latina começa a mudar o cenário da tilapicultura no continente pois, segundo Zimermann (2002), esta espécie apresenta excelente desempenho zootécnico em relação às outras espécies introduzidas anteriormente.

Por possuir grande importância para a aquicultura mundial, a espécie é indicada para a criação intensiva e destaca-se por sua alta taxa de crescimento, adaptabilidade em diversas condições de criação e boa aceitação pelo consumidor, principalmente pela excelente textura e pelo sabor de sua carne e ausência de espinhas intramusculares (KUBITZA, 2000). A produção mundial

de tilápias cultivadas ultrapassou 2 milhões de toneladas, sendo que a tilápia-do-nilo, sozinha, respondeu pela oferta de 1,7 milhão de toneladas em 2005 (KUBITZA, 2007). É neste contexto que o Brasil se insere como grande fornecedor de pescado para o mundo. Sales et al. (2005) comentam que, desde 2002, a piscicultura nacional passa por um processo de reestruturação, reflexo do recrudescimento da crise econômica e dos problemas no abastecimento de matérias-primas para rações e no escoamento da produção.

Com potencial hídrico e ambiental, o Brasil produziu, em 2007, (principalmente as regiões Nordeste e Sudeste) 95.691 toneladas de tilápia, representando 45% da produção da aquicultura continental. Esta produção mostra que a tilapicultura no Brasil tem uma contribuição importante para o crescimento da aquicultura nacional (SCORVO FILHO et al., 2010). O Brasil é hoje o sexto maior produtor de tilápia cultivada no mundo e o quarto maior exportador de carne deste pescado (KUBITZA, 2007).

Os preços dos produtos são mais elevados no mercado nacional, mas o volume comercializado é relativamente pequeno e existe acentuada sazonalidade na demanda do produto. O mercado internacional tem preços menores, porém comercializa em grandes quantidades e tem demanda distribuída ao longo do ano (SUSSEL, 2007).

A indústria de pescado apresenta um vasto potencial, pois seus descartes podem ser facilmente transformados em produtos com aproveitamento mercadológico (ARRUDA, 2004). Os resíduos líquidos, ou efluentes gerados nas indústrias, muitas vezes são lançados nos cursos d'água adjacentes sem um tratamento adequado, contribuindo para a poluição do meio ambiente e produzindo impactos na biota e na qualidade das águas (SILVA; BATISTA, 2003).

Uma maneira de atenuar ou minimizar os problemas ambientais gerados pela grande produção de resíduos da indústria de pescado é sua transformação em produtos para serem incorporados como ingredientes em ração animal.

2.2 EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE PESCADO

Efluentes de abatedouros industriais contêm em sua composição lipídeos, proteínas e outros materiais orgânicos, além de uma diversidade de micro-organismos, tais como bactérias, inclusive do grupo coliformes (CHÁVEZ et al., 2005; GIORDANO, 2004).

Os efluentes gerados nas indústrias de pescado apresentam elevada vazão ($5,4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ de peixe processado) e concentração de matéria orgânica biodegradável, principalmente na forma de proteínas e lipídios. Na caracterização desses efluentes, observa-se uma acentuada variabilidade de composição, própria do modo de operação das indústrias, tipo de pescado processado e época do ano, entre outros fatores (VALENTE et al., 2010).

Diferentes resíduos sólidos e líquidos são gerados ao longo das várias etapas de processamento do pescado, tais como recepção, condensação nas câmaras frigoríficas, evisceração, salmoura, acondicionamento em latas, cozimento, adição de óleo, recravação e lavagem das latas, autoclavagem e lavagens para resfriamento, além das lavagens de pisos e equipamentos (LIU, 2007; VALENTE et al., 2010).

O efluente da indústria de pescado apresenta pH próximo ao neutro (6,2 a 7,0), DQO média de 4.300 mg L^{-1} , DBO média de 1.700 mg L^{-1} e teor de óleos e graxas superior a 800 mg L^{-1} (GIORDANO, 2004). Segundo Lima (2010) possui valores médios de temperatura de $20,3^\circ\text{C}$, sólidos totais de $1,5 \text{ g L}^{-1}$, turbidez de 35,7 (UT) e nitrogênio total de $813,3 \text{ mg L}^{-1}$. Todos estes dados indicam seu grande potencial poluente e a necessidade de tratamento antes do descarte.

A maior parte dos resíduos sólidos produzido na indústria de processamento de pescado é facilmente removida no próprio sistema produtivo ou no gradeamento e peneiramento das águas residuárias. Desta forma, o potencial poluidor, no tocante à disposição, se restringe aos resíduos líquidos. Muitas indústrias lançam esses efluentes nos cursos d'água adjacentes sem

um tratamento adequado, contribuindo para a poluição do meio ambiente e produzindo impactos na biota e na qualidade das águas (SILVA; BATISTA, 2003). O impacto da poluição depende da concentração total de poluentes liberada e da capacidade de assimilação do meio ambiente (PIEDRAHITA, 2003).

A preocupação com a sustentabilidade ambiental dos sistemas que envolvem a produção de pescado tem levado muitos países a desenvolver e adotar práticas mitigadoras dos impactos ambientais (SCHRYVER et al., 2008; SUBASINGHE; PHILLIPS, 2005). Segundo Barbosa et al. (2008), essas práticas devem atender à gestão de resíduos, considerada um desafio em centrais de abastecimento de produtos agrícolas e agroindustriais.

Atualmente, existe uma variedade de tecnologias que se aplicam ao tratamento de resíduos. A necessidade de se montar sistemas de aproveitamento dos resíduos nas indústrias é de ordem econômica e preservacionista. A indústria de pescado representa um vasto potencial, pois seus resíduos podem ser transformados e utilizados no desenvolvimento de novos produtos com aproveitamento mercadológico (ARRUDA, 2004). Além dos tratamentos convencionais existentes, os processos biotecnológicos vêm sendo empregados para tal finalidade.

2.3 BACTÉRIAS NA BIOTECNOLOGIA E *Rubrivivax gelatinosus*

Os vários conceitos da biotecnologia se referem ao uso de células ou sistemas bioquímicos em processos de produção de bens ou de prestação de serviços. Neste contexto, a biotecnologia tem papel destacado, sob o ponto de vista histórico e tecnológico, visto que os primeiros processos industriais basearam-se na ação de micro-organismos e a grande maioria daqueles consagrados utiliza micro-organismos nativos ou modificados geneticamente. O desenvolvimento da biotecnologia tem importância ímpar para o Brasil, devido

ao seu baixo impacto ambiental, sendo possível conciliar o desenvolvimento industrial com a preservação de ecossistemas (PEREIRA JUNIOR et al., 2008).

Além da produção de bens de consumo, os micro-organismos são também utilizados em processos de tratamento de resíduos e efluentes urbanos e industriais, na recuperação de metais ou em processos de biorremediação. Os processos levados a cabo por agentes biológicos são denominados de bioprocessos e definidos como um conjunto de operações que efetuam o tratamento da matéria-prima/resíduo, o preparo dos meios, a esterilização e a transformação do substrato em produtos por rota bioquímica, seguida de processos de separação e purificação de produtos (PEREIRA JUNIOR et al., 2008).

Embora as bactérias sejam mais conhecidas como micro-organismos patogênicos, a grande maioria é inofensiva e inclusive benéfica a outros seres vivos. Algumas bactérias apresentam grande importância na produção de diversos alimentos, outras têm um grande potencial na degradação da matéria orgânica (REGINATO; TEIXEIRA, 2009). Muitos processos biotecnológicos utilizam micro-organismos com o intuito de realizar a despoluição de esgotos domésticos e industriais e, adicionalmente, gerar serviços e obter novos produtos (AZEVEDO; MELO, 1998; GURPILHARES et al., 2008). O equilíbrio natural dos ecossistemas pode ser considerado como uma importante área da Biotecnologia Microbiana, já que os micro-organismos habitam praticamente todos os ambientes (PEREIRA JUNIOR et al., 2008).

Os organismos procariontes fotossintetizantes são divididos em bactérias púrpuras e verdes e as cianobactérias. O primeiro grupo realiza o processo fotossintético anoxigênico (sem produção de O_2); já o segundo grupo, durante seu metabolismo, promove a fotossíntese oxigênica (com produção de O_2). Essas bactérias produzem vários tipos de bacterioclorofilas e pigmentos carotenóides (BROCK et al., 1994).

Bactérias fotossintetizantes (fototróficas) são ubiqüitárias de água doce e marinha, do solo, de águas residuais e de lodos ativos. Elas têm sido

amplamente utilizadas para o tratamento de águas residuais, já que são metabolicamente os organismos mais versáteis entre todos os procariontes: são anaeróbios fotoautotróficos e fotoheterotróficos na luz e aeróbicos quimioheterotróficos no escuro, e podem usar uma ampla gama de compostos orgânicos como fontes de carbono e energia (DEVI et al., 2008; KANTACHOTE et al., 2005; KIM et al., 2004).

As bactérias púrpuras dividem-se em BPS e BPNS conforme a existência ou não da habilidade em utilizar o enxofre como doador de elétron para a utilização do dióxido de carbono (LIMA, 2009).

Desde 1960, esses micro-organismos têm sido usados no tratamento de metais pesados e águas residuais como, por exemplo, de indústrias têxteis, de azeite de oliva, de látex, de suinocultura, de esgoto, de abatedouros, de frutos do mar e de produtos oleosos (LU et al., 2010). A alta remoção de contaminantes e a recuperação de nutrientes feitas pelas bactérias fotossintéticas representam um método econômico no tratamento de águas residuais e na recuperação de recursos (MUÑOZ; GUIEYSSE, 2006). Essa condição já foi comprovada por estudos com essas bactérias, em que, além de ocorrer a remoção da carga poluente, houve, também, a produção de biomassa (AZAD et al., 2001; 2004; KANTACHOTE et al., 2005; PONSANO et al., 2003a). Segundo Marconato e Santini (2008), biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, tanto vegetal como animal.

Essas bactérias têm importante papel no metabolismo anaeróbio da matéria orgânica, como produtores primários (fotoautotróficos), ou como consumidores de compostos orgânicos reduzidos (fotoheterotróficos) (MADIGAN, 2006). O bioproduto elaborado por esses organismos contém elevadas concentrações de aminoácidos essenciais, lipídeos, vitaminas e carotenóides, podendo ser utilizado como biofertilizante e suplemento em ração animal (KANTACHOTE et al., 2005; PONSANO et al., 2002a; 2003a; 2004a; 2004b; PRASERTSAN et al., 1997; SASIKALA et al., 1995).

Rubrivivax gelatinosus é uma bactéria fototrófica, púrpura não-sulfurosa, gram-negativa, natural de ambientes aquáticos e de efluentes, onde cresce contribuindo para a diminuição da carga orgânica e, conseqüentemente, para a purificação da água (SASIKALA et al., 1995). Sua estrutura celular possui forma de bacilo encurvado ou reto, medindo 0,4 - 0,7 X 1,0 - 3,0 µm. Pequenas invaginações em forma de dedo da membrana citoplasmática representam suas membranas fotossintéticas. As células são móveis devido à presença de um flagelo polar e sua multiplicação ocorre à temperatura de 30°C e pH entre 6,0-8,5. Sob condições anaeróbias na presença de luz, ocorre o crescimento fotoheterotrófico com vários substratos orgânicos como doadores de elétrons, mas o crescimento fotoautotrófico na presença de H₂, CO₂, e fatores de crescimento também pode ocorrer. No escuro, ocorre o crescimento quimioautotrófico com o CO₂ como uma única fonte de carbono e fonte de energia, sendo que o crescimento aeróbio quimioheterotrófico com diferentes substratos orgânicos também é possível. A bacterioclorofila *a* e os carotenóides estão presentes como pigmentos fotossintéticos. Suas colônias vão do rosa ao vermelho escuro devido à presença dos pigmentos, sendo que, em condições heterotróficas, as colônias são inicialmente rosas. O nitrogênio pode ser fixado em condições de crescimento fotoautotróficas (WILLEMS et al., 1991).

A capacidade de liquefação da gelatina pela ação de uma protease extracelular e a utilização do citrato como única fonte de carbono para o seu crescimento são características importantes na identificação de *Rubrivivax gelatinosus* e na diferenciação entre as BPNS (LIMA, 2009).

Ponsano et al. (2003a; 2008) avaliaram a capacidade despoluente de *Rubrivivax gelatinosus* e a produção de biomassa em efluente de abatedouro avícola e obtiveram uma redução de cerca de 90% da DQO. Recentemente, o crescimento de *Rubrivivax gelatinosus* foi estudado no efluente de indústria de processamento de pescado com resultados positivos para redução da carga poluente e produção de biomassa (LIMA, 2009).

De acordo com estudos realizados por Ponsano et al. (2002b; 2003a; 2004a; 2004b), a biomassa de *R. gelatinosus* apresenta em sua composição proteínas, carboidratos, lipídeos, cinzas e pigmentos carotenóides da série espiriloxantina alternativa. Por esse motivo, esses autores indicam a utilização da biomassa da bactéria como aditivo alimentar em ração de aves, a fim de intensificar a pigmentação de carcaças de frangos de corte e da gema de ovos.

Ponsano et al. (2002b) realizaram uma comparação do uso da biomassa de *Rhodocyclus gelatinosus* (nome científico anterior) com pigmentos sintéticos na ração de frangos de corte e verificaram um amarelamento das carcaças, principalmente na pele. Já os pigmentos sintéticos produziram carne e pele mais avermelhadas. Ponsano et al. (2004a) encontraram resultados positivos para ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte, na quantidade de 300 ppm de biomassa na ração das aves.

Sobre a capacidade da pigmentação da biomassa em gemas de ovos de galinhas poedeiras, estudos indicaram a intensificação da cor, tornando-as mais escuras e avermelhadas, alcançando a preferência de consumidores locais (POLONIO et al., 2010; PONSANO et al., 2004b).

O aumento da deficiência mundial de proteína tem-se tornado um grande problema para a humanidade. Desde os anos 50, intensos esforços têm sido feitos para explorar alternativas novas e não-convencionais para a produção desses compostos (NASSERI et al., 2011). Nesse sentido, em 1996, foi originado o termo SCP, que corresponde à proteína proveniente de biomassa originada de diferentes fontes microbianas como, por exemplo, leveduras, fungos, bactérias e algas. A biomassa microbiana tem sido considerada como uma alternativa para as fontes convencionais de suplementos em alimentos ou rações, podendo ser produzida em diversos substratos como efluentes da indústria, da agricultura, em gases naturais, como o metano, etc. (NASSERI et al., 2011; UYSAL et al., 2002).

Leveduras foram os primeiros micro-organismos utilizados como suplemento na ração animal. Processos de larga escala para a produção de

SCP mostram vantagens como ampla variedade de metodologias, alta eficiência na conversão de substrato, alta produtividade (rápido crescimento microbiano) e independência de fatores sazonais (NASSERI et al., 2011). De modo geral, SCP apresentam alta concentração protéica (60 – 80% em matéria seca) e aminoácidos essenciais, como a lisina e metionina, lipídeos, carboidratos, ácidos nucléicos, vitaminas e minerais. Do ponto de vista nutricional, o conteúdo de ácido nucléicos em SCP é um dos fatores limitantes na utilização como alimento, pois quantidades excessivas levam à precipitação de ácido úrico causando desordens, como gota e formação de cálculos renais (NASSERI et al., 2011; UYSAL et al., 2002). Outros pontos negativos consistem na possibilidade de contaminação com patógenos, presença de substâncias tóxicas ou carcinogênicas, possibilidade de causarem indigestões ou reações alérgicas.

A fim de sugerir a aplicação segura da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* em alimentação animal, Torres e Ponsano (2010) investigaram sua composição microbiológica, obtendo os seguintes resultados: bactérias mesófilas aeróbias e facultativas viáveis $5,3 \times 10^6$ UFC g⁻¹, coliformes a 35°C 20,27 NMP g⁻¹, coliformes a 45°C < 1,0 NMP g⁻¹, bolores e leveduras $1,2 \times 10^3$ UFC g⁻¹, e ausência de estafilococos coagulase positivo, *Aeromonas* sp. e *Salmonella* sp.. Os resultados encontrados confirmaram as boas práticas utilizadas na produção da biomassa e estão em acordo com a RDC 12/2001 (ANVISA, 2001), assegurando, assim, sua utilização em ração animal.

2.4 COR DOS ALIMENTOS

Existe uma variedade de definições sobre a qualidade de produtos alimentícios. Para o consumidor, os atributos de qualidade mais importantes são suas características sensoriais (textura, sabor, aroma, forma e cor). Elas determinam a preferência individual por produtos específicos e fazem com que pequenas diferenças entre marcas de produtos tenham uma diferença

substancial na aceitação. Um objetivo contínuo dos fabricantes de alimentos é buscar melhorias no processamento que retenham ou criem qualidades sensoriais desejáveis ou reduzam os danos causados pelo processamento (PEREDA et al., 2005).

Define-se cor como uma característica da radiação eletromagnética visível, de comprimento de onda situado num pequeno intervalo de espectro, a qual depende da intensidade do fluxo luminoso e da composição espectral da luz e que vai provocar no observador uma sensação subjetiva independente de condições espaciais e temporais homogêneas (FELLOWS, 2006). A cor de um alimento é de suma importância para a sua aceitação. Ela serve como critério de qualidade, uma vez que a percepção do mundo é determinada por impressões sensoriais (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Em algumas situações, as mudanças de cor de um alimento são acompanhadas por alterações na textura, sabor e odor (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998) e, em função disto, a alteração de cor de um alimento é um indicador das alterações químicas e bioquímicas possíveis de ocorrer durante o processamento (RIBEIRO et al., 2007). Segundo Pereda et al. (2005), o consumidor não aceita determinados produtos alimentícios se estes não se apresentarem com a cor esperada, pois o gostar de um alimento está intimamente relacionado à sua cor.

A cor de um produto deve-se à presença de pigmentos naturais e/ou sintéticos, estes últimos, podendo ser adicionados aos alimentos na forma de aditivos (RIBEIRO et al., 2007).

De acordo com a definição do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento “aditivo para alimento é toda substância intencionalmente adicionada ao mesmo com a finalidade de conservar, intensificar ou modificar suas propriedades, desde que não prejudique seu valor nutritivo” (BRASIL, 1976). Segundo a FAO, aditivos são substâncias não nutritivas adicionadas aos alimentos com a finalidade de melhorar a aparência, sabor, textura e o tempo de armazenamento, sendo que “em certos casos, os aditivos incluídos nos

alimentos para melhorar a qualidade poderão elevar a sua capacidade nutritiva” (CALIL; AGUIAR, 1999).

Dentre as classes de aditivos permitidos pela legislação brasileira, estão os corantes. Os corantes são substâncias que transmitem novas cores aos alimentos ou exaltam as que eles já possuem, com a finalidade de melhorar seu aspecto (EVANGELISTA, 1998). É bem grande a lista de corantes avaliados pela OMS, porém reduzida parte deles, por serem considerados inócuos, tiveram seu uso autorizado. Os corantes são aplicados em alimentos quando estes originariamente não têm coloração ou não apresentam cor apreciável e/ou quando há perda ou redução de cor, durante o processamento. Um corante que interfere na saúde do consumidor sob o ponto de vista nutricional é o beta-caroteno, formado a partir de reações químicas, idêntico ao pigmento encontrado nas cenouras, que proporciona um maior aporte de vitamina A ao ser absorvido pelo organismo (CALIL; AGUIAR, 1999).

Muitos alimentos já foram e ainda continuam sendo coloridos artificialmente. São exemplos as bebidas, doces, alimentos de origem animal e rações para animais (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Para serem eficientes em sua função, os corantes devem possuir, fundamentalmente, qualidades como conferir ao produto a cor escolhida, permanecer estável durante as etapas de elaboração e armazenamento do produto, apresentar resistência aos processos térmicos elevados, à ação da luz e à presença de acidez e, por fim, ter condições adequadas de solubilidade (EVANGELISTA, 1998).

Os corantes surgiram basicamente com o surgimento de novas tecnologias de fabricação. Inicialmente, tinham a função de melhorar a cor dos alimentos perdida na industrialização mas, com o decorrer do tempo, verificou-se que a cor era uma característica valorizada pelos consumidores, o que levou a indústria a atuar neste campo, colorindo os mais diversos produtos alimentícios e melhorando, assim, as suas vendas (CALIL; AGUIAR, 1999).

Os oxicarotenóides, pigmentos coloridos, são responsáveis pela função pigmentante nos reinos animal e vegetal. Podem ser divididos em duas classes

principais: carotenos, que são hidrocarbonetos poliinsaturados e xantofilas, que são os derivados oxigenados, ocorrendo como carotenos carboxilados e hidroxilados, com seus respectivos ésteres, aldeídos, cetonas e epoxis (OGAWA; MAIA, 1999; PONSANO, 2000). Os carotenóides podem ser encontrados no vegetais, como nas frutas, pétalas e raízes, nos micro-organismos, como bactérias e fungos, e nos animais. No reino animal, esses pigmentos são amplamente distribuídos em crustáceos, insetos e peixes, na plumagem de aves e numa variedade alimentos como leite, manteiga, gema de ovos, queijos, etc. (LATSCHA, 1990). Os animais são incapazes de sintetizá-los, mas são capazes de realizar sua absorção, transformação e deposição em vários tecidos (BREITHAUPT, 2007). Além disso, alguns carotenóides apresentam efeito antioxidante, atuando na prevenção de doenças ateroscleróticas, auxiliam nas funções imunológicas, apresentam atividade anticarcinogênica, modulam a ativação de linfócitos e macrófagos, agem como pró-vitâmnicos, sendo biotransformados em vitamina A, que está diretamente envolvida com reações metabólicas e promovem efeitos sobre a reprodução (BACCONI, 2003; KATSUYAMA; MATSUNO, 1988; LATSCHA, 1990; RODRIGUES et al., 2003; TORRISSEN; CHRISTIANSEN, 1995).

Alguns pigmentos presentes no alimento podem apresentar instabilidade durante o processamento (RIBEIRO et al., 2007). Muitos pigmentos naturais, por exemplo, são destruídos pelo processamento térmico e alterados quimicamente por mudanças no pH ou por oxidação durante a armazenagem. Como consequência, os alimentos processados podem perder sua coloração característica e, assim, seu valor. Pigmentos sintéticos são mais estáveis ao calor, à luz e a mudanças no pH e são por isso, são adicionados para manter a cor de alguns alimentos processados.

Existe disponíveis no mercado um grande número de pigmentos naturais e sintéticos, que são utilizados para intensificação de cores. Exemplos de carotenóides naturais, que podem ser obtidos de fontes diversas, tais como vegetais (milho, beterraba) e micro-organismos, são o beta-caroteno, o

licopeno, a zeaxantina, a astaxantina, a cantaxantina, etc. Como pigmentos sintéticos têm-se, como exemplos, o Carophyll Yellow® (éster do ácido etil apocarotenóico), Carophyll Red® (cantaxantina) e Carophyll Pink® (astaxantina) (LATSCHA, 1990).

O efeito pigmentante apresenta relevância em mercados que demandam produtos de coloração mais intensa, justificando a adição de pigmentantes na produção de aves e pescado (BAKER; GÜNTHER, 2004; BREITHAUPT, 2007; GOUVEIA et al., 1996; TOYOMIZU et al., 2001).

A astaxantina, por exemplo, é um carotenóide amplamente distribuído na natureza, sendo encontrado como principal pigmento em peixes (truta e salmão), provenientes da alimentação destes animais, e em micro-organismos (alga *Haematococcus pluvialis*) que produzem tal pigmento. É utilizada principalmente na criação em cativeiro de trutas e salmões (situação em que os animais não têm acesso a algumas algas e a outras fontes naturais de pigmentos), proporcionando a pigmentação característica destas espécies e aumentando a qualidade e aceitação de seus produtos no mercado (MOTTA et al., 2009). Produtores de ovos utilizam pigmentos sintéticos (Carophyll Yellow®, Carophyll Red®) para promover maior pigmentação da gema dos ovos e aumentar a atratividade dos produtos pelos consumidores (POLONIO et al., 2010; PONSANO et al. 2004a; 2004b; TOYOMIZU et al., 2001). Como outro exemplo, a xantofila de fontes naturais (plantas, algas, bactérias e leveduras) vem sendo utilizada como alternativa nas últimas décadas na alimentação de aves.

2.5 TÉCNICAS DE SECAGEM

A secagem de alimentos é uma das operações que o homem conhece desde a mais remota antiguidade (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Define-se em tecnologia de produtos de origem animal, desidratação, secagem ou dessecação como a extração deliberada e em condições controladas da água

que os alimentos contêm. Essa operação básica é feita por evaporação ou, no caso da liofilização, por sublimação da água. Embora existam outras formas de eliminar a água dos alimentos, como a filtração, a centrifugação ou a extração sólido-líquido, estas não são consideradas como uma operação de secagem, já que não recorrem à evaporação ou à sublimação. Além disso, esses procedimentos eliminam muito menos água. A dessecação ao sol também é excluída devido à falta de controle sobre as condições de processamento (PEREDA et al., 2005). Os principais objetivos pelos quais a indústria alimentícia recorre à secagem podem ser resumidos nos seguintes pontos, de acordo com Pereda et al. (2005):

a) Aumentar o período de conservação dos alimentos. Trata-se do método de conservação no qual se inibem o crescimento de micro-organismos, a atividade de algumas enzimas e determinadas reações químicas por redução da atividade de água. Portanto, é na eliminação da água, por evaporação ou por sublimação, que reside o efeito conservante dessa operação, já que, normalmente, a temperatura que se alcança durante o processo não é suficiente para inativar os agentes de alteração dos alimentos.

b) Reduzir o peso e o volume dos produtos para facilitar e baratear os custos de transporte e armazenamento. A eliminação da água, componente majoritário dos alimentos, evidentemente causa a diminuição do peso, e às vezes, também do volume.

c) Facilitar o uso e diversificar a oferta de produtos. Em algumas situações, a desidratação permite obter produtos de mais fácil utilização e com características organolépticas distintas.

Como exemplos de produtos desidratados, podem-se mencionar leite em pó, frutas secas, café em pó, preparados para purês e sopas, ovo em pó, massas alimentícias, aromatizantes, corantes, sacarose, frutose, enzimas, leveduras, etc. A Tabela 1 apresenta o teor de umidade de alguns alimentos em pó.

Tabela 1 – Teor de umidade de alguns alimentos em pó

Alimento	Teor de umidade (%)
Café (instantâneo)	2,5
Amido de milho	12
Ovo integral	2 – 4
Leite em pó desnatado	2 – 4
Leite instantâneo	2 – 4
Açúcar granulado	0,5
Doce de leite	30

Fonte: Fellows, 2006.

A desidratação envolve simultaneamente a aplicação de calor e a transferência de massa, representada pela remoção de água do alimento. O processo de secagem modifica as características da superfície de um alimento e, portanto, altera sua refletividade e cor (FELLOWS, 2006). A água dos alimentos apresenta papel fundamental em suas propriedades sensoriais e nutricionais. Sendo assim, a secagem pode causar deterioração nessas propriedades; tais como encolhimento, endurecimento e reações de escurecimento (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). O escurecimento por Maillard é uma causa importante tanto de alterações desejáveis na coloração dos alimentos (assados e frituras) quanto do desenvolvimento de cores indesejáveis (processamento térmico e secagem) (FELLOWS, 2006). A reação de Maillard ocorre entre os aminoácidos ou proteínas e os açúcares (carboidratos) redutores, como a glicose ou lactose (MAILLARD, 1912) e, dependendo destes, o processo produz resultados diferentes quanto ao aspecto, à cor e ao sabor.

Os fatores que controlam as taxas de secagem dos produtos podem ser aqueles relacionados às condições de processamento, à natureza do alimento e ao desenho do secador. O projeto e a operação de equipamento objetivam minimizar essas alterações por meio da seleção de condições apropriadas da desidratação para cada alimento em particular (FELLOWS, 2006).

Os equipamentos utilizados para a desidratação podem ser classificados levando-se em conta diversos aspectos. Assim, há equipamentos que trabalham com pressão atmosférica, enquanto outros operam sob certo grau de vácuo. Existem vários tipos de secadores e a escolha de um procedimento de secagem depende das características físicas (viscosidade dos líquidos, tamanho dos sólidos) e químicas (sensibilidade térmica, predisposição para a oxidação) do produto, bem como da diversidade e quantidade do produto a ser processado e fatores de origem econômica. É preciso considerar também a qualidade do produto que se deseja obter (PEREDA et al., 2005). Neste estudo foram utilizadas duas técnicas de secagem para a biomassa de *Rubrivivax gelatinosus*: desidratação por sublimação (liofilização) e a desidratação com ar quente (atomização).

2.5.1 Liofilização

A liofilização, também chamada de criodesidratação, é um tipo especial de desidratação. Ocorre por sublimação ou transformação direta do gelo do alimento em vapor d'água, sem passar pelo estado de água líquida. Como, durante o processamento, ocorre um aquecimento suave, as características nutritivas e sensoriais do produto final submetido a este método de desidratação são muito similares à do alimento fresco. Contudo, a velocidade de desidratação é lenta, e os custos de equipamentos e da operação (baixas temperaturas e vácuo) são elevados (PEREDA et al., 2005).

Como qualquer outro método de desidratação, a liofilização é um processo que envolve, simultaneamente, transmissão de calor e transferência de massa. A força motora da transmissão de calor é o diferencial de temperatura e a da transferência de massa é o gradiente de pressão. O fornecimento de calor à pressão constante, abaixo de 4,58 mm Hg, a um material congelado inicia a sublimação; porém, com a emissão de vapor, a pressão aumenta, causando o bloqueio da sublimação (BARUFFALDI;

OLIVEIRA, 1998). É necessário, portanto, dispor de um elemento retentor dos vapores emitidos, o condensador.

Então, para possibilitar a liofilização, é preciso que o produto seja previamente congelado, e seja direcionado ao equipamento com os seguintes aparelhos básicos: câmara de vácuo, um condensador e uma bomba de vácuo, como demonstra a Figura 1.

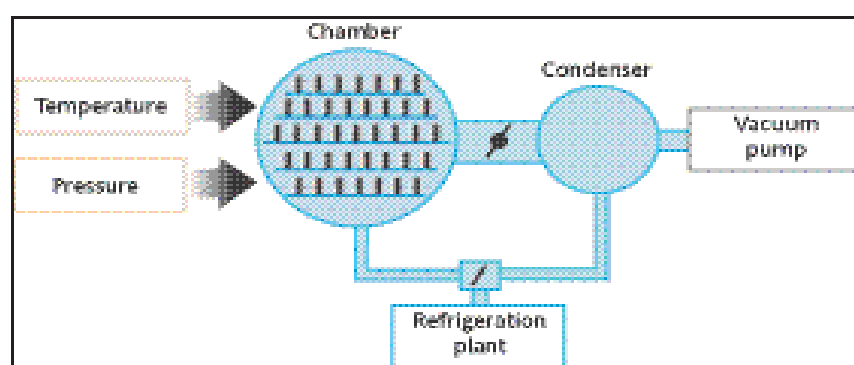


FIGURA 1 – Mecanismo de liofilização. Eurotherm (2008).

Inicialmente é realizado um preparo inicial (limpeza, corte, cozimento, etc.). Sequencialmente, efetua-se o congelamento, que tem como objetivo transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases: uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. Posteriormente, o alimento é colocado em câmaras de alto vácuo (saída de água do produto em direção ao condensador), sob temperatura de -40°C . Com estas condições de pressão e temperatura, atinge-se a temperatura necessária para obter a saída da água do alimento por sublimação (ROSA et al., 2006).

A qualidade da liofilização depende da matéria-prima, do equipamento e dos procedimentos operacionais. A variedade dos alimentos que podem ser liofilizados é muito grande, havendo, portanto, para cada tipo de material, características próprias. A liofilização é usada para secar alimentos caros que têm aroma ou textura delicados, pelos quais os consumidores estariam

dispostos a pagar preços mais elevados por uma qualidade superior (FELLOWS, 2006).

Há uma variedade de produtos que podem ser liofilizados, entre eles:

- vegetais: café, feijão, couve-flor, cogumelos, cebola, ervilha, condimentos;
- frutas: banana, morango, pêssago, tomate, além dos sucos de frutas;
- carnes: bovina, suína, de frango;
- derivados do leite: queijo, iogurte;
- alimentos de conveniência: refeições prontas, alimentos infantis, rações militares.

2.5.1.1 Efeitos nos alimentos

Os alimentos liofilizados apresentam alta retenção das características sensoriais e qualidade nutricionais, apresentando uma vida de prateleira maior do que 12 meses. Os compostos aromáticos voláteis não são absorvidos no vapor produzido pela sublimação e ficam presos na matriz do alimento. Como resultado, é possível uma retenção de 80 a 100% do aroma (PEREDA et al., 2005).

A textura é bem mantida, havendo pouco encolhimento e sem formação de crosta na superfície. A estrutura porosa confere rápida reidratação, porém requer proteção contra danos mecânicos. Essa estrutura também permite a entrada de oxigênio e causa a deterioração oxidativa dos lipídeos. Por isso o alimento deve ser embalado em gás inerte (FELLOWS, 2006).

De forma geral, como o alimento não é exposto a altas temperaturas, não ocorre a degradação do valor nutricional e o produto liofilizado preserva as características nutritivas originais, forma e textura após a reconstituição que é instantânea (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

2.5.2 Atomização

A atomização, técnica também conhecida por *spray drying* tem como princípio básico a maximização da área de troca de calor e massa durante a secagem. O secador atomizador é o equipamento mais importante para a desidratação de produtos líquidos com ar quente na indústria alimentícia (PEREDA, 2005). Essa técnica pode ser aplicada a qualquer material bombeável, ou seja, com comportamento líquido como, por exemplo, pastas, lamas, suspensões e soluções (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

Os três elementos essenciais nesse tipo de secador são o atomizador (ao qual se deve o nome), a câmara de secagem e um sistema de recolhimento das partículas secas. O sistema de atomização é composto de uma fase de transformação do líquido em uma névoa, um aquecimento ou fonte de ar quente, uma câmara de mistura da névoa com o ar e um método de recuperar ou reter os sólidos secos (PEREDA, 2005).

Um dos aspectos mais críticos nesse equipamento é a passagem do produto pelo bico atomizador. Para que a desidratação seja rápida e uniforme, é fundamental obter a aspersão de gotas com tamanho homogêneo. Além disso, o tamanho das gotas determinará o tamanho das partículas secas finais (LABMAQ, 2010).

Na atomização, o produto líquido subdivide-se em gotas muito pequenas no interior da câmara, onde elas entram em contato com o ar quente. A evaporação da água das gotas é praticamente instantânea, e cada uma delas se transforma em uma partícula seca que é transportada pelo ar de secagem. Em seguida, e na saída da câmara, as partículas secas separam-se da corrente de ar na qual estão suspensas e são recolhidas para seu acondicionamento. A velocidade de desidratação é muito alta (15 a 45 s) porque a área superficial das partículas é grande e a temperatura da superfície das partículas não supera a temperatura do bulbo úmido do ar de secagem (40 a 70°C) devido ao resfriamento associado com a evaporação da água e a seu

curto tempo de permanência na câmara (PEREDA, 2005). A Figura 2 apresenta um esquema de atomizador.

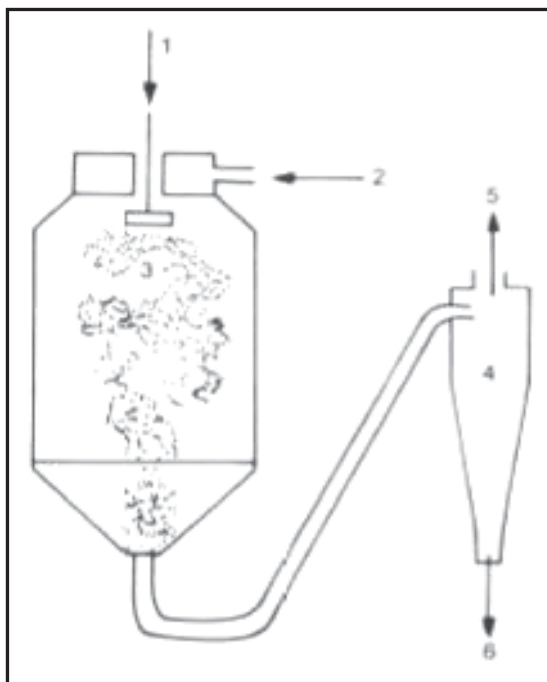


FIGURA 2 – Atomizador. 1) Alimentação. 2) Ar quente. 3) Disco centrífugo. 4) Ciclone. 5) Exaustão. 6) Pó. Baruffaldi e Oliveira (1998).

Devido à sua versatilidade e rapidez, essa técnica tornou-se o principal processo de secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica, tais como extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, micro-organismos, enzimas e proteínas (LABMAQ, 2010; ROSA et al., 2006).

Existe uma variedade de produtos alimentícios que são desidratados utilizando secagem por *spray dryer*, por exemplo, leite, ovos, café, cacau, chá, creme, iogurte, soro, caseínas, queijo em pó, sucos de frutas, extrato de carne, leveduras e produtos de amido de milho e trigo (FELLOWS, 2006; PEREDA, 2005).

O tamanho dos secadores em *spray* pode variar desde pequenos modelos em escala piloto para baixos volumes de produtos de alto valor agregado (como enzimas e aromatizantes) até grandes modelos comerciais capazes de produzir 10.000 kg de leite em pó por hora (FELLOWS, 2006).

Os atomizadores, comparados a outros desidratadores, reúnem as melhores condições de rendimento técnico e econômico (EVANGELISTA, 1998). As principais vantagens da desidratação por atomização são: alta qualidade dos produtos obtidos, rápida velocidade de secagem, produção contínua em larga escala, baixos custos com mão-de-obra, bem como simplicidade de operação e manutenção. As principais limitações são o alto custo inicial e a necessidade de um teor de umidade relativamente alto de alimentação para garantir que o alimento possa ser bombeado e atomizado (FELLOWS, 2006; PEREDA, 2005).

2.7.2.1 Efeitos nos alimentos

Como o processamento é rápido e as partículas atingem no máximo cerca de 80°C, considera-se que os alimentos atomizados possuem qualidade excelente (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

Em relação à cor do produto atomizado, pode haver alteração em função dos parâmetros utilizados (temperatura de entrada e saída, vazão de ar comprimido e vazão da bomba peristáltica), como a perda ou mudança de coloração. Assim como na liofilização, a textura é bem mantida, o produto possui rápida reidratação e cuidados com a oxidação devem ser tomados (FELLOWS, 2006).

Estudos anteriores realizaram a secagem da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* pela liofilização, técnica que exige longo tempo de processamento (LIMA, 2009; PONSANO et al., 2002a; 2002b; 2003a; 2008; SANTO et al.,

2010). Assim, buscou-se um processo de secagem que possuísse um menor tempo de processamento, sendo a atomização uma alternativa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MICRO-ORGANISMO, REATIVAÇÃO, PRÉ-INÓCULO E INÓCULO

A bactéria fototrófica *Rubrivivax gelatinosus* (Figura 3) utilizada nos experimentos foi isolada do efluente de abatedouro avícola e caracterizada com base em testes bioquímicos, morfológicos e pelo espectro de absorção de pigmentos fotossintetizantes, de acordo com o descrito por Ponsano et al. (2002a) e encontrava-se armazenada a -20°C em ágar inclinado de Pfennig (PFENNIG, 1974).



FIGURA 3 - *Rubrivivax gelatinosus* armazenada em ágar inclinado de Pfennig como cultura de estoque.

As etapas de reativação da cultura de *Rubrivivax gelatinosus* foram realizadas conforme descrito em Ponsano (2002b).

Para o preparo do pré-inóculo, uma alçada da cultura de *Rubrivivax gelatinosus* foi transferida para tubos de ensaio de vidro de boca esmerilhada contendo meio de Pfennig líquido acrescido de 1% (v/v) das soluções de microelementos e das vitaminas tiamina e biotina (PFENNIG, 1974). Os tubos foram completamente preenchidos para fornecer atmosfera de anaerobiose. O cultivo foi incubado em estufa DBO a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ com 1.400 ± 200 lux até atingir densidade ótica de 0,5 a 600 nm, estando, assim, pronto para ser utilizado como pré-inóculo.

Para a produção dos inóculos (Figura 4), os pré-inóculos bacterianos foram transferidos na concentração de 1% (v/v) para provetas de vidro de 1.000 mL dotadas de tampa e boca esmerilhadas, contendo meio de Pfennig líquido (PFENNIG, 1974).



FIGURA 4 – Inóculo de *Rubrivivax gelatinosus*.

As provetas foram completamente preenchidas com o meio para fornecer ambiente de anaerobiose e incubadas a $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e 1.400 ± 200 lux, por sete dias, para a produção da biomassa.

3.2 PREPARO DO SUBSTRATO

O efluente de pescado (Figura 5) foi obtido de indústria de abate e processamento de pescado – Indústria Tilápia do Brasil S/A (Buritama – SP). Após ser submetido ao gradeamento na indústria, o efluente foi colhido e transportado ao laboratório em bombonas plásticas, filtrado em sistema de porosidade de $50\ \mu\text{m}$, tratado a $60\text{-}65^{\circ}\text{C}/30$ min em tanque de pasteurização lenta (Incomar/TL500) e imediatamente resfriado para 30°C , tornando-se apto a receber o inóculo bacteriano.



FIGURA 5 - Local de coleta do efluente de indústria de processamento de pescado.

3.3 PRODUÇÃO E TÉCNICAS DE SECAGEM DA BIOMASSA

Os inóculos foram adicionados ao substrato (1%, v/v) acondicionado em reatores de vidro (capacidade de 100 L), que foram completamente preenchidos e vedados com tampas adequadas a fim de fornecer uma

atmosfera de anaerobiose. A incubação foi realizada durante sete dias em temperatura de $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e luminosidade de 2.000 ± 500 lux. Após esse período, os cultivos (Figura 6) apresentaram cor vermelho-púrpura, característica do desenvolvimento da bactéria nos substratos.



FIGURA 6 - Reatores biológicos utilizados para o cultivo do micro-organismo no efluente de indústria de processamento de pescado.

Ao final do período de produção, todo o cultivo foi filtrado em sistema com unidade de filtração de $0,75 \text{ m}^2$, porosidade de $0,2 \mu\text{m}$, vazão de $1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

e pressão de 1,5 bar (Frings do Brasil). O retentado produzido foi dividido para as duas técnicas de secagem (2 L cada).

Para a liofilização (Figura 7), procedeu-se à centrifugação (Incibrás Spin VI) a 3.400 x g durante 30 min a 5°C. O sobrenadante foi descartado e o resíduo obtido congelado a -40°C e liofilizado (Liobrás L 101) durante 48 h. O material obtido foi pulverizado manualmente em almofariz e pesado, dando origem a um pó e constituindo-se na biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* liofilizada.



FIGURA 7 – Liofilizador utilizado para a secagem da biomassa de *R. gelatinosus*.

A segunda fração do retentado foi submetida à atomização, realizada na empresa Labmaq do Brasil Ltda – Instrumentos e Equipamentos, situada no

município de Ribeirão Preto-SP, em atomizador MSDi 1.0 (Figura 8). As condições do processo incluíram: temperatura de entrada 120°C, temperatura de saída 65°C, vazão de ar comprimido 35 L min⁻¹, pressão 4 L h⁻¹ e vazão da bomba peristáltica 1 L h⁻¹, originando a biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* atomizada.



FIGURA 8 – Atomizador utilizado para a secagem da biomassa de *R. gelatinosus*.

Os produtos obtidos foram pesados e armazenados em vácuo e ao abrigo da luz. O processo de obtenção de biomassa foi repetido por seis vezes e as análises realizadas em duplicata para cada amostra.

3.4 CÁLCULO DO RENDIMENTO, RECUPERAÇÃO E TEMPO DE PROCESSAMENTO

O rendimento dos processos de secagem foi determinado pela relação entre as concentrações de sólidos totais no retentado proveniente da microfiltração e nos produtos finais. A determinação dos sólidos totais no retentado foi realizada inicialmente em banho-maria a 100°C para a redução do volume inicial de 100 mL, seguida de secagem em estufa a 105°C, até peso constante. Para as biomassas, a concentração de sólidos foi determinada diretamente em estufa a 105°C, até a obtenção de peso constante.

A recuperação das biomassas foi determinada pela pesagem dos produtos obtidos após a secagem por ambas as técnicas.

O tempo de processamento para cada uma das técnicas de secagem foi registrado em horas.

3.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA

Para a caracterização químico-bromatológica, foram realizadas as seguintes determinações, segundo normas do Instituto Adolfo Lutz (1985): umidade e voláteis – em estufa a 105°C, proteínas – pelo método de Kjeldahl, lipídeos – por extração em éter etílico e matéria mineral – por incineração em mufla a 550°C.

3.6 CARACTERIZAÇÃO OBJETIVA DA COR

Para a determinação objetiva dos produtos foi utilizado o espaço *LCh*, que compreende os atributos *L* (*Lightness*), *C* (*Chroma*) e *h* (*hue*), conforme representado na Figura 9. *L* vai de 0 (preto) a 100 (branco) e indica a luminosidade do produto. *C* indica a saturação da cor e seu aumento indica a intensidade da cor do produto. O valor de *h* representa o tom da cor e é

indicado por uma medida angular, sendo que um aumento de valor no sentido anti-horário indica mudanças de tom que passam por vermelho (0°), amarelo (90°), verde (180°) e azul (270°) (HUNTERLAB, 2010).

Os atributos de cor foram obtidos pela média de três pulsos consecutivos da câmara ótica do espectrofotômetro Hunterlab Miniscan XE Plus, calibrado com padrões branco e preto, utilizando-se área de abertura de visão de uma polegada, iluminante D65 e ângulo de 10° para o observador (CIE, 1986).

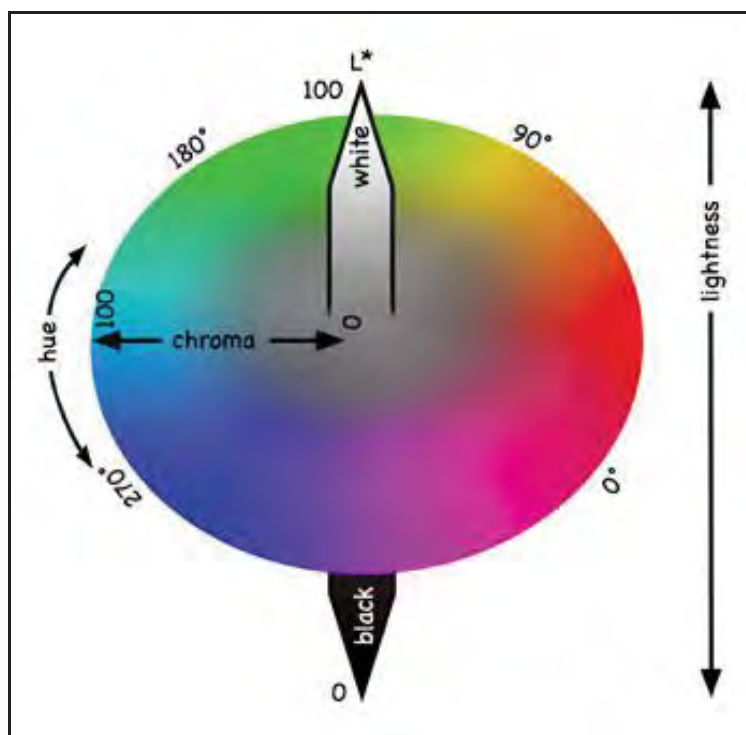


FIGURA 9 – Diagrama de cor do espaço *LCh*.
Graphic quality consultancy (2009).

3.7 QUANTIFICAÇÃO DOS PIGMENTOS CAROTENÓIDES

A técnica de recuperação de carotenóides totais foi adaptada da metodologia descrita por Valduga (2005). Para isso, 0,1 g da biomassa foi triturada em almofariz na presença de nitrogênio líquido. Ao material triturado,

foram adicionados três mL de dimetilsulfóxido e o conteúdo obtido foi transferido para tubo de ensaio onde se procedeu à sonicagem de 40 kHz (Unique/USC 1.800A) a 55°C/30 min com pulsos intermitentes intercalados a agitações periódicas (Phoenix/P-56). Em seguida, ao conteúdo do tubo foram adicionados três mL da mistura acetona/metanol (7:3, v/v), o tubo foi centrifugado (1.800 x g, 10 min) e o sobrenadante obtido foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL. Foram realizadas extrações sucessivas, até que o solvente e a biomassa perdessem totalmente a coloração. O volume do balão volumétrico foi completado para 50 mL com metanol e, a partir desta solução, foram preparadas diluições 1:5 e 1:10 (v/v), também em metanol, para a quantificação dos pigmentos a 448 nm (Hitachi/U-1900), que corresponde ao comprimento de onda médio dos máximos de absorbância dos oxicarotenóides produzidos pela bactéria. A concentração total de carotenóides foi estimada segundo a equação descrita por Davies (1976) e o coeficiente de absorbância utilizado foi 2500 (LIAAEN-JENSEN; JENSEN, 1971).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos ao teste t para comparação das médias utilizando-se software GraphPad InStat Versão 3.06 (VIEIRA, 1999). O nível de significância adotado foi de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RENDIMENTO, RECUPERAÇÃO E TEMPO DE PROCESSAMENTO

A média e o desvio padrão dos rendimentos das técnicas de secagem e a quantidade de biomassa recuperada estão apresentados na Tabela 2. Os produtos gerados estão demonstrados na Figura 10. Em se tratando do tempo de processamento, enquanto a liofilização requereu 48 h para uma secagem

adequada, a atomização ocorreu em 2 h, nas condições experimentais utilizadas. Isso indica que a liofilização é uma técnica mais demorada, o que, no caso de produção em grande escala, pode refletir diretamente sobre o custo do produto, devido ao maior gasto energético.

Os resultados revelaram que o rendimento de secagem não apresentou diferença significativa entre os métodos ($p = 0,3634$); já a quantidade de biomassa recuperada após a atomização foi menor ($p = 0,004$). Essa menor recuperação pode ser explicada pelo fenômeno da adesividade do produto nas paredes da câmara do atomizador, característica de algumas substâncias na área de alimentos e farmacêutica e é responsável por perdas consideráveis (BHANDARI et al., 1997), situação que não ocorre na liofilização. Tal fenômeno, expresso na língua inglesa como “stickness point”, pode ser traduzido como “ponto de cola”. Tratando-se de característica reológica do material processado, o “ponto de cola” também está relacionado com a transição vítrea e depende da temperatura e umidade. Durante a secagem, à medida que a umidade é retirada, a solução fica mais concentrada e há um aumento proporcional de viscosidade, e nesse ponto, o material passa a apresentar adesividade (LABMAQ, 2010).

Tabela 2 – Rendimento das técnicas de secagem e recuperação da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* produzida em efluente de indústria de processamento de pescado¹

	Rendimento (%)	Recuperação (g)
Atomização	74,53 ± 1,81	12,32 ± 0,98
Liofilização	74,92 ± 1,77	16,86 ± 0,48

¹ Valores médios e respectivos desvios padrões.

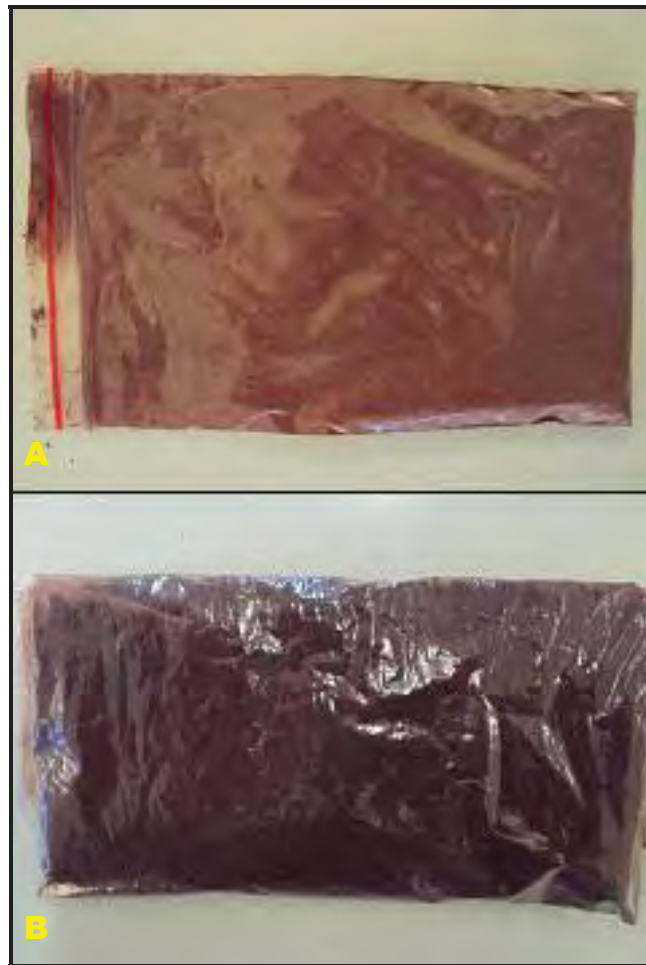


FIGURA 10 – A) Biomassa de *R. gelatinosus* atomizada. B) Biomassa de *R. gelatinosus* liofilizada.

Além da transição vítrea do material, outro fator relacionado com a adesão nas paredes da câmara de secagem é a geração de cargas eletrostáticas. Numa secagem por *spray dryer*, as cargas elétricas podem ser geradas por diferentes maneiras: carga de dupla camada elétrica no tubo de alimentação e no bico atomizador, carga de contato ou fricção nas paredes da câmara ou do ciclone. As soluções são carregadas negativamente quando passam no bico atomizador, e recebem carga positiva das paredes na câmara e do ciclone. A diferença de carga gera, portanto, uma adesão, a qual diminui com o tempo, pois as primeiras camadas aderidas impedem a troca de carga

subsequente (LABMAQ, 2010). Na prática, isso representou uma camada de produto que ficou aderida às paredes do equipamento e cuja recuperação, além do frasco coletor, foi realizada também manualmente para se evitar perdas.

De modo geral, a pequena recuperação de biomassa encontrada neste trabalho por ambas as técnicas de secagem se justifica pela baixa produtividade característica do cultivo de bactérias fototróficas sob condições anaeróbicas na presença de luz, onde o metabolismo é mais direcionado para a produção de pigmentos do que para o crescimento celular (PRASERTSAN et al., 1993).

Apesar de não terem sido utilizados neste estudo, há uma ampla diversidade de aditivos que podem melhorar a recuperação do material após a secagem por atomização, diminuindo as perdas por adesão às paredes do equipamento. Alguns destes aditivos ainda são responsáveis pela modificação das propriedades do pó seco, inclusive a estabilidade, liberação controlada de ativos, etc. Pesquisas demonstram que os aditivos mais utilizados são os amidos modificados, maltodextrinas e goma arábica e que podem ser testados futuramente na biomassa bacteriana em estudo. A Tabela 3 demonstra alguns dos principais aditivos aplicados na atomização. Em muitos casos, pesquisadores preparam misturas de dois ou mais aditivos para obter pó com propriedades específicas (BRITTAİN et al., 1991).

Tabela 3 – Aditivos utilizados para secagem por atomização

Aditivo	Funções
Amidos modificados	antiadesivo, barreira física, diluente
Maltodextrinas	antiadesivo, barreira física, diluente
Derivados de celulose	diluentes, liberação modificada, barreira física
Gelatinas	diluentes, barreira física
Goma arábica	barreira física para voláteis
Açúcares	antiadesivos, barreira física

Fonte: Labmaq, 2010.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA

As composições químico-bromatológicas das biomassas de *Rubrivivax gelatinosus* encontradas pelas duas técnicas estão descritas na Tabela 4. As concentrações de umidade encontradas foram de 3,65% e 4,15% para a biomassa atomizada e a biomassa liofilizada respectivamente.

Tabela 4 – Composição químico-bromatológica, em base seca, das biomassas de *Rubrivivax gelatinosus* obtidas pelos métodos de atomização e liofilização¹

	Atomização (%)	Liofilização (%)
Proteína bruta	56,3 ± 2,27	57,81 ± 1,99
Lipídeos	12,95 ± 1,06	12,23 ± 1,4
Matéria mineral	6,9 ± 0,34	4,51 ± 0,43
Extrato não nitrogenado	23,85 ± 1,46	25,45 ± 1,58

¹ Valores médios e respectivos desvios padrões.

A grande concentração de proteína encontrada na biomassa é uma característica singular de produtos de bactérias fotossintetizantes indicando um possível uso deste produto em rações animais (PONSANO et al., 2003b).

A porcentagem de umidade ($p = 0,0022$) foi maior para o produto obtido por liofilização, já a porcentagem de matéria mineral ($p < 0,0001$), foi maior para atomização. Em relação às concentrações de proteínas ($p = 0,355$) e lipídeos ($p = 0,3022$), não houve diferença significativa entre os métodos.

O menor valor de umidade encontrado para o produto obtido por atomização indica que esta técnica possui maior eficiência na retirada da água, possivelmente pela rapidez e dinamismo do método. Pode-se inferir também que o método de atomização gerou uma biomassa que apresentará melhor capacidade de conservação devido à menor porcentagem de água encontrada em relação ao produto liofilizado.

Outros estudos investigaram a composição químico-bromatológica da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* e todos demonstram que a diferença da composição varia conforme o substrato utilizado e sua quantidade de matéria orgânica. Torres e Ponsano (2010) realizaram um trabalho que caracterizou a biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* produzida em efluente de indústria de abate e processamento de pescado em relação a composição químico-bromatológica, cor, composição microbiológica e conteúdo de pigmentos carotenóides e aminoácidos, visando sua utilização como aditivo de ração de aves e peixes. Os autores encontraram na composição da biomassa liofilizada 57,39% de proteína, 11,08% de lipídeos, 4,55% de umidade, 4,05% de matéria mineral e 22,93% de extrativo não nitrogenado, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo (TORRES; PONSANO, 2010). Ponsano et al. (2003a), por meio do cultivo da bactéria em efluente de abatedouro avícola, encontraram 62,8% de proteína, 25,6% de carboidratos, 0,5% de lipídeos, 7,1% de umidade e 4% de matéria mineral na biomassa bacteriana liofilizada.

Noparatnaraporn e Nagai (1986) cultivaram *R. sphaeroides* P47 em resíduos do processamento de abacaxis e obtiveram biomassa com 66,6% de proteínas. Balloni et al. (1986), utilizando como substrato o efluente proveniente de criação de suínos, cultivaram um consórcio de bactérias fotossintetizantes (*Rubrivivax gelatinosus* e outras) e produziram uma biomassa contendo 50,6% de proteína, 12% de carboidratos, 22,5% de lipídeos e 15,5% de matéria mineral. Sasaki et al. (1981), pelo cultivo de duas cepas de *R. gelatinosus* em efluente de indústria de processamento de soja, encontraram 62 e 63% de proteína na biomassa bacteriana.

4.3 CARACTERIZAÇÃO OBJETIVA DA COR

Na Tabela 5 estão demonstrados os atributos de cor das biomassas obtidas pelas técnicas de liofilização e atomização. A Figura 11 demonstra os produtos obtidos.

Tabela 5 - Cor objetiva das biomassas de *Rubrivivax gelatinosus* obtidas pelos métodos de atomização e liofilização¹

	Atomização	Liofilização
<i>L</i>	38,07 ± 2,14	19,68 ± 4,67
<i>C</i>	23,85 ± 0,84	10,09 ± 1,92
<i>h</i>	26,63 ± 1,84	20,01 ± 0,94

¹ Valores médios e respectivos desvios padrões.

As porcentagens de todos os atributos de cor ($p < 0,0001$) foram maiores para o produto obtido por atomização, indicando que a biomassa proveniente desta técnica é mais clara, menos vermelha e de cor mais intensa. Essa diferença pode ser explicada pelas características do processo de atomização, que é mais dinâmico que a liofilização (FELLOWS, 2006).



FIGURA 11 – Biomassas de *R. gelatinosus*.

Os parâmetros de temperatura e pressão utilizados na atomização e o tamanho das partículas geradas pela passagem do líquido pelo bico atomizador podem causar alterações nos produtos, inclusive em sua cor

(LABMAQ, 2010). Além disso, a diferença significativa na concentração de umidade nas biomassas obtidas também pode ter sido responsável pela diferença na cor, uma vez que a secagem modifica as características da superfície de um produto e altera sua refletividade e cor (FELLOWS, 2006). Pigmentos, como os carotenos e as clorofilas, também podem ser afetados pelo aumento da temperatura e sofrer oxidação durante o processamento (PEREDA, 2005). Em relação à técnica de liofilização, o congelamento prévio à sublimação também pode alterar a coloração do produto. Torres e Ponsano (2010) cultivaram *Rubrivivax gelatinosus* em efluente de indústria de processamento de pescado e, ao avaliarem a coloração da biomassa liofilizada, encontraram valores de 22,42 para *L*, 14,22 para *C* e 25,48 para *h*, semelhantes ao produto liofilizado no presente trabalho.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DOS PIGMENTOS CAROTENÓIDES

Os valores médios de pigmentos carotenóides presentes nos produtos em estudo estão demonstrados na Tabela 6. Pode-se afirmar que não houve diferença significativa na concentração desses pigmentos entre os métodos ($p = 0,9293$).

Tabela 6 – Concentrações de pigmentos carotenóides, em base seca, das biomassas de *Rubrivivax gelatinosus* obtidas pelos métodos de atomização e liofilização¹

	Pigmentos carotenóides mg de carotenóides g de biomassa ⁻¹
Atomização	3,74 ± 2,21
Liofilização	3,72 ± 1,95

¹ Valores médios e respectivos desvios padrões.

Esses valores assemelham-se aos obtidos por Prasertsan et al. (1997) para *Rhodocyclus gelatinosus* R7, que detectaram valores entre 2,13 e 3,90 mg (base seca) de carotenóides g de biomassa⁻¹ proveniente de efluente de

indústria de processamento de atum. Torres e Ponsano (2010) encontraram valor médio de $3,03 \pm 0,44$ mg de carotenóides g de biomassa⁻¹ (base úmida) de *Rubrivivax gelatinosus* produzida em efluente de indústria de pescado. Wenzel et al. (2010) identificaram e quantificaram os carotenóides presentes em gemas de ovos frescas, pasteurizadas, liofilizadas, atomizadas e congeladas. Os carotenóides mais abundantes foram cantaxantina, luteína, zeaxantina e ácido éster etil apocarotenóico. Segundo esses autores, a pasteurização não causou alterações importantes no conteúdo de carotenóides, já a secagem resultou em maior teor. Após o congelamento, todas as amostras apresentaram pigmentos em menor quantidade.

Pigmentos carotenóides são utilizados na alimentação de trutas e salmões para se obter a coloração característica destes produtos. A taxa de deposição dos carotenóides na musculatura de salmonídeos depende do tipo do pigmento, de sua concentração na ração, da densidade energética da ração, do tamanho do peixe, do estado fisiológico, dos fatores ambientais, das doenças, do histórico genético e do tempo de arraçoamento com o carotenóide selecionado (TAKAHASHI et al., 2008). A astaxantina é um carotenóide amplamente distribuído na natureza, sendo encontrado como principal pigmento na alimentação de peixes (truta e salmão). Passos et al. (2007) avaliaram métodos de extração de pigmentos carotenóides totais e de astaxantina das microalgas *Chlorella vulgaris* e *Haematococcus pluvialis* e da levedura *Phaffia rhodozyma*, potencialmente utilizadas no arraçoamento de peixes e crustáceos em cativeiro. A biomassa da microalga *Haematococcus pluvialis* revelou o maior conteúdo de carotenóides totais (20,79 mg de carotenóides totais g célula seca⁻¹).

Storebakken e Choubert (1991) avaliaram o crescimento, a conversão alimentar e a concentração de carotenóides em trutas alimentadas com rações suplementadas com 25 ou 50 mg de astaxantina ou cantaxantina em água doce e salgada. Os resultados demonstraram diferenças significativas no crescimento e na conversão alimentar, com maiores valores para a os animais

alimentados com a taxa de 1,5% do peso corporal dia⁻¹. As trutas alimentadas com dietas contendo astaxantina continham cerca de 1,5 vezes mais carotenóides do que na carne daquelas alimentadas com rações contendo cantaxantina. Entre as trutas em água doce e salgada, houve apenas diferença em relação à concentração de carotenóides na carne, sendo maior na água doce. Tolasa et al. (2005) avaliaram o total de carotenóides (astaxantina, cantaxantina) e a pigmentação de salmões (em sistema tradicional e de forma natural) e trutas. Os autores constataram uma maior pigmentação com o uso da astaxantina e o total de carotenóides foi maior no salmão cultivado de forma tradicional.

Em se tratando de avicultura, foram realizados estudos utilizando-se a biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* para a suplementação da dieta dos animais. Ponsano et al. (2003a) avaliaram o uso da biomassa da bactéria na ração de frangos e seus efeitos sobre a pigmentação da carcaça, comparados com o uso de glúten de milho, e sugeriram o uso do produto em ração animal, devido a seu potencial pigmentante. Ponsano et al. (2004b), objetivando avaliar o ganho de peso, produção e peso de ovos e cor da gema, notaram resultados positivos com a suplementação da dieta de poedeiras pela biomassa. Ponsano et al. (2004a) obtiveram bons resultados no ganho de peso de aves e maior coloração vermelha na pele do peito e coxa de frangos de corte pelo uso da biomassa. Polonio et al. (2010) realizaram a adição de biomassa *Rubrivivax gelatinosus* na dieta de galinhas poedeiras e avaliaram a coloração das gemas, a preferência do consumidor pelos ovos e a função hepática e renal dos animais. As diferentes concentrações de biomassa testadas provocaram um escurecimento e aumento da cor vermelha na gema, mas não afetou a cor amarela. O produto preferido por um painel não treinado foi aquele que apresentava maior cor vermelha, obtida com a concentração de 4,5 g de biomassa kg de ração⁻¹. As análises bioquímica e histológica não indicaram efeitos deletérios da biomassa sobre o fígado e nem sobre o rim durante o período do estudo.

Tais produtos podem apresentar importância para mercados consumidores que demandam produtos de coloração mais acentuada, como é o caso de México, Bélgica, Itália, Peru e algumas regiões do Brasil, entre outros, justificando a adição de pigmentantes na fase de produção animal (GOUVEIA et al., 1996; TOYOMIZU et al., 2001).

4.5 TÉCNICAS DE SECAGEM

Sobre as técnicas de secagem, pode-se constatar que existe mais de um tipo de secador adequado para um determinado produto. Assim, o conhecimento prático é imprescindível para a escolha de um secador que seja capaz de atingir as propriedades desejadas no produto final (PARK et al., 2007). A aplicação da técnica de atomização necessita do conhecimento de diversos aspectos físico-químicos dos materiais envolvidos e como estes interagem com as diversas variáveis do processo, entre elas temperatura de entrada e saída, vazão do ar comprimido, pressão e vazão da bomba peristáltica (LABMAQ, 2010). Estas variáveis foram testadas de forma empírica neste estudo por ter sido a primeira secagem deste tipo de material. As diferenças encontradas em relação à liofilização, como recuperação, umidade, matéria mineral e cor, provavelmente envolvem todos estes parâmetros, específicos do atomizador. A liofilização, entretanto, envolve apenas o processo de sublimação submetido ao vácuo, não possuindo grandes variações em seu processo operacional. De qualquer forma, a técnica de atomização é justificada pelo rápido processamento.

5 CONCLUSÃO

Apesar de resultar em menor recuperação, a atomização, em relação à liofilização, revelou-se um processo mais rápido e de rendimento equivalente. Os produtos obtidos por ambas as técnicas revelaram-se semelhantes em

relação à composição química e pigmentante. Este novo produto pode ser alvo de estudos posteriores para avaliar sua aplicação como componente pigmentante de ração animal.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Agronegócio. **Piscicultura**. Disponível em: <http://www.investimentosalagoas.al.gov.br/op/ag_01.pdf>. Acesso em: 18 maio 2010.

ANA. **Aquicultura e pesca**: situação atual. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/pnrh/documentos>>. Acesso em: 25 out. 2010.

ANVISA. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <http://www.abic.com.br/arquivos;leg_resolucao12_01_anvisa.pdf>. Acesso em: 6 de out. 2010.

ARRUDA, L. F. **Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da tilápia do Nilo**. 2004. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AZAD, S. A.; VIKINESWARY, S.; RAMACHANDRAN, K. B. Growth and production of biomass of *Rhodovulum sulfidophilum* in sardine processing wastewater. **Letters in Applied Microbiology**, v. 33, n. 4, p. 264-268, 2001.

AZAD, S. A.; VIKINESWARY, S.; CHONG, V. C.; RAMACHANDRAN, K. B. *Rhodovulum sulfidophilum* in the treatment and utilization of sardine processing wastewater. **Letters in Applied Microbiology**, v. 38, n. 1, p.13-18, 2004.

AZEVEDO, J. L.; MELO, I. S. **Biodiversidade microbiana e potencial biotecnológico**. Ecologia microbiana. Embrapa CNPMA. Jaguariúna-SP, p. 445-461, 1998.

BACCONI, D. F. **Exigência nutricional de vitaminas para alevinos de Tilápia do Nilo** (*Oreochromis niloticus*). 2003. 31f. Dissertação (Mestrado em Agronomia na área de Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BAKER, R.; GÜNTER, C. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. **Trends Food Science Technology**, v. 15, n. 10, p. 484-488, 2004.

BALLONI, W.; CARLOZZI, P.; VENTURA, S.; SACCHI, A. Microbial biomass for fertilizer use from the photo-anaerobic treatment of pig-wastes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPOST RECYCLING OF WASTES, 1986, Udine, Itália, 1986. **Proceedings**...Udine: Elsevier, 1986. p. 752-756.

BARBOSA, E. A.; AZEVEDO, C. A. V.; RAO, T. V. R.; FURLANETTO, E. L. Uma proposta de gestão ambiental em resíduos sólidos para centrais de abastecimento de produtos agrícolas e agroindustriais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 181-191, 2008.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, 317 p.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Decreto nº 76.986, de 06 de janeiro de 1976. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização dos produtos destinados à alimentação animal. [Diário Oficial da República Federativa do Brasil]. Poder Executivo, Brasília, DF, 7 jan. 1976. Disponível em:

<<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=3976>> . Acesso em: 15 jan. 2011.

BREITHAUPT, D. E. Modern application of xanthophylls in animal feeding: a review. **Trends Food Science Technology**, v. 18, n. 10, p.501-506, 2007.

BRITTAIN, H. G.; BOGDANOWICH, S. J.; BUGAY, D. E.; DEVICENTIS, J.; LEWEN, G.; NEWMAN, A. W. Physical characterization of pharmaceutical solids. **Pharmaceutical Research**, v. 8, n. 8, p. 963-973, 1991.

BROCK, T. D.; MADIGAN, M. T.; MARTINGO, J. M.; PARKER, J. **Biology of microorganisms**. 7.ed. New York: Prentice Hall, 1994.

CALIL, R.; AGUIAR, J. **Aditivos nos alimentos**. São Paulo: R. M. Calil, 1999. 140 p.

CARVALHO, E. D. **Avaliação dos impactos da piscicultura em tanques-rede nas represas dos grandes tributários do alto Paraná (Tietê e Paranapanema): o pescado, a ictiofauna agregada e as condições limnológicas**. 2006. 46f. Relatório Científico (FAPESP) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CHÁVEZ, P. C.; CASTILHO, L. R.; DENDOOVEN, L.; ESCAMILLA-SILVA, E. M. Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 15, p. 1730-1736, 2005.

CIE. **Colorimetry**. 2.ed. Viena: Commission Internationale de l'Eclairage Publications, 1986. v. 15, n. 2.

DAVIES, B. H. **Carotenoid**: chemistry and biochemistry of plant pigments. 2.ed. London: Academic Press, 1976. v. 2, p. 38-165.

DEVI, M. U.; PADMAVATHI, V.; RANI, T. S.; REDDY, K. J. Characterization and identification of anoxygenic phototrophic purple non-sulfur bacteria isolated from industrial waste waters. **International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 56-59, 2008.

D'ORBCASTEL, E. R.; BLANCHETON, J. P.; BELAUD, A. Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: comparison with a flow through system. **Aquacultural Engineering**, v. 40, n. 3, p. 135-143, 2009.

EUROTHERM. **O processo de congelamento a seco**. 2008. Disponível em: <http://www.eurothermltda.com.br/lifesciences/aplicacoes_secfrio.htm> Acesso em: 22 out. 2010.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Atheneu, 1998. 664 p.

FAO. **Aquaculture**: not just an export industry. Disponível em: <<http://www.fao.org/english/newsroom/focus/2003/aquaculture.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2010.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**, 2008. Roma: FAO, 2009. 196 p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanque-rede no médio Paranapanema, Estado de São Paulo, safra 2004/05. **Informações Econômicas**, SP, v. 36, n. 3, p. 63-69, 2006.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, UERJ, Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <http://www.ufmt.br/esa/Modulo_II_Efluentes_Industriais/Apost_EI_2004_1ABES_Mato_Grosso_UFMT2.pdf>. Acesso em: 4 maio 2009.

GOUVEIA, L.; VELOSO, V.; REIS, A.; FERNANDES, H.; NOVAIS, J.; EMPIS, J. *Chlorella vulgaris* used to colour egg yolk. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v. 70, n. 2, p.167-172, 1996.

GRAPHIC QUALITY CONSULTANCY. **Colour Management from image to print**. 2009. [Citado em 2009 ago. 20] Disponível em: <http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.html>. Acesso em: 11 dez. 2010.

GURPILHARES, D. B.; HASMANN F. A.; PESSOA JUNIOR, A. Microbiologia industrial: micro-organismos como unidade de produção. **Microbiologia in foco**, v. 2, p. 33-43, 2008.

HUNTERLAB. **Principios básicos de medida y percepción de color**. Disponível em: <<http://www.hunterlab.com/pdf/color-s.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo: O Instituto, 1985. v. 1, 533 p.

KANTACHOTE, D.; TORPEE, S.; UMSAKUL, K. The potencial use of anoxygenic phototrophic bacteria for treating latex rubber sheet wastewater. **Eletronic Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 3, 2005. Disponível em: <<http://www.ejbiotechnology.info/content/vol8/issue3/full/8/>>. Acesso em: 4 maio 2010.

KATSUYAMA, M.; MATSUNO, T. Carotenoid and vitamin A, and metabolism of carotenoids, α -carotene, canthaxanthin, astaxanthin, zeaxanthin, lutein and tunaxanthin, lutein and tunazanthin in tilapia *Tilapia nilotica*. **Compendium of Biochemistry and Physiology**, v. 90B, n. 1, p. 131-139, 1988.

KIM, M. K.; CHOI, K.; YIN, C.; LEE, K.; IM, W.; LIM, J. H.; LEE, S. Odorous swine wastewater treatment by purple non-sulfur bacteria, *Rhodopseudomonas palustris*, isolated from eutrophicated ponds. **Biotechnology Letters**, v. 26, n. 10, p. 819–822, 2004.

KUBITZA, F. A produção de pescado no mundo e a aquicultura. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 17, n. 100, 17 p., 2007.

KUBITZA, F. **Tilápia**: tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí: Acqua & Imagem, 2000. 289 p.

LABMAQ DO BRASIL LTDA. **Manual de operações do spray dryer MSD 5.0**. Departamento de Engenharia, 2010. 65 p.

LATSCHA, T. **Carotenoids**: Their nature and significance in animal feeds. F. Hoffmann-La Roche Ltd., 1990. 110p.

LEM, A.; KARUNASAGAR, I. Trade and Safety in aquaculture products. **FAO Aquaculture Newsletter**, n. 38, p. 13-16, 2007.

LIAAEN-JENSEN, S.; JENSEN, A. Quantitative determination of carotenoids in photosynthetic tissues: total carotenoid content. In: PIETO, A. S. **Methods in enzymology**: photosynthesis and nitrogen part A. New York: Elsevier, 1971. v. 23, cap. 56, p. 586-602.

LIMA, L. K. F. **Crescimento de *Rubrivivax gelatinosus* em efluente industrial de abate e processamento de tilápias**. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2009.

LIU, S. X. **Food and agricultural wastewater utilization and treatment**. 1.ed. Ames: Blackwell, 2007.

LU, H.; ZHANG, G.; DAI, X.; HE, C. Photosynthetic bacteria treatment of synthetic soybean wastewater: direct degradation of macromolecules. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 19, p. 7672–7674, 2010.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Brock biology of microorganisms**. 11.ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2006. 992 p.

MAILLARD, L. C. Action des acides aminés sur les sucres formation des mélanoidines par voie méthodique. **Council of Royal Academy Science Series**, v. 154, p. 66–68, 1912.

MARCONATO, M. S.; SANTINI, G. A. **Alternativas para a geração de energia renovável no Brasil: a opção pela biomassa**. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org.br/.../energias-alternativas...opcao-pela.../Energia-renovavel-no-Brasil.-A-opcao-pela-Biomassa.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2010.

MOTTA, J. H. S.; VIDAL J. M. V.; MATTOS, D. C. Desenvolvimento de tecnologias para transporte de peixes visando exportação. 2009. In: CONGRESSO FLUMINENSE DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. 2009. **Resumos...**Campos dos Goitacazes: UENF, 2009.

MUÑOZ, R.; GUIEYSSE, B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. **Water Research**, v. 40, n. 15, p. 2799–2815, 2006.

NASSERI, A. T.; RASOUL-AMINI, S.; MOROWVAT, M. H.; GHASEMI, Y. Single cell protein: production an process. **American Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 103-116, 2011.

NOPARATNARAPORN, N.; NAGAI, S. Selection of *Rhodobacter sphaeroides* P47 as a useful source of single cell protein. **The Journal of General and Applied Microbiology**, v. 32, n. 4, p. 351-359, 1986.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de pesca**. São Paulo: Varela, 1999. p 75-85.

PARK, K. J. B.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M.; PARK, K. J. Seleção de secadores: fluxograma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p. 179-202, 2007.

PASSOS, R.; MORIEL, D. G.; LAGREZE, F.; GOUVEIA, L.; MARASCHIN, M.; BEIRÃO, L. H. Fontes naturais de carotenóides de interesse para a aquicultura: análise comparativa da eficiência de métodos de extração. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 2, n. 1, p. 103-113, 2007.

PEREDA, J. A. O; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S.

Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos. Porto alegre: Artmed, 2005. v. 1, 294p.

PEREIRA JUNIOR, N.; BON, E. P. S.; FERRARA, F. M. **Tecnologia de bioprocessos**. Rio de Janeiro: Escola de Química/UFRJ, 2008. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/vestibular/nukleo/pdfs/series-em-biotecnologia-vol-i-tecnologia-de-bioprocessos.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

PFENNIG, N. *Rhodopseudomonas globiformis*, sp. n., a new species of the *Rhodospirillaceae*. **Archives of Microbiology**, v. 100, n. 1, p. 197-206, 1974.

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, v. 226, n. 1-4, p. 35–44, 2003.

POLONIO, L. B.; PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GARCIA-NETO, M. Utilisation of bacterial (*Rubrivivax gelatinosus*) biomass for egg yolk pigmentation. **Animal Production Science**, v. 50, p. 1-5, 2010.

PONSANO, E. H. G. **Avaliação da capacidade pigmentante de biomassa de *Rhodocyclus gelatinosus* em frangos de corte**. 2000. 93f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, Araraquara, 2000.

PONSANO, E. H. G.; LACAVA, P. M.; PINTO, M. F. Chemical composition of *Rhodocyclus gelatinosus* biomass produced in poultry slaughterhouse wastewater. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 143-147, 2003a.

PONSANO, E. H. G.; LACAVA, P. M.; PINTO, M. F. Isolation of *Rhodocyclus*

gelatinosus from poultry slaughterhouse wastewater. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 4, p. 445 – 449. 2002a.

PONSANO, E. H. G.; PAULINO, C. Z.; PINTO, M. F. Phototrophic growth of *Rubrivivax gelatinosus* in poultry slaughterhouse wastewater. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 9, p. 3836-3842, 2008.

PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GARCIA-NETO, M. Biomassa de *Rhodocyclus gelatinosus* para a promoção da pigmentação de gemas de ovos. **Revista Higiene Alimentar**, v. 17, n. 104/105 (encarte), p. 155-156, 2003b.

PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GARCIA-NETO, M.; LACAVA, P. M. Evaluation of *Rhodocyclus gelatinosus* biomass for broiler pigmentation. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 11, n. 1, p. 77–82, 2002b.

PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GARCIA-NETO, M.; LACAVA, P. M. Performance and color of broilers fed diets containing *Rhodocyclus gelatinosus* biomass. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 6, n. 4, p. 237–242, 2004a.

PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GARCIA-NETO, M.; LACAVA, P. M. *Rhodocyclus gelatinosus* biomass for egg yolk pigmentation. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 13, n. 3, p. 421-425, 2004b.

PRASERTSAN, P.; CHOORIT, W.; SUWANNO, S. Isolation, identification and growth condition of photosynthetic bacteria found in seafood processing wastewater. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 9, n. 5, p. 590-593, 1993.

PRASERTSAN, P.; JATURAPORNIPIPAT, M.; SIRIPATANA, C. Utilization and treatment of tune condensate by photosynthetic bacteria. **Pure and Applied Chemistry**, v. 69, n.11, p. 2439-2445, 1997.

REGINATO, E.; TEIXEIRA, M. L. Avaliação do potencial biotecnológico de bactérias do gênero *Bacillus* na degradação de resíduos de pele suína na indústria alimentícia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 81-86, 2009.

RIBEIRO, S. C. A.; RIBEIRO, C. F. A.; PARK, K. J.; ARAUJO, E. A. F.; TOBINAGA, S. Alteração da cor da carne de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratada osmoticamente e seca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p.125-135, 2007.

RODRIGUES, H. G.; DINIZ, Y. S.; FAINE, L. A.; ALMEIDA, J. A.; FERNANDES, A. A. H.; NOVELLI, E. L. B. Suplementação nutricional com antioxidantes naturais: efeito da rutina na concentração de colesterol-HDL. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 3, p. 315-320, 2003.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações. In: JORNADA CIENTÍFICA DA FAZU/FACULDADES ASSOCIADAS DE UBERABA, 5., 2006, Uberaba, **Anais...** Uberaba: FAZU, 2006.

SALES, D. S.; CASEIRO, A.; FIRRETTI, R. **O desenvolvimento recente da aquicultura brasileira**. Anualpec. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2005. p. 252-257.

SANTA RITA, L. P.; IMBUZEIRO, P. E. A.; LIMA, M. O.; NASCIMENTO, T. C. Análise do consumidor organizacional de pescados: um estudo do arranjo produtivo de piscicultura do baixo São Francisco. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 26., Fortaleza, 2006. **Anais...** Fortaleza: ENEGEP, 2006. p. 1-9. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR530358_8504.pdf>.

Acesso em: 11 fev. 2011.

SANTO, E. F. E.; TORRES, A. P. C.; LIMA, L. K. F.; PONSANO, E. H. G. Produção de biomassa pela despoluição de efluente de indústria de alimentos. **Revista Veterinária e Zootecnia**, v. 17, supl. 1, p. 167, 2010.

SASAKI, K.; NOPARATNARAPORN, N.; HAYASHI, M.; NISHIZAWA, Y.; NAGAI, S. Single-Cell protein production by treatment of soybean wastes with *Rhodopseudomonas gelatinosa*. **Journal of Fermentation and Technology**, v. 59, n. 5, p. 471-477, 1981.

SASIKALA, C.; RAMANA, C. V.; CHALAM, A. V.; JAYASRI, K.; RAO, P. R. A survey of purple non-sulfur anoxygenic phototrophic bacteria associated with some industrial effluents. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 33, p. 136-138, 1995.

SCHRYVER, P. D.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, n. 3–4, p. 125–137, 2008.

SCORVO FILHO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C., SOUZA, F. R. A. S. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, supl. espec., p. 112-118, 2010.

SILVA, R. G.; BATISTA, M. A. **Processos industriais e sistemas de tratamento de efluentes na indústria de conserva de pescado**: estudo de caso Coqueiro indústria de pescado. 2003. 65 f. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

STOREBAKKEN, T.; CHOUBERTB, G. Flesh pigmentation of rainbow trout fed astaxanthin or canthaxanthin at different feeding rates in freshwater and saltwater. **Aquaculture**, v. 95, n. 3, p. 289-295, 1991.

SUBASINGHE, R. P.; PHILLIPS, M. J. Aquaculture Certifications: a challenge for the small farmer. **FAO Aquaculture Newsletter (FAN)**, n. 38, p. 34–40, 2005.

SUSSEL, F. R. **Para onde vai a tilápia**. Anualpec. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2007. p. 289 - 290.

TAKAHASHI, N. S.; TSUKAMOTO, R. Y.; TABATA, Y. A.; RIGOLINO, M. G. Truta salmonada. **Panorama da Aquicultura**, v.18, n.105, p.28-33, 2008.

TOLASA, S.; CAKLI, S.; OSTERMEYER, U. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid. **European Food Research and Technology**, v. 22, n. 6, p. 787–791, 2005.

TORRES, A. P. C.; PONSANO, E. H. G. **Potencial de uso de biomassa bacteriana como ingrediente de ração animal**. 2010. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba, 2010.

TORRISSEN, O. J.; CHRISTIANSEN, R. Requirements for carotenoids in fish diets. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 11, n. 3-4, p. 225-230, 1995.

TOYOMIZU, M.; SATO, K.; TARODA, H.; KATO T.; AKYBA, Y. Effects of dietary spirulina on meat colour in muscle of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 42, n. 2, p. 197-202, 2001.

UYSAL, H.; AYDOGAN, M. N.; ALGUR, O. F. Effect of single cell protein as a protein source in *drosophila* culture. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 33, n. 4, p. 314-317, 2002.

VALDUGA, E. **Bioprodução de compostos voláteis e carotenóides por *Sporodibolus salmonicolor* CBS 2636**. 2005. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VALENTE, A. M.; ALEXANDRE, V. M.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. Pré-hidrólise enzimática da gordura de efluente da indústria de pescado objetivando o aumento da produção de metano. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 483-488, 2010.

VIEIRA, S. **Estatística experimental**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1999. 192 p.

ZIMERMANN, S.A. **Tilápia na América Latina: introdução e situação atual**. Disponível em: http://www.was.org/LACWAS/boletins/boletim02/02_reportagem/02port_2.htm >. Acesso em 15 dez 2010.

WENZEL, M.; SEUSS-BAUM, I.; SCHLICH, E. Influence of pasteurization, spray- and freeze-drying, and storage on the carotenoid content in egg yolk. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 3, p. 1726–1731, 2010.

WILLEMS, A.; GILLIS, M.; DE LEY, J. Transfer of *Rhodocyclus gelatinosus* to *Rubrivivax gelatinosus* gen. nov., comb. nov. , and Phylogenetic Relationships with *Leptothrix*, *Sphaerotilus natans*, *Pseudomonas Saccharophila*, and *Alcaligenes latus*. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 41, n. 1, p. 65-73, 1991.