

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA A ALIMENTAÇÃO HUMANA



Sibele Santos Fernandes
Juliana Machado Latorres

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA A ALIMENTAÇÃO HUMANA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE FURG

Reitor

DANILO GIROLDO

Vice-Reitor

RENATO DURO DIAS

Chefe de Gabinete do Reitor

JACIRA CRISTIANE PRADO DA SILVA

Pró-Reitor de Extensão e Cultura

DANIEL PORCIUNCUA PRADO

Pró-Reitor de Planejamento e Administração

DIEGO D'ÁVILA DA ROSA

Pró-Reitor de Infraestrutura

RAFAEL GONZALES ROCHA

Pró-Reitora de Graduação

SIBELE DA ROCHA MARTINS

Pró-Reitora de Assuntos Estudantis

DAIANE TEIXEIRA GAUTÉRIO

Pró-Reitora de Gestão e Desenvolvimento de Pessoas

LÚCIA DE FÁTIMA SOCOOWSKI DE ANELLO

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

EDUARDO RESENDE SECCHI

Pró-Reitora de Inovação e Tecnologia da Informação

DANÚBIA BUENO ESPÍNDOLA

EDITORA DA FURG

Coordenadora

CLEUSA MARIA LUCAS DE OLIVEIRA

COMITÊ EDITORIAL

Presidente

DANIEL PORCIUNCUA PRADO

Titulares

ANDERSON ORESTES CAVALCANTE LOBATO

ANGELICA CONCEIÇÃO DIAS MIRANDA

CARLA AMORIM NEVES GONÇALVES

CLEUSA MARIA LUCAS DE OLIVEIRA

EDUARDO RESENDE SECCHI

ELIANA BADIÁLE FURLONG

LEANDRO BUGONI

LUIZ EDUARDO MAIA NERY

MARCIA CARVALHO RODRIGUES

Editora da FURG

Câmpus Carreiros

CEP 96203 900 – Rio Grande – RS – Brasil

editora@furg.br

Integrante do PIDL

Editora Associada à



SIBELE SANTOS FERNANDES
JULIANA MACHADO LATORRES

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA A ALIMENTAÇÃO HUMANA



Rio Grande
2022

© SIBELE SANTOS FERNANDES e JULIANA MACHADO LATORRES

2022

Capa: Anelise Christ-Ribeiro
Diagramação da capa: Murilo Borges
Formatação e diagramação: João Balansin
Revisão Ortográfica e Linguística: Júlio Marchand

Ficha catalográfica

F363a Fernandes, Sibeles Santos.
Aproveitamento de resíduos para a alimentação humana [Recurso Eletrônico] / Sibeles Santos Fernandes, Juliana Machado Latorres. – Rio Grande, RS : Ed. da FURG, 2022.
122 p. : il.

Modo de acesso: <http://repositório.furg.br>
ISBN 978-65-5754-151-7 (eletrônico)

1. Aproveitamento de alimentos 2. Desperdício de alimentos 3. Gestão de resíduos 4. Indústria de alimentos I. Latorres, Juliana Machado II. Título.

CDU 664

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos –
CRB10/2344

In memoriam
Carlos Prentice

SUMÁRIO

CAPÍTULO I ESTRATÉGIAS DE APROVEITAMENTO DA BORRA DE CAFÉ

1. INTRODUÇÃO	11
2. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS	13
3. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA FERTILIZAÇÃO DO SOLO	17
4. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA PRODUÇÃO DE ENZIMAS	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
6. REFERÊNCIAS	22

CAPÍTULO II FARELO DE ARROZ E SEU POTENCIAL NA ALIMENTAÇÃO HUMANA

1. INTRODUÇÃO	26
2. CARACTERÍSTICAS DO FARELO DE ARROZ ..	28
3. FERMENTAÇÃO DO FARELO DE ARROZ	30
4. BIODISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES DO FARELO DE ARROZ FERMENTADO	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6. REFERÊNCIAS	36

CAPÍTULO III
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS
PELA INDÚSTRIA DE FRUTAS

1. INTRODUÇÃO	41
2. PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE FRUTAS	43
3. GESTÃO DE RESÍDUOS DE FRUTAS	44
3.1 Farinha	45
3.2 Óleos	48
3.3 Encapsulamento de compostos bioativos	50
3.4 Filmes Comestíveis	51
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5. REFERÊNCIAS	52

CAPÍTULO IV
UTILIZAÇÃO DE COPRODUTOS
DA SEMENTE DA CHIA

1. INTRODUÇÃO	58
2. CARACTERÍSTICAS DA SEMENTE DE CHIA	59
3. RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA CHIA.	61
3.1 Obtenção de óleo de chia	63
3.2 Obtenção de proteínas de chia	65
3.3 Desenvolvimento de produtos alimentícios	67
4. RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DE CHIA	68
5. RESÍDUO DA OBTENÇÃO DA FARINHA DE CHIA	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7. REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO V
SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO
CAMARÃO

1. INTRODUÇÃO	76
2. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAMARÃO ...	78
2.1 Quitina e seus derivados	78
2.2 Proteínas	83
2.3 Carotenoides	87
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
4. REFERÊNCIAS	90

CAPÍTULO VI
APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS
DE PESCADO PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA

1. INTRODUÇÃO	100
2. SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DO PESCADO	102
2.1 Proteínas de pescado	103
2.2 Concentrado e isolado proteico de pescado	104
2.3 Hidrolisado proteico de pescado	106
2.4 Colágeno e gelatina	109
2.5 Óleo de pescado	110
2.6 Quitina e quitosana	112
2.7 Minerais	114
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
4. REFERÊNCIAS	115

PREFÁCIO

A redução ou a eliminação do desperdício de alimentos têm recebido atenção como um meio eficiente para a sustentabilidade, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. Estudos apontam como desafios de sustentabilidade a degradação dos recursos naturais, as mudanças climáticas e ambientais, bem como a previsão de crescimento populacional acelerado nas próximas décadas. Outro problema social diz respeito à segurança alimentar. Estima-se que cerca de 800 milhões de pessoas sofrem de desnutrição crônica. Ao mesmo tempo, estima-se que cerca de um terço dos alimentos produzidos globalmente é perdido ou desperdiçado ao longo da cadeia alimentar.

Por isso, a utilização de subprodutos alimentares, com base em estratégias ambientalmente corretas, é uma tendência mundial e tem sido alvo de pesquisas, dadas as suas características nutricionais e capacidade de suplementação da dieta.

Os resíduos industriais, na sua maioria, são descartados de forma incorreta, prejudicando o ambiente, ou são destinados à ração animal ou à adubação. Entretanto, esses destinos apresentam um baixo custo. A fim de agregar valor e transformar esses resíduos em subprodutos, uma vez que muitos destes possuem quantidades significativas de nutrientes, muitas pesquisas se concentram em estudar a sua composição, bem como a sua aplicação em alimentos para a alimentação humana. Além disso, esses resíduos também podem ser

utilizados para a extração de componentes e compostos bioativos que apresentam propriedades funcionais e fisiológicas.

As fontes de resíduos podem ser de origem vegetal e animal. Diante disso, há uma grande opção de resíduos que podem ser estudados. Na área vegetal, podem-se destacar os resíduos originados do processamento de frutas e de grãos, como café, semente de chia e farelo de arroz. Já na área animal, os resíduos de camarão são os que se destacam pelo volume gerado durante o processamento da espécie.

Este e-book tem como objetivo elucidar alguns resíduos de elevado valor nutricional e econômico obtidos durante o processamento de diferentes fontes alimentares, sejam elas de origem vegetal ou animal. Ao longo da obra, foram apresentados trabalhos científicos de elevado fator de impacto, que apontam as diferentes formas de extração e de aplicação de resíduos de processamento de alimentos. Espera-se que, com essa pesquisa, a realidade brasileira de subutilização de resíduos seja, de alguma forma, modificada através de todas as alternativas elucidadas durante o desenvolvimento deste projeto.

CAPÍTULO I

ESTRATÉGIAS DE APROVEITAMENTO DA BORRA DE CAFÉ

João Batista dos Santos Espinelli Junior
Juliana Martins Dias
Rodolfo Carapelli

1. INTRODUÇÃO

Hábitos modernos de consumo de alimentos estão levando a graves problemas ambientais devido ao descarte descontrolado de resíduos. A indústria do café, por exemplo, libera uma grande variedade e volume de resíduos, da produção do grão verde, torrefação do grão e produção do café solúvel. Além disso, os resíduos da preparação da bebida, ou seja, a borra de café gasto corresponde a cerca de 90% em peso do substrato utilizado na produção da bebida com os grãos de café torrados. Esse material vem sendo gerado regularmente, e, desde então, aumentou sua geração de 8,8 milhões de toneladas em 2014 para 9,3 milhões de toneladas em 2017, o que gera um resíduo sólido do qual metade aproximadamente é descartada em aterros sanitários sem nenhum tratamento prévio. Esse material gerado é classificado como um resíduo orgânico com alta umidade e grande quantidade de matéria orgânica. Essa classe de resíduos configura uma preocupação ecotoxicológica

global devido ao alto teor de matéria orgânica na sua composição (CRUZ et al., 2015; KOVALCIK, OBRUCA, MAROVA, 2018; HANC et al., 2021).

Os pós de café torrados contêm polissacarídeos, oligossacarídeos, lipídeos, ácidos alifáticos, aminoácidos, proteínas, alcaloides, compostos fenólicos, minerais, lignina, melanoidinas e compostos voláteis. A borra do café, com a composição rica em diferentes compostos orgânicos, acaba por se tornar um resíduo abundante na indústria do café e com grande valor, possibilitando sua aplicação em diferentes ramos da indústria (KAMIL et al. 2019; ARATALE et al. 2020), como:

- Aditivos de combustíveis;
- Adsorventes de carbono;
- Alimentação animal;
- Armazenamento de hidrogênio;
- Combustível sólido de caldeiras;
- Eletrodos para aplicações eletroquímicas;
- Extração de açúcar;
- Extração de celulose;
- Fibras de reforço para materiais compostos;
- Isolante térmico em materiais de construção;
- Nano materiais;
- Obtenção de enzimas;
- Prevenção de doenças de plantas;
- Processamento de alimentos;
- Produção de carbono ativado;
- Produção de fertilizantes, produtos cosméticos;
- Produção de óleos e lipídeos;
- Tratamento de água;

Desde o começo do século XXI, existe um movimento buscando fontes alternativas e sustentáveis de produtos de grande importância como combustíveis e

fertilizantes para reduzir o impacto no meio ambiente da produção e da utilização desses produtos. Assim como também há busca na modificação de processos puramente químicos para processos enzimáticos que permitam uma produção mais efetiva de uma grande gama de compostos necessários à sociedade. Dentre as potenciais matérias-primas para esse fim, resíduos domésticos, da agricultura e da indústria de alimentos, como a borra de café, vem se destacando para setores como energia e agricultura (KAMIL et al. 2019).

2. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

O interesse mundial em biocombustíveis vem crescendo com o passar do tempo, principalmente pela redução da oferta de combustíveis fósseis relacionadas às escassas reservas conhecidas e dificuldade de acesso à possíveis novas reservas (OLIVEIRA, COELHO, 2017). No Brasil, fontes renováveis, por exemplo, madeira, oleaginosas e cana de açúcar já correspondem a uma parte do setor energético brasileiro, em 2011, metade da matriz energética brasileira era originária de fontes renováveis como hidroelétrica, madeira e etanol. Na época, etanol e biodiesel eram os dois principais biocombustíveis, já contabilizando 25% do combustível consumido no território brasileiro (NOGUEIRA e CAPAZ, 2013). A partir de 2015, a adição de etanol anidro à gasolina brasileira obrigatoriamente passou a ser de 27%. Cerca de 90% dos veículos novos vendidos no Brasil são equipados com tecnologia Flex, permitindo o uso de etanol puro ou mistura dos dois (MAÇZYŃSKA et al. 2019).

Segundo Mańczyńska et al. (2019), no Brasil, a principal fonte de biocombustível é o álcool de cana-de-

açúcar, sendo o país o principal produtor do mundo. A cana-de-açúcar é uma importante monocultura brasileira, por isso, apesar das vantagens inerentes à utilização do etanol como combustível, algumas preocupações relacionadas à sua produção podem ser levantadas. Questões sociais, como o impacto na segurança alimentar e condições de trabalho; econômicas, como o impacto da produção de biocombustíveis no preço das commodities agrícolas; e ambientais, em decorrência ao desmatamento, implantação de monoculturas e esgotamento de recursos hídricos (NOGUEIRA e CAPAZ, 2013). Por isso, uma alternativa interessante para a produção de biocombustíveis seria a utilização de resíduos agrícolas e da indústria de alimentos (KUMAR et al. 2022).

Já existem trabalhos que estudam a produção do etanol a partir da fermentação de açúcares obtidos na borra de café pela ação de leveduras. Segundo Nguyen et al. (2017), as duas principais leveduras para esse processo são a *Saccharomyces cerevisiae*, que atua sobre hexoses, e a *Pichia stipitis*, que consome hexoses e pentose. Mussato et al. (2012) compararam a utilização de três cepas de levedura diferentes de levedura, *Pichia stipitis*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Kluyveromyces fragilis*, para produção de etanol a partir de borra de café, que passou pelo processo de hidrólise para quebra de polissacarídeos, formando uma matéria-prima rica em açúcar menores, observando que a aplicação da *Saccharomyces cerevisiae* foi a melhor opção por dispensar procedimentos de desintoxicação, mesmo sendo uma levedura capaz de metabolizar apenas hexoses.

Kwon, Yi e Jeon (2013) avaliaram a possibilidade da produção de etanol e biodiesel de forma sequencial a partir da borra de café. Os autores constataram que a produção de etanol a partir da borra de café, sem a

separação da fração lipídica, levou à inibição da conversão dos açúcares a etanol pelos lipídeos durante o processo fermentativo. Dessa forma, os autores propuseram a extração prévia dos lipídeos para produção de biodiesel, e sequencialmente a produção de etanol a partir dos açúcares da borra do café. Essa produção sequencial possibilita a obtenção de dois biocombustíveis de uma mesma biomassa, com maior aproveitamento dessa biomassa, criando a base de toda uma cadeia de biorefinaria a partir de uma única matéria-prima.

Um desafio na produção de biodiesel em larga escala é a demanda por biomassas que sejam sustentáveis, atendam à demanda e não concorram com o fornecimento de alimentos. Dessa forma, a borra de café se torna uma fonte de óleo atraente para sua produção, considerando que é um resíduo alimentar produzido mundialmente. A concentração de óleo na borra de café pode variar de acordo com a variedade, onde a espécie *coffea arábica* contém entre 12% e 18% de óleo, enquanto a espécie *coffea robusta* contém cerca de 9–14%. Na produção do biodiesel a partir do óleo extraído da borra do café uma problemática é a extração do óleo presente para se conseguir a produção do combustível (ROCHA et al. 2014; GONÇALVES et al. 2019). Hamare et al. (2012) avaliaram a extração dos lipídeos com sete solventes diferentes, iso-propanol, etanol, acetona, tolueno, clorofórmio, hexano e n-pentano com uma proporção de 6 g de borra de café para 25 ml do solvente. O melhor rendimento observado pelos autores foi com hexano durante 30 min (15,3%), acetona no mesmo período apresentou um rendimento um pouco inferior (12,9%), enquanto os demais solventes foram considerados menos eficientes nas mesmas condições. Os autores observaram ainda que o extrato obtido com hexano foi o melhor para a etapa de produção do biodiesel.

A obtenção de biodiesel de biomassa como a borra de café tem se mostrado uma alternativa aos combustíveis fósseis devido ao seu alto ponto de fulgor, eficiência de combustão, boa propriedade lubrificante e baixo teor de enxofre (CHHANDAMA, et al. 2021). Kamil et al. (2019) observaram que o biodiesel obtido do resíduo do café contribui para uma redução de 80% da emissão de carbono comparado a combustíveis convencionais obtidos do petróleo. Além disso, a produção a partir dessa matéria-prima em termos de consumo de energia é 10% mais eficiente do que diesel e gasolina. No mesmo trabalho, os autores também avaliaram o ciclo de vida do biocombustível obtido da borra de café, considerando energia, lucros ambientais, emissões do tubo de escapamento, viabilidade e desempenho do motor, sugerindo que 8.000 ton./ano podem substituir 6.782 ton./ano de diesel fóssil, e ainda evitar que 112.000 ton./ano de resíduos de café entrem em aterros sanitários.

A borra de café também pode ser empregada diretamente como combustível. Jang et al. (2015) fizeram uso da borra após um processo de moagem para construção de células combustíveis. As células, segundo os autores, quando operando a 900 °C conseguiram uma eficiência energética superior à do material convencional. A célula combustível alimentada com borra de café tem a capacidade de produzir 4 vezes mais potência que uma célula combustível alimentada com negro de fumo. Essa eficiência está relacionada com a presença de heteroátomos e hidrogênio, considerados pelos autores como cruciais para melhor eficiência. O trabalho sugere a potencialidade dessa biomassa residual na geração de eletricidade em células de combustível.

3. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA FERTILIZAÇÃO DO SOLO

As condições do solo estão intimamente relacionadas com a sua produtividade, e a fertilização é um conjunto de estratégias que, quando aplicadas, permitem a obtenção das características necessárias para a garantia da capacidade produtiva. O direcionamento dos resíduos alimentares para essa demanda pode ser uma prática vantajosa e os primeiros passos para a aplicação dos resíduos de café nesse setor já foram dados. E demonstram que suas características os tornam potenciais aditivos de compostagem na agricultura, permitindo a correção da fertilidade do solo através, por exemplo, do ajuste de pH, incremento de carbono e enriquecimento das concentrações de micro e macronutrientes (CRUZ et al., 2015; KOVALCIK, OBRUCA, MAROVA, 2018; HARDGROVE; LIVESLEY, 2016; CERVERA-MATA et al., 2021). Kasongo et al. (2010) acompanharam os efeitos da adição de resíduos de café (polpa e casca do fruto) em solo natural de região com clima tropical úmido. Os autores constataram que, em comparação com o solo controle, houve elevação no pH do solo (de 5 para ± 6), o que é importante para incentivar a mineralização da matéria orgânica e a redução dos níveis de alumínio (Al) disponíveis, que promovem toxidez às plantas (fitotoxicidade). Além disso, houve incremento considerável na concentração de soma de cátions básicos (Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Potássio (K^+)), nos níveis de Carbono orgânico ($\text{C}_{\text{orgânico}}$) e, principalmente, Nitrogênio total (N_{total}). Já os níveis de Fósforo disponível ($\text{P}_{\text{disponível}}$) foram sutilmente elevados. A presença dos resíduos de café também aumentou o teor de matéria orgânica do solo e a sua capacidade de retenção de água. Por fim, os autores perceberam maior

disponibilidade de Ferro (Fe^{3+}) e a imobilização do cátion Manganês (Mn^{2+}), que pode expressar fitotoxicidade.

Outro contexto em que os resíduos da produção e consumo de café foram aplicados para fertilização reúne resíduos alimentares diversos, incluindo café, para produção de pellets nutritivos, usados para alimentação de frangos e produção de fertilizantes líquidos, direcionados para sistema de cultivo hidropônico. Essa abordagem se mostrou ambientalmente amigáveis, em comparação com outras estratégias de aproveitamento de rejeitos alimentares como a digestão anaeróbica (SIDDIQUI et al., 2021).

Hardgrove, Livesley (2016) incorporaram borra de café ao solo agrícola em regiões urbanas e identificaram a inibição do crescimento de algumas espécies como: brócolis (*Brassica oleracea*), girassol (*Helianthus annuus*), rabanete (*Raphanus sativus*), alho-poró (*Allium ampeloprasum*) e violeta (*Viola cornuta*). Em contraponto, estudo mais recente demonstrou que o uso desses resíduos de café em concentrações controladas (sub-tóxicas) pode trazer vantagens para o cultivo. Nesse contexto, investigou-se a possibilidade de a borra de café gasta e de melanoidinas (obtidas através da borra de café) servirem como bioquelatos de Zn e Fe. Os resultados demonstram que ambas as abordagens são viáveis para o incremento desses elementos tanto no solo, quanto nas folhas da verdura estudada, a alface romana (*Lactuca sativa*). Comparativamente, o uso de borra de café gasta como quelato de Zn levaram a concentração desse elemento de 0,094 mg/100g para 0,485 mg/100g de folhas de alface e alteraram sua disponibilidade no solo de 1,4 ppm para 49 ppm. Já para o Fe, usando as melanoidinas, obteve-se disponibilidade no solo alterada de 6,9 ppm para 9,3 ppm e um incremento de ± 200 mg de Fe nas folhas de alface (CERVERA-MATA et al., 2021).

Outro trabalho de Cervera-Mata et al. (2019), que avaliou a aplicação da borra obtida do resíduo do café expresso como fertilizante na produção de alface, demonstrou aumento no valor nutricional da planta cultivada. Com incremento na concentração de múltiplos elementos essenciais, como vanádio, ferro, cobalto, manganês e zinco. Os autores também associaram a degradação de compostos presentes na borra do café (polifenóis e carboidratos) com alterações na química do solo, dentre elas, a redução do pH que, nesse caso, pôde aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo agrícola. Em resumo, o aproveitamento dos rejeitos de café na agricultura configura uma boa alternativa, pois destina parte impactante desses passivos ambientais, de forma a auxiliar na recuperação de solos com baixa fertilidade. Além de servirem como bio-fortificantes, enriquecendo os produtos gerados no cultivo com minerais importantes para a saúde humana. Dessa forma, sendo um ponto valioso no combate a cenários de fome oculta, em que pessoas se encontram com déficit nutricional (CERVERA-MATA et al., 2021).

4. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAFÉ NA PRODUÇÃO DE ENZIMAS

A produção enzimática é outra alternativa para a valorização dos excedentes da indústria cafeeira. Essa estratégia está fundamentada na estimulação da biossíntese de enzimas por micro-organismo, através da disponibilização de substrato rico em macromoléculas (carboidratos e proteínas) e metabólitos secundários (compostos fenólicos) (CORRÊA et al., 2021). Para isso, inóculos de fungo são inseridos no substrato a base, por exemplo, da borra de café gasta, aonde irão se desenvolver. A presença dos nutrientes da matriz vegetal serve de

estímulo para biossíntese de enzimas como: amilases, xilanases, celulases, pectinases, esterases, entre outras. Essas enzimas são secretadas e promovem a degradação da matriz vegetal, disponibilizando os nutrientes complexados para o fungo. Esse processo é chamado de fermentação em fase sólida e o substrato pode ser singular, com apenas um tipo de matriz, ou composto, quando há mais de um tipo de matriz (RAVINDRAN, 2019; ORTIZ *et al.*, 2019 e CORRÊA *et al.*, 2021).

Nesses cenários, a concentração de enzimas no substrato se torna elevada, permitindo a sua recuperação, purificação e aplicação (CORRÊA *et al.*, 2021). Na prática, Kurakake e Komaki (2000) alavancaram a produção de β -mananase e β -manosidade a partir da cepa fúngica *Aspergillus awamori* K4 e um substrato misto (40% resíduo de café e 60% farelo de trigo). O que resultou em concentrações de 50 U g⁻¹ ds (β -mananase) e 1,4 U g⁻¹ ds (e β -manosidade). Em outro estudo, foi avaliada a produção de α -amilase pelo fungo *Neurospora crassa* CFR 308 em diferentes resíduos de café. Os autores concluíram que, em condições otimizadas, os melhores substratos foram a polpa de café e a mistura de todos os resíduos estudados (polpa, casca e borra de café gasta), com valores de atividade enzimática máxima de 7084 U g⁻¹ ds (unidade por grama de substrato seco) e 6342 U g⁻¹ ds, respectivamente (MURTHY, NAIDU E SRINIVOS, 2009).

Outra aplicação foi a descrita por Ravindran *et al.* (2019), que otimizaram a produção de xilanases a partir da borra de café gasta utilizando o fungo *Aspergillus niger*. Os autores observaram a máxima atividade enzimática em 6495.6 U g⁻¹ ds. Além disso, após purificação da enzima produzida, ela foi aplicada em suco de framboesa, mirtilo e morango, resultando em melhor degradação da fração hemicelulósica da polpa, aumentando o aproveitamento dos sucos e até atuando como clarificante.

Outras aplicações semelhantes já foram constatadas, sendo necessário atenção para combinação das condições adequadas de umidade, pH, temperatura, número de esporos e tempo de fermentação para o microorganismo e enzima, garantindo uma produção otimizada (CORRÊA et al., 2021). O que favorece a indústria alimentícia, que conta com diversas possibilidades de aplicação dos recursos enzimáticos. Por fim, a estratégia de produção enzimática a partir da fermentação em fase sólida com resíduos da indústria cafeeira é atrativa, pois, além de garantir o aproveitamento de excedentes, apresenta vantagens econômicas, uma vez que o volume de resíduo de café disponível é alto e tende a apresentar custo reduzido, e resultados competitivos (CORRÊA et al., 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de resíduos corrobora com um cenário mundial de agressão ambiental e, no contexto dos resíduos alimentares, a indústria cafeeira e o consumidor acabam por gerar volumes consideráveis desses detritos. Entretanto, são notáveis os esforços para que haja mudança desse cenário, através de tentativas de redução do aporte residual ou através das alternativas para o seu aproveitamento, abordagem foco do presente capítulo. As matrizes residuais do café são bastante versáteis, com uma complexidade de componentes que confere características vantajosas para a aplicação em áreas biotecnológicas, como a bioenergética e a produção enzimática. E ampliar a aplicação dessas estratégias, trazendo uma nova perspectiva ao destino desses resíduos, o que ressignifica o seu papel ambiental, apagando o contexto de rejeitos, reduzindo os impactos ambientais e assumindo a função de insumos tecnológicos.

6. REFERÊNCIAS

- CHENG, C. H., CHEUNG, C. S., CHAN, T. L., LEE, S. C., YAO, C. D., TSANG, K. S. Comparison of emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel with emulsified and fumigated methanol. **Fuel**. V. 87, n. 10-11, 2008.
- CHHANDAMA, M. V. L., SATYAN, K. B., CHANGMAI, B., VANLALVENI, C., ROKHUM, S. L. Microalgae as a feedstock for the production of biodiesel: A review. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, 2021.
- CORRÊA, C. L. O., PENHA, E. M., SILVA, O. F., LUNA, A. S., GOTTSCALK L. M. F. Enzymatic Technology Application on Coffee Co-Products: A review. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, 2021.
- CRUZ, R. MENDES, E., TORRINHA, A., MORAIS, S., PEREIRA, J. A., BAPTISTA, P., CASAL, S. Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach, **Food Research International**, v. 73, 2015.
- GONÇALVEZ, E. C. S., PÉREZ, M. M., VICI, A. C., SALGADO, J. C. S., ALMEIDA, P. Z., INFANTE, J. C. SACERCELLA, A. S. A., LUCAS, R. C., VIEIRA, A. T., FARIA, A. M., BATISTA, A. C. F., POLIZELI, M. L. T. M. Potential biodiesel production from Brazilian plant oils and spent coffee grounds by *Beuaveria bassiana* lipase 1 expressed in *Aspergillus nidulans* A773, using different agroindustry inputs. **Journal of Cleaner Production**, v. 20, 2020.
- HAMAMRE, Z. A., FOERSTER, S., HARTMANN, F., KRÖGER, M., KALTSCHMITT, M. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. **Fuel**, 96, 2012.
- HANC, A., HREBECKOVA, T., GRASSEROVA, A., CAJTHAML, T. Conversion of spent coffee grounds into vermicompost. **Bioresource Technology**, v. 341, 2021.
- HARDGROVE, S. J., LIVESLEY, S. J. Applying spent coffee

grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 18, 2016.

JANG, H., OCON, J. D., LEE, S., LEE, J. K., LEE, J. Direct power generation from waste coffee grounds in a biomass fuel cell. **Journal of Power Sources**, v. 26, 2015.

KAMIL, M., RAMADAN, K. M., OLABI, A. G., SHANABLEH, A., GHENAI, C., NAQBI, A. K. A., AWAD, O. I., MA, X. Comprehensive evaluation of the life cycle of liquid and solid fuels derived from recycled coffee waste. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 150, 2019.

KASONG, R. K., KANYANKAGOTE, V. P., BAERT, G., RANST, E. V. Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils humid tropical environments, **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, 2010.

KOSTIN, A., MACOWSKI, D. H., PIETROBELLI, J. M. T. A, GOSÁLBEZ, G. G., JIMÉNEZ, L., RAVAGNANI, M. A. S. S. **Computers & Chemical Engineering**, v. 115, 2018.

KOVALCIK, A., OBRUCA, S., MAROVA, I. Valorization of spent coffee grounds: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 110, 2018.

KUMAR, S. D., YASASVE, M., KARTHIGADEVI, G., AASHABHARATHI, M., SUBBAIYA, R., KERMEGAM, N., GOVARTHAN, M. Efficiency of microbial fuel cells in the treatment and energy recovery from food wastes: Trends and application – A review. **Chemosphere**, v. 287, 2022.

KURAKAKE, M., KOMAKI, T. Production of beta-mannanase and beta-mannosidase from *Aspergillus awamori* K4 and their properties, **Current Microbiology**, v. 42, n. 6, 2001.

KWON, E. E., YI, H., JEON, Y. J. Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, v. 136, 2013.

LEE, X. J., ONG, H. C., GAO, W., OK, Y. S., CHEN, W. H., GOH, B. H. H., CHONG, C. T. Solid biofuel production from spent coffee ground wastes: Process optimization, characterisation and kinetic studies. **Fuel**, v. 292, 2021.

MAÇZYŃSKA, J., KRZYWONOS, M., KUPCZYK, A., TUCKI, K., SIKORA, M., PIŃKOWSKA, H., BAÇZYK, A., WIELEWSKAD, I. Production and use of biofuels for transport in Poland and Brazil – The case of bioethanol. **Fuel**, v. 241, 2019.

MATA, A. C., ALARCÓN, M. N., DELGADO, G., PASTORIZA, S., M. GÓMEZ, J. M., LLOPIS, J., GONZÁLEZ, C. S., HENARES, J. A. R. Spent coffee improve the nutritional value in elements of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and are an ecological alternative to inorganic fertilizers. **Food Chemistry**, v. 282, 2019.

MATA, A. C., ARTEAGA, A. F., ALÁRCÓN, M. N., HINOJOSA, D., PASTORIZA, S., DELGADO, G., HENARES, J. A. R., Spent coffee grounds as a source of smart biochelates to increase Fe and Zn levels in lettuces. **Journal of Cleaner Production**, v. 382, 2015.

MURTHY, Pushpa S.; NAIDU, M. Madhava; SRINIVAS, Pullabhatla. Production of α -amilase under solid-state fermentation utilizing coffee waste. **Society of Chemical Industry**. v. 84, 2009.

MUSSATTO, S. I., MACHADO, E. M. S., CARNEIRO, L. M., TEIXEIRA, J. A. Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry waste hydrolysates. **Applied Energy**, v. 92, 2012.

NGUYEN, Q. A., CHO, E., TRINH, L. T. P., JEONG, J., BAE, H. J. Development of an integrated process to produce D-mannose and bioethanol from coffee residue waste. **Bioresource Technology**, v. 24, 2017.

NOGUEIRA, L. A. H., CAPAZ, R. S. Biofuels in Brazil: Evolution, achievements and perspectives on food security. **Global Food Security**, v. 2, n. 2, 2013.

OLIVEIRA, F. C., COELHO, S. T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, 2-17.

ORTIZ, G.E., GUITART, M.E., CAVALITTO, S.F., ALBERTÓ,

E.O., FERNÁNDEZ-LAHOPE, BLASCO, M. Characterization, optimization, and scale-up of cellulases production by *trichoderma reesei* cbs 836.91 in solid-state fermentation using agro-industrial products. **Bioprocess Biosyst Eng**, v. 38(11), 2117–2128.

PAAR, J. F., HORNICK, S. B. Agricultural use of organic amendments: A historical perspective. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 4. 1992.

RAVINDRAN, R., WILLIAMS, G. A., JAISWAL, A. K. Spent Coffee Water as a Potential Media Component for Xylanase Production and Potential Application in Juice Enrichment. **Food**, v. 8, n. 11, 2019.

ROCHA, M. V. P., MATOS, L. J. B. L., LIMA, L. P., FIGUEIREDO, P. M. S., LUCENA, I. L., FERNANDES, F. A. N., GONÇALVES, L. R. B. Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, v. 167, 2014.

SARATALE, G. D. BHOSALE, R., SHOBANA. S., BANU, J. R., PUGAZHENDHI, A., MAHMOUND, E., SIROHI, R., BHATIA, S. K., ATABANI, A. E., MULONE, V., YOON, J. J., SHIN, H. S., KUMAR, G. A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. **Bioresource Technology**, v. 314, 2020.

SIDDIQUI, Z.; HAGARE, D.; JAYASENA, V.; SWICK, R.; RAHMAN, M.M.; BOYLE, N.; GHODRAT, M. Recycling of food waste to produce chicken feed and liquid fertiliser. **Waste Management**, v. 131, 2021.

YAN, J.; LIN, T. Biofuels in Asia. *Applied Energy*, v. 86, 2009.

ZHU, Z., Narukawa, T., NUMATA, M., KITAMAKI, Y., MATSUO, M., HIOKI, A., KATO, K., CHIBA, K. Characterization of a certified reference material (NMIJ CRM 8301-a) for determination of Cu in bio-ethanol. **Fuel**, v. 103, 2013.

CAPÍTULO II

FARELO DE ARROZ E SEU POTENCIAL NA ALIMENTAÇÃO HUMANA

Anelise Christ-Ribeiro
Janaína Barreto Alves
Marcy Heli Paiva Rodrigues

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo. O cultivo desse cereal é econômico e socialmente importante e constitui a base da alimentação de aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas. Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura indicam produção de mais de 517 milhões de toneladas para o período 2020-2021, ocupando o segundo lugar em área cultivada (kg/ha), atrás apenas do cultivo de trigo (FAO, 2019).

No Brasil, segundo dados do IRGA (2019), a região sul do Rio Grande do Sul (RS) é a segunda maior área plantada na cultura do arroz, equivalente a 105.254 hectares. Segundo a CONAB (2021), aproximadamente 11 mil toneladas de arroz foram colhidas no Brasil na safra 2020. Em nível nacional, esse potencial é mais abrangente, visto que o Brasil é um grande produtor agrícola e, conseqüentemente, há uma geração expressiva de resíduos ou subprodutos, sendo os

principais: casca de arroz, farelo e grãos quebrados (quirera), que podem se tornar um problema ambiental.

O farelo é obtido pelo polimento dos grãos e é formado pelo gérmen e pela camada de aleurona, contendo alto valor nutritivo. Além disso, este coproduto é composto basicamente por proteínas (11,3-14,9%), gordura (15,0-19,7%), fibras (7,0-11,4%), cinzas (6,6-9,9%) e carboidratos (34,0-62,0%), além de vitaminas e minerais (LORENZETT; NEUHAUS; SCHWAB, 2012). Considerando que o farelo representa cerca de 8% a 11% do peso total do grão (POULEV et al., 2018), esse coproduto pode gerar cerca de 1,05 milhão de toneladas de farelo de arroz no país e, no RS, 862 mil toneladas, sendo a região sul do RS responsável por 174 mil toneladas.

O farelo de arroz tem baixo valor comercial e é utilizado na composição de ração animal, extração de óleo, fertilizante orgânico, apresentando uso cada vez mais difundido na alimentação humana. Vários estudos têm sido realizados a fim de avaliar seu potencial para consumo humano (CHOI et al., 2011; CHRIST-RIBEIRO et al., 2017a; 2019; 2020b; 2021). Essas pesquisas que envolvem a utilização do farelo de arroz no consumo humano podem garantir aos consumidores um produto seguro, do ponto de vista nutricional, microbiológico e sensorial, além de auxiliar no planejamento de estratégias de promoção da saúde pública. Alguns suplementos de farelo de arroz foram aplicados com sucesso em vários alimentos sem afetar significativamente as propriedades funcionais e estruturais (CHRIST-RIBEIRO et al., 2021). Porém, com tantas propriedades nutracêuticas (atividade antioxidante, anti-inflamatória, efeito hipolipemiante, entre outros), o farelo de arroz ainda é pouco explorado como alimento medicinal ou suplemento dietético (GUL et al., 2015). Portanto, o objetivo deste capítulo é avaliar o

potencial nutricional e os benefícios que o farelo de arroz pode acarretar à saúde se inserido na dieta humana.

2. CARACTERÍSTICAS DO FARELO DE ARROZ

O arroz é um alimento básico, importante para a saúde humana porque fornece a maior parte das calorias para mais da metade da população mundial. Nos países em desenvolvimento, o arroz fornece cerca de 30% da dieta diária da população. O farelo de arroz é obtido a partir do polimento do grão, sendo composto pelo pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen, o que o torna muito nutritivo pela presença de diversos compostos importantes para a alimentação, como os carotenoides, a vitamina E e o γ -orizanol. A porção do farelo do grão contém uma fonte rica em lipídios, proteínas, fibras solúveis e insolúveis, ferro, vitaminas B e uma gama de agentes bioativos, que podem auxiliar na prevenção, no controle e no tratamento de doenças (IJAZ et al., 2021).

Estudos relatam que os lipídios do farelo de arroz integral estão concentrados entre 19,4% e 25,5% (MASSAROLO et al., 2016). Seu perfil lipídico contém: ácidos graxos como palmítico, oleico e linoleico, que estão associados a níveis reduzidos de colesterol total, lipoproteínas de baixa densidade e triglicerídeos, diminuindo o risco de problemas cardíacos (AKHTER et al., 2016; BORRESEN; RYAN, 2014; MOGHADASIAN; SHAHIDI, 2017).

Os mesmos benefícios são encontrados para o conteúdo mineral (entre 8% e 17%) do farelo de arroz, principalmente: cálcio, fósforo, ferro, zinco e magnésio (SHARIF et al., 2014; STATHOPOULOU et al., 2012). A ingestão adequada desses minerais tem papel fundamental na regulação das vias metabólicas e

fisiológicas, além de manter a homeostase, proteção celular e boa funcionalidade do organismo (BHOSALE; VIJAYALAKSHMI, 2015; CHOI et al., 2011).

Dentre os componentes do farelo de arroz, a proteína tem notável interesse industrial devido a sua alta qualidade nutricional, hipoalergenicidade e contribuição promissora para o desenvolvimento de alimentos (FERREIRA et al., 2019; GUL et al., 2015). O farelo de arroz possui entre 11% e 16% de proteínas e seu perfil de aminoácidos contém: fenilalanina, tirosina, cisteína, metionina, histidina e arginina, que podem auxiliar no crescimento de bebês e na manutenção de indivíduos adultos (FARIA; BASSINELLO; PENTEADO, 2012; GOPALA; RAJAN; BHATNAGAR, 2012). Diante disso, a composição do farelo o torna uma alternativa potencial para aplicação na nutrição humana, visto que esses nutrientes são recomendados pela FAO e são essenciais para compor uma dieta balanceada para as diferentes faixas etárias (DEMIRCI et al., 2017).

De acordo com Borresen e Ryan (2014), o consumo da porção do farelo de arroz integral está sendo investigado em relação aos atributos de saúde relevantes para doenças crônicas e infecciosas, uma vez que mostraram diminuir o risco de diabetes tipo 2, regular metabolismo lipídico, controle da síndrome metabólica e doenças cardiovasculares e atividades anticâncer em potencial. Conforme Alauddin et al. (2019), os componentes do farelo de arroz têm sido amplamente utilizados para aumentar a funcionalidade de alguns alimentos e como componente funcional para melhorar as propriedades dos alimentos contra doenças crônicas, principalmente distúrbio metabólico multifatorial, que se caracteriza por: hipertensão, dislipidemia, glicose deficiência, inflamação e câncer. De acordo com Christ-Ribeiro et al. (2020), cookies foram elaborados com farelo

de arroz fermentado, obtendo formulações que apresentaram maior teor de proteína, compostos fenólicos e atividade antioxidante, e vida útil de 90 dias, além de bons atributos sensoriais e aceitabilidade pelo consumidor.

Apesar dos inúmeros benefícios à saúde e da riqueza de nutrientes, o farelo de arroz não é devidamente explorado na nutrição humana (CHRIST-RIBEIRO et al., 2017a). A aplicação é limitada a nível industrial devido a vários fatores como a rancificação causada por enzimas hidrolíticas e oxidativas (IJAZ et al., 2021), a presença de antinutrientes como fitatos, digestibilidade mediana e disponibilidade de compostos funcionais nem sempre alcançados durante o processo digestivo humano (CHRIST-RIBEIRO et al., 2020b). Várias abordagens para resolver esses problemas estão em andamento para suplementar o farelo de arroz em várias preparações alimentícias, uma das quais é a biotecnologia.

3. FERMENTAÇÃO DO FARELO DE ARROZ

A fermentação consiste em um processo biotecnológico usado como alternativa para melhorar a funcionalidade biológica dos compostos, o que pode levar a maiores rendimentos e produtividade, ou para melhorar as características do produto e compostos de interesse, como enzimas, ácidos orgânicos e outros compostos bioativos (RAZAK et al., 2017).

Devido ao seu alto teor de carboidratos, em torno de 40%, torna-se um excelente substrato para a fermentação microbiana, o que leva ao aumento da bioatividade e dos compostos do farelo de arroz. A fermentação em estado sólido é um processo simples e de baixo custo frequentemente utilizado para alterar a composição química de biomateriais, principalmente de

componentes bioativos, como ácidos fenólicos, isoflavonas, agliconas e ácidos graxos. Pode aumentar as atividades antioxidantes e antimicrobianas de vários biomateriais (CHRIST-RIBEIRO et al., 2017a; RITTHIBUT; OH; LIM, 2021, CHRIST-RIBEIRO et al., 2020b).

A fermentação em estado sólido refere-se ao cultivo de microrganismos em matriz sólida, com um teor de água que garante o crescimento e o metabolismo dos microrganismos, mas não excede a capacidade máxima de ligação à água da matriz sólida (CHRIST et al., 2019). Assim, esse tipo de fermentação, utilizando resíduos agroindustriais como substrato, é preferível à fermentação submersa, pois oferece inúmeras vantagens como maior viabilidade econômica, utilização de substratos mais baratos, maior rendimento na geração de bioprodutos e menor consumo de energia (MANSOR et al., 2019).

As lignoceluloses, compostos orgânicos renováveis mais abundantes no mundo, são provenientes de resíduos vegetais produzidos durante as atividades agrícolas. Esse tipo de material lignocelulósico, presente no farelo de arroz, tem grande potencial como substrato para a produção de enzimas degradantes da lignocelulose (TAHERZADEH-GHAHFAROKHI; PANAHI; MOKHTARANI, 2019). Dentre os microrganismos, os fungos filamentosos são os mais utilizados, pois o meio sólido assemelha-se ao meio natural para seu crescimento e suas hifas aéreas ramificadas proporcionam colonização de matrizes sólidas porosas, esses organismos produzem vários grupos de enzimas, para degradar sólidos de materiais e utilizar nutrientes para sobrevivência (ITO et al., 2011). Assim, o uso da biotecnologia traz para o substrato uma gama de novos biocompósitos, que amenizam e/ou resolvem problemas frequentes na aplicação do farelo de arroz, além de

disponibilizarem nutrientes de alto valor para a alimentação.

4. BIODISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES DO FARELO DE ARROZ FERMENTADO

A fermentação em estado sólido foi pesquisada por muitos anos nas indústrias de alimentos (OLUKOMAIYA et al., 2020). Essa tecnologia é muito útil e considerada adequada para aumentar os níveis de nutrientes, compostos bioativos e biodisponibilidade, uma vez que os microrganismos sintetizam naturalmente enzimas que rompem a parede celular, hidrolisando e disponibilizando compostos para a biomassa, agregando valor ao produto e criando oportunidades para seu uso (RANJAN et al., 2019; OLUKOMAIYA et al., 2020). Estudos relatam os efeitos da fermentação, utilizando diversos microrganismos em substratos de farelo de arroz, disponibilizando diferentes nutrientes, antinutrientes e compostos bioativos.

Christ-Ribeiro et al. (2017a) avaliaram a disponibilidade de nutrientes fermentados por *Rhizopus oryzae* usando farelo de arroz integral e desengordurado como substratos. Os autores relatam que houve um aumento significativo de fibras, proteínas, cinzas, lipídios e compostos fenólicos para os dois tipos de farelo. Os minerais que se destacaram com o aumento da biodisponibilidade foram Ca, Mg, P, S, Cu, Mn e Zn para ambos os farelos. Fe, Na e Cr diminuíram com 96h de fermentação.

Shin et al. (2019) submeteram o farelo de arroz preto à fermentação com *Aspergillus awamori* e *Aspergillus oryzae* por 5 dias a 30 °C, aumentaram os níveis de compostos fenólicos e, conseqüentemente, a atividade sequestrante de radicais e a atividade inibitória da tirosinase. O ácido protocatecoico e o ácido ferúlico

apresentaram aumentos significativos, chegando a 1661 µg/g para a biomassa fermentada por *A. awamori*. Estudos de Janary & Gunathilake (2020) examinaram o efeito de *Rhizopus oryzae* nos níveis de bioatividade, bioacessibilidade e biodisponibilidade de compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides e antocianinas de 4 variedades diferentes de farelo de arroz. Os resultados indicaram que a capacidade antioxidante total e o poder redutor férrico e as propriedades anti-inflamatórias de todas as amostras aumentaram com a fermentação, enquanto as propriedades antidiabéticas de todas as amostras diminuíram. Além disso, eles mostraram um aumento na porcentagem bioacessível e biodisponível de fenólicos e flavonoides. Os resultados deste estudo indicam que a fermentação em estado sólido pode ser usada para aumentar o conteúdo bioativo e a bioatividade do farelo de arroz em condições apropriadas.

Os efeitos do tamanho da partícula do farelo de arroz (0,18–0,39 mm) e da concentração de sulfato de amônio na solução nutritiva (2–8 g/L) na produção de biomassa, de proteína e de conteúdo fenólico gerado pela fermentação em estado sólido com o fungo *Rhizopus oryzae* foram estudados por Schmidt & Furlong (2012). O tamanho da partícula teve um efeito positivo na produção de biomassa e um efeito negativo no conteúdo de proteína e fenólico e a concentração de sulfato de amônio teve um efeito positivo no ganho de biomassa e no conteúdo fenólico. Os teores de proteínas e compostos fenólicos foram 53 e 65% maiores devido à maior área de contato entre o fungo e o substrato além da susceptibilidade à compactação e à formação de aglomerados proporcionada pelos menores tamanhos de partícula, resultando na diminuição da transferência de oxigênio, afetando respiração e desenvolvimento do fungo.

Oliveira et al. (2011) avaliaram o conteúdo de

fosfolipídios, lipídios e ácidos graxos em farelo de arroz fermentado por *Rhizopus oryzae* por 120 h. Os lipídios totais diminuíram de 20,4% para 11,2%, enquanto os conteúdos de fosfolipídios aumentaram para 2,4 mg fósforo.g⁻¹ lipídio. No fermentado, prevaleceram os ácidos oleico, palmítico e linoleico, com diminuição dos ácidos graxos saturados (20%) e aumento dos insaturados (5%). Massarolo et al. (2016) avaliaram mudanças na fração lipídica do farelo de arroz após cultivo com *Rhizopus oryzae*. Os lipídios totais aumentaram de 16,2% para 19,0% em 60 h de cultivo e os teores de fosfolipídios aumentaram 29% após 12 h de cultivo. Na amostra controle, prevaleceram os ácidos linolelaídico, oleico e palmítico, com diminuição do ácido oleico (15,5%) e aumento do ácido linolelaídico (11,9%) às 84 h de cultivo. Os ácidos graxos essenciais (ω_6 e ω_3) aumentaram de 44,5% para 50,4%. O fósforo inorgânico aumentou em 12 h de cultivo.

Jia et al. (2019) usaram *Trichoderma viride* para fermentar farelo de arroz desengordurado e para avaliar a fibra alimentar solúvel. O rendimento da fibra foi aumentado em 23%. As análises mostraram que as fibras apresentam características típicas de polissacarídeos, principalmente substâncias de estrutura amorfa. Além disso, apresentou estrutura mais frouxa, aumento do peso molecular e composição monossacarídica mais complexa. A análise das propriedades funcionais da fibra mostrou maior capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo, solubilidade em água e capacidade de absorção de colesterol.

Ranjan et al. (2019) estudaram o efeito da fermentação em farelo de arroz desengordurado com *Rhizopus oryzae* na digestibilidade *in vitro* de proteínas, fatores antinutricionais e perfil de ácidos graxos. A fermentação aumentou o teor de ácidos graxos saturados

em 46,8%, enquanto os níveis de mono e poli-insaturados diminuíram em 14 e 8,7%, respectivamente. O conteúdo de ácidos graxos n-6 (ômega 6) aumentou 6,2%, enquanto o conteúdo de ácidos graxos n-3 (ômega 3) diminuiu 5%. A fermentação resultou em uma redução significativa na atividade do inibidor de fitato e tripsina. No mesmo estudo, eles observaram uma redução de 16,5% na digestibilidade da proteína do farelo fermentado desengordurado por *R. oryzae*. Os autores afirmam que a fermentação pode melhorar a digestibilidade da proteína, reduzindo os níveis de compostos não nutritivos que inibem enzimas digestivas (por exemplo, inibidores de tripsina e quimotripsina) e promovem a reticulação de proteínas (por exemplo, compostos fenólicos e taninos), bem como através da produção de proteases, que degradam parcialmente e liberam algumas proteínas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O farelo de arroz é rico em nutrientes e pode ser uma alternativa inovadora que auxilia nas soluções de problemas sociais, como a segurança alimentar. A aplicação da fermentação em estado sólido contribui para a qualidade nutricional e funcional do farelo de arroz, aumentando a biodisponibilidade de nutrientes e compostos bioativos na biomassa, trazendo benefícios ao metabolismo humano. Além disso, atenua os fatores antinutricionais ao melhorar as características organolépticas e a digestibilidade desse coproduto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHTER, M.; ZULQARNAIN, H.; HAFIZ, S.M.; SAMTA, Z.; MUHAMMAD, S. Free Fatty Acid Profiling of Rice Bran oils for Improving Shelf Life through Parboiling and Different Treatments. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 06, n. 01, 2016.

ALAUDDIN, M.; RAHMAN, S.; ISLAM, J.; SHIRAKAWA, H.; KOMAI, M.; HOWLADER, M. Z. H. Development of Rice Bran Functional Food and Evaluation of Its Healthful Properties. **Rice Bran and Rice Bran Oil**, p. 183–206, 2019.

BHOSALE, S.; VIJAYALAKSHMI, D. Processing and Nutritional Composition of Rice Bran. **Current Research in Nutrition and Food Science Journal**, v. 3, n. 1, p. 74–80, 30 abr. 2015.

BORRESEN, E. C.; RYAN, E. P. Rice Bran. In: **Wheat and Rice in Disease Prevention and Health**. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 301–310.

CHOI, Y.-S.; CHOI, J-H.; HAN, D-J.; KIM, H-Y.; LEE, M-A.; KIM, H-W.; JEONG, J-Y.; KIM, C-J. Effects of rice bran fiber on heat-induced gel prepared with pork salt-soluble meat proteins in model system. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 59–66, maio 2011.

CHRIST-RIBEIRO, A.; GRAÇA, C. DA S.; CHIATTONI, L. M.; MASSAROLO, K. C.; DUARTE, F. A.; MELLADO, M. DE LAS S.; SOARES, L. A. DE S. Fermentation process in the availability of nutrients in rice bran. **RR: J Microbiol Biotechnol**, v.6, n.2, p.45-52, 2017a.

CHRIST-RIBEIRO, A.; GRAÇA, C. S.; KUPSKI, L.; BADIALE-FURLONG, E.; DE SOUZA-SOARES, L. A. Cytotoxicity, antifungal and anti mycotoxins effects of phenolic compounds from fermented rice bran and *Spirulina* sp. **Process Biochemistry**, 80, 190–196. 2019.

CHRIST-RIBEIRO, A.; ALVES, J. B.; SOUZA-SOARES, L. A. DE; BADIALE-FURLONG, E. Fermented rice bran: an

alternative ingredient in baking. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e45491110225, 2020b.

CHRIST-RIBEIRO, A.; CHIATTONI, L. M.; MAFALDO, C. R. F.; SOUZA-SOARES, L.A. Fermented rice-bran by *Saccharomyces cerevisiae*: Nutritious ingredient in the formulation of gluten-free cookies. **Food Bioscience**, 40, 100859, 2021.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento.

Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.7, SAFRA 2020/21- n.12 – Décimo segundo levantamento, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.

DEMIRCI, T.; AKTAŞ, K.; SÖZERI, D.; ÖZTÜRK, H. İ.; AKIN, N. Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 36, p. 396–403, set. 2017.

FARIA, S. A. DOS S. C.; BASSINELLO, P. Z.; PENTEADO, M. DE V. C. Nutritional composition of rice bran submitted to different stabilization procedures. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 48, n. 4, p. 651–657, dez. 2012.

FERREIRA, S.C.; FERNANDEZ, A.M.; BILBAO, M.D.C; FERNANDEZ, A.M. New functional ingredients from agroindustrial by-products for the development of healthy foods. In: **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 351–359.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Market monitor**. Agricultural Market Information System (AMIS), Rome, 2020.

GOPALA, G. K. A.; RAJAN, R.; BHATNAGAR, A. S. **Rice Bran: Chemistry, Production and Applications - A Review**. n. March 2016, 2012.

GUL, K.; YOUSUF B.; SINGH, A.K.; PREETI SINGH, WANI, A. A. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food-A review. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**. v. 6, n. 1, 24-30, 2015.

IJAZ, U.; NADEEM, H. U.; SHAFIQUE, A.; RASHEED, R.; BATOOL, R.; AZEEM, F. Chapter 1 - Rice bran composition and its emerging potential applications. **Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science Plant-Derived Green Solvents: Properties and Applications**, p. 1-16, 2021.

ITO, K.; KAWASE, T.; SAMMOTO, H.; GOMI, K.; KARIYAMA, M.; MIYAKE, T. Uniform culture in solid-state fermentation with fungi and its efficient enzyme production. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 111, n. 3, p. 300-305, 2011.

IRGA – Instituto Rio Grandense de Arroz. **Evolução da Semeadura - Safra 2019/20**. Disponível em: <https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201910/31153234-evolucao-semeadura-nates-19-20.pdf>.

JANARNY, G.; GUNATHILAKE, K. D. P. P. Changes in rice bran bioactives, their bioactivity, bioaccessibility and bioavailability with solid-state fermentation by *Rhizopus oryzae*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 101510, 2020.

JIA, M.; CHEN, J.; LIU, X.; XIE, M.; NIE, S.; CHEN, Y.; ... YU, Q. Structural characteristics and functional properties of soluble dietary fiber from defatted rice bran obtained through *Trichoderma viride* fermentation. **Food Hydrocolloids**, 2019.

LEI, S.; YUAN, L. Rice Bran Usage in Diarrhea. In: **Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases**. [s.l.] Elsevier, p. 257–263, 2019.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, v. 08, n. 01, p. 219-232, 2012.

MANSOR, A.; RAMLI, M. S.; ABDUL RASHID, N. Y.; SAMAD, N.; LANI, M. N.; SYARIFUDDIN, S. A.; SIVA MANIKAM, R. V. Evaluation of selected of agri-industrial residues as potential substrates for enhanced tannase production via solid-state fermentation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 101216, 2019.

MASSAROLO, K. C.; DE SOUZA, T. D.; RIBEIRO, A. C.; FURLONG, E. B.; DE SOUZA SOARES, L. A. Influence of cultivation *Rhizopus oryzae* on rice bran on lipid fraction: Fatty acids and phospholipids. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 8, 204–208, 2016.

MOGHADASIAN, M. H.; SHAHIDI, F. **Fatty Acids**. In: International Encyclopedia of Public Health. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 114–122.

OLIVEIRA, M. DOS S.; FEDDERN, V.; KUPSKI, L.; CIPOLATTI, E. P.; BADIALE-FURLONG, E.; DE SOUZA-SOARES, L. A. Changes in lipid, fatty acids and phospholipids composition of whole rice bran after solid-state fungal fermentation. **Bioresource Technology**, 102(17), 8335–8338, 2011.

OLUKOMAIYA, O. O.; FERNANDO, W. C.; MEREDDY, R.; LI, X.; SULTANBAWA, Y. (2020). Solid-state fermentation of canola meal with *Aspergillus sojae*, *Aspergillus ficuum* and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties. **LWT**, 109362, 2020.

POULEV, A.; CHEN, M. H.; CHERRAVURU, S.; RASKIN, I.; BELANGER, F. C. Variation in levels of the flavone triclin in bran from rice genotypes varying in pericarp color. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 226-232, 2018.

RANJAN, A.; SAHU, N. P.; DEO, A. D.; KUMAR, S. Solid state fermentation of de-oiled rice bran: Effect on in vitro protein digestibility, fatty acid profile and anti-nutritional factors. **Food Research International**, 119, 1–5, 2019.

RAZAK, D.L.A.; RASHID, N.Y.A.; JAMALUDDIN, A.; SHARIFUDIN, S.A.; KAHAR, A.A.; LONG, K. Cosmeceutical potentials and bioactive compounds of rice bran fermented with single and mix culture of *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oryzae*. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.16, n.2, p.127-134, 2017.

RITTHIBUT, N.; OH, S.-J.; LIM, S.-T. Enhancement of bioactivity of rice bran by solid-state fermentation with *Aspergillus strains*. **LWT**, 135, 110273, 2021.

SCHMIDT, C. G.; FURLONG, E. B. Effect of particle size and ammonium sulfate concentration on rice bran fermentation with the fungus *Rhizopus oryzae*. **Bioresource Technology**, 123, 36-41, 2012.

SHARIF, M. K.; BUTT, M.S.; ANJUM, F.M.; KHAN, S.H. Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 807–816, 17 jan. 2014.

SHIN, H.-Y.; KIM, S.-M.; LEE, J. H.; LIM, S.-T. Solid-state fermentation of black rice bran with *Aspergillus awamori* and *Aspergillus oryzae*: Effects on phenolic acid composition and antioxidant activity of bran extracts. **Food Chemistry**, 272, 235–241, 2019.

STATHOPOULOU, M. G.; KANONI, S.; PAPANIKOLAOU, G.; ANTONOPOULOU, S.; NOMIKOS, T.; DEDOUSSIS, G. **Mineral Intake**. In: [s.l: s.n.]. p. 201–236, 2012.

TAHERZADEH-GHAHFAROKHI, M.; PANAHI, R.; MOKHTARANI, B. Optimizing the combination of conventional carbonaceous additives of culture media to produce lignocellulose-degrading enzymes by *Trichoderma reesei* in solid state fermentation of agricultural residues. **Renewable Energy**, 131, 946–955, 2019.

CAPÍTULO III

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE FRUTAS

Marcy Heli Paiva Rodrigues

1. INTRODUÇÃO

As frutas apresentam uma quantidade significativa de compostos bioativos que oferecem benefícios à saúde e seu consumo regular está associado à redução de riscos a doenças (ALI et al., 2021). A disponibilidade de frutas e o crescimento econômico têm levado a um aumento no consumo de frutas e, conseqüentemente, ao aumento da produção de resíduos (MILLER et al., 2016). A indústria de sucos é a principal geradora de resíduos orgânicos, pois normalmente utiliza apenas a polpa das frutas, seus resíduos são gerados em todo o processo desde a escolha da matéria-prima, na qual são selecionados os frutos compatíveis com o processo e nas fases de descascamento, corte e despulpamento (GANESH; SRIDHAR; VISHALI, 2022).

Embora os resíduos gerados pela indústria de frutas tenham muitas aplicações, a maioria é descartado, causando sérios problemas ao ecossistema, por esse motivo, nos últimos anos, pesquisas voltadas ao aproveitamento desses resíduos têm ganhado destaque, tendo em vista que não somente as frutas, mas seus

resíduos são boas fontes de compostos ativos, como polifenóis incluindo antocianinas, fitoesteróis, ácidos orgânicos, cumarinas, terpenoides e carotenoides (MARCILLO-PARRA et al., 2021).

Cascas de frutas e sementes são os principais resíduos do processamento de frutos e foram amplamente identificadas e caracterizadas como potenciais ingredientes alimentares e fontes de fibras (MELO et al., 2021). Frutas como maracujá, laranja, acerola e manga apresentam alta atividade antioxidante (DE ALBUQUERQUE et al., 2019). Alguns desses frutos também exibem potencial atividade antimicrobiana (SILVA et al., 2014). Além disso, podem ser utilizados como substrato para produzir biomassa fúngica (ESSIEN; AKPAN; ESSIEN, 2005), como adsorvente de metais pesados (ANNADURAI; JUANG; LEE, 2018), na síntese de nanopartículas (ALI et al., 2021) e na elaboração de alimentos como biscoitos, bolo e pães (IKEDA et al., 2021).

Segundo Ganesh; Sridhar; Vishali (2022), a quantidade excessiva de resíduos gerados é reflexo da falta de conhecimento da matéria-prima num todo e ressalta a importância de analisar as características tecnológicas, nutricionais e sensoriais do produto. Portanto, uma forma de aumentar o valor das cascas e sementes de frutas é usá-los como fonte alternativa para a produção de alimentos ou insumos alimentares com aplicações tecnológicas, essa possibilidade é relevante, considerando a atual tendência crescente na busca por novas fontes de subprodutos que apresentam essas características. Dessa forma, neste capítulo, tem-se como objetivo explorar o potencial uso de resíduos gerados pela indústria de frutas na alimentação humana.

2. PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE FRUTAS

De acordo com dados da FAO (2021), a China é o maior produtor mundial de frutas, concentrando diversos cultivos tais como maçã, citros, melão, pera, uva, tangerina e melancia. A Índia é o segundo maior produtor com destaque para manga, mamão, banana e coco. O Brasil, apesar de ser responsável pela terceira maior produção mundial, detém um pequeno percentual do mercado global de frutas; em 2019, respondeu por apenas 2,4% do valor das exportações mundiais, atrás dos Estados Unidos, Espanha, China, Chile, Tailândia, México, Itália, Turquia e Equador. Espanha, Guatemala e Honduras são os maiores exportadores mundiais de melão. O México, o Equador e o Peru são os maiores concorrentes do Brasil no mercado global de manga e o Chile, a Itália e os EUA concentram as exportações de uva. As importações mundiais são concentradas pelos países desenvolvidos, a exemplo dos Estados Unidos e dos países da União Europeia. Nos primeiros meses de 2021, as exportações brasileiras de frutas foram, aproximadamente, 20% superiores ao mesmo período de 2020, tanto em termos de volume quanto de valor, com a exportação de 359,6 mil toneladas e faturamento de US\$ 323,7 milhões. As maiores áreas cultivadas com fruticultura, no Brasil, estão no Nordeste, quase 52%, seguido pelo Sudeste onde estão 26% da área plantada no país, destacando-se na produção de citros. Os cultivos de laranja, banana, cacau e caju ocupam as maiores áreas com fruticultura no Brasil, sendo que cacau e caju se concentram no Nordeste. Em termos de valor de produção, destaca-se, no Brasil, a banana, que é cultivada em todo o país e a laranja, que se concentra no Estado de São Paulo.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE, 2021), a produção brasileira de frutas no ano de 2020, foi de 41,6 milhões. Estima-se que o consumo brasileiro de frutas processadas passe dos 23 milhões de toneladas, conforme o IBGE, o processamento de frutas se restringe basicamente na utilização da polpa da fruta e atende aos setores de produção de sucos, néctares e drinques, entretanto, a grande produção de polpa acaba por gerar uma imensa quantidade de resíduos, que são descartados indevidamente no meio ambiente. Estima-se que do total de frutas processadas, entre 30 a 40% são resíduos gerados, dentre estes, a casca, o caroço, as sementes e o bagaço são os principais (GOWE, 2015).

3. GESTÃO DE RESÍDUOS DE FRUTAS

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de buscar tecnologias que sejam de uso convencional ou emergente para o aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria de alimentos, a Tabela 1 apresenta uma diversidade de pesquisas realizadas nos últimos anos voltadas a essa problemática.

Tabela 1 – Reaproveitamento dos resíduos de frutas

Resíduo	Fruta	Aplicação	Referência
Casca e semente	Butiri	Farinha	RESENDE; FRANCA; OLIVEIRA (2019)
Semente	Pequi	Farinha	LEÃO et al. (2017)
Casca e semente	Bacupari	Farinha	MELO et al. (2021)
Semente	Achachairu	Farinha	IKEDA et al. (2021)
Casca e bagaço	Kiwi	Farinha	SOQUETTA et al. (2016)
Semente	Romã	Óleo	ARUNA et al. (2016)

Semente	Limão, laranja e tangerina	Óleo	İNAN; ÖZCAN; ALJUHAIMI (2018)
Casca	Cajá	Encapsulamento	LI et al. (2021)
Casca	Uva	Encapsulamento	LAVELLI; SRI HARSHA; SPIGNO (2016)
Casca e bagaço	Tâmara	Filmes comestíveis	RANGARAJ et al. (2021)

3.1 Farinha

Os resíduos obtidos durante o processamento de frutas podem representar uma boa fonte de nutrientes na alimentação quando incorporados na produção de alimentos como biscoitos, bolos, pães e cereais. Esses coprodutos podem ser processados e secos para produzir vários tipos de farinha, derivados de casca, de sementes e de bagaço, podem ser parcialmente substituídos por outras farinhas comerciais como uma alternativa mais nutritiva (IKEDA et al., 2021).

O bacupari, uma fruta nativa brasileira mais encontrada na região Amazônica e no Cerrado, possui cerca de 60% do fruto constituído por subprodutos como casca e semente, embora isso represente uma proporção significativa, poucos trabalhos têm discutido o uso desses subprodutos como ingredientes no desenvolvimento de novos produtos (MELO et al., 2021). Os compostos bioativos presentes na casca e nos extratos da semente do bacupari possuem propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e antioxidantes (PEREIRA et al., 2010). Alguns estudos demonstraram que os subprodutos podem ser processados em farinhas e utilizados como ingrediente alimentar, Melo et al. (2021) utilizou a casca, a semente e o caroço de bacupari para produzir farinha. As farinhas obtidas mostraram-se ser boas fontes de

proteínas e de fibras, apresentaram propriedades bioativas através da quantidade significativa de compostos fenólicos e atividade antioxidante, além disso, com relação às propriedades tecnológicas, exibiram uma ampla estabilidade térmica e expressivo conteúdo amiláceo, portanto essas farinhas podem ser usadas como ingrediente alternativo em diversos setores da indústria alimentícia.

As sementes de uma fruta exótica brasileira, achachairu, pertencente da espécie *Garcinia humilis*, representam até 15% do total da fruta e, devido à presença de compostos com propriedades analgésicas e atividades antiúlceras no organismo humano, vêm despertando interesse na sua aplicação industrial (TERRAZAS et al., 2013). Segundo Ikeda et al. (2021), as farinhas obtidas a partir das sementes de achachairu possuem alto teor de fibra alimentar e amido, compostos fenólicos como o ácido gálico, cumárico, ferúlico e vanílico, flavonoides como catequina, hesperetina e rutina. O estudo ressalta que farinhas obtidas de sementes de achachairu apresentam um uso potencial para elaboração de alimentos.

O pequi, uma fruta tropical cultivada nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro Oeste do Brasil, costuma ser comercializado inteiro ou na forma de conservas enlatadas. No processamento da fruta, a casca é geralmente descartada e corresponde a aproximadamente 80% da massa total do fruto, entretanto, os subprodutos de pequi podem ser uma fonte de ingredientes alimentares com alto teor de fibra alimentar e propriedades antioxidantes (MACHADO; MELLO; HUBINGER, 2015). Dessa forma, Leão et al. (2017) buscaram avaliar essa hipótese através da produção de farinha a partir da casca de pequi e relataram que a porção de fibra dietética foi constituída

principalmente por fibras insolúveis e o conteúdo de protocianidinas obteve destaque, com relação às propriedades tecnológicas e físico-químicas, a farinha de subproduto de pequi pode ser considerada como um ingrediente na formulação de alimentos.

Alguns frutos são típicos de algumas regiões e desconhecidos por grande parte da população, e, dessa forma, deixam de ser consumidos e aproveitados pela maioria, é o caso dos frutos da pupunheira amazônica (SILVA RIBEIRO et al., 2021). Informações sobre a composição de seu fruto, a pupunha, ainda são muito limitadas e no que diz respeito ao uso desses frutos na alimentação ainda precisa ser mais explorado. A fim de demonstrar a produção e a aplicabilidade da pupunha, Silva Ribeiro et al. (2021) produziram duas farinhas, uma com polpa e outra com polpa e casca, ambas cozidas, como estratégia para o aproveitamento integral do fruto, além disso, biscoitos do tipo *cookie* foram desenvolvidos. Ambos os tipos de farinha apresentaram alto conteúdo de carboidratos e lipídios e boa estabilidade em ambientes com umidade inferior a 10%, os *cookies* exibiram um bom índice de aceitabilidade e intenção de compra, assim, o uso da farinha de pupunha como um ingrediente a ser adicionado na formulação de produtos de panificação pode ser visto como uma alternativa importante para valorização do fruto.

Em suma, a forma de utilização desses resíduos na dieta humana será determinada com base sobre as características de sua composição. Partindo desse exposto, Lima et al. (2014) investigaram a composição de sementes de cereja, jaca, laranja, melão, pêssego. A farinha de semente de cereja e pêssego continham altos níveis de lipídios e preparações feitas com essas sementes podem provavelmente ser usadas como suplemento alimentar; a farinha de semente de jaca continha alto teor de amido

disponível e resistente e era caracterizado por sua estabilidade térmica, tornando essa farinha uma boa alternativa em substituição ao trigo em produtos de panificação, essa substituição proporcionaria mais fibras em relação ao mesmo alimento preparado com farinhas convencionais; as farinhas de semente de laranja e de melão contêm amido e proteína, embora as concentrações variam com a fruta, todas as cinco farinhas podem ser usadas na alimentação de modo a minimizar os problemas causados pela eliminação de resíduos de frutas.

3.2 Óleos

Os resíduos de sementes oriundos do processamento de frutas podem ser utilizados para fabricação de óleos. Esses óleos geralmente são compostos por triglicerídeos e outras substâncias que incluem fitoesteróis, compostos fenólicos, carotenoides, tocoferóis e fosfolipídios (GUNSTONE, 2013). Os ácidos graxos, que ocupam uma porcentagem grande no óleo de semente, são caracterizados como saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, este último sendo uma boa fonte de ácidos graxos essenciais como o ácido linoleico e ácido α -linolênico, os quais proporcionam diversos benefícios à saúde (XU et al., 2018). Os processos envolvidos na produção do óleo, que envolvem secagem das sementes, pré-tratamento da semente e extração, foi implicado na alteração da composição química e propriedades funcionais do óleo, portanto há uma variação na qualidade do óleo obtido de sementes de frutas no que diz respeito ao cultivo, à região de fruticultura e ao processamento (KASEKE; OPARA; FAWOLE, 2020).

Os óleos obtidos a partir de sementes de frutas não têm recebido muita atenção. Com a crescente demanda

por óleo comestível, as fontes vegetais tornam-se alvo de pesquisas para explorar sua qualidade e propriedades funcionais, dessa forma, Fernandes et al. (2015) determinaram a composição de óleo de semente de romã e os principais ácidos graxos presentes eram o ácido púnico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido esteárico e palmítico. O ácido púnico tem sido o principal associado aos benefícios à saúde pela ingestão de óleo de romã (ARUNA et al., 2016).

O impacto do cultivo em fitoesteróis de óleo de semente foi demonstrado em diferentes cultivares de uva por Wen et al. (2016) e revelaram que o óleo de uva Cabernet Sauvignon exibiu teores mais elevados de fitoesteróis, ressaltando a presença do β -sitosterol e estigmasterol, ambos com função importante na redução dos níveis de colesterol.

Os óleos obtidos a partir de frutas cítricas são mais populares por serem utilizados em sua maioria como aromatizantes e acrescentados aos alimentos para melhorar a palatabilidade, entretanto, nutricionalmente esses óleos merecem mais destaque. Óleo de semente de limão foi investigado por Xi et al. (2017) e destacaram a importância desse óleo pelo conteúdo de compostos fenólicos e flavonoides que apresentavam, sendo o mesmo observado por İnan; Özcan; Aljuhaimi (2018) em óleos de semente de limão, de laranja e de tangerina.

Além de fornecer energia ao corpo humano, óleo de semente mantém a temperatura corporal normal, protege os tecidos do corpo e carrega vitaminas lipossolúveis, entre outras funções (KASEKE et al., 2020), mostrando ser uma boa alternativa para o reaproveitamento de resíduos.

3.3 Encapsulamento de compostos bioativos

Compostos bioativos provenientes de resíduos de frutas e de vegetais atuam como um reservatório para a produção de suplementos nutricionais, como os nutracêuticos. Os nutracêuticos são compostos derivados de um alimento ou parte dele para fornecer benefícios para a saúde, tratando ou prevenindo doenças, é classificado como um composto antioxidante, fibras dietéticas, ácidos graxos e polifenóis (GANESH; SRIDHAR; VISHALI, 2022).

O principal desafio para a indústria nutracêutica está em extrair esses compostos de forma que o alimento e suas características sejam mantidos. Vários métodos convencionais como extração por solvente, maceração, utilização de enzimas, bem como técnicas não térmicas como ultrassom, extração assistida por micro-ondas, campo elétrico e extração com fluido supercrítico têm sido explorados (KUMAR et al., 2017) e para utilização e preservação desses compostos vem sendo aplicada a técnica de encapsulamento (MARCILLO-PARRA et al., 2021).

Os polifenóis, um grupo diversificado de compostos bioativos proveniente da indústria nutracêutica, consistindo principalmente de ácido fenólicos, flavonoides, fenilpropanoides, quinonas, taninos e lignina, agem como antioxidantes, contribuindo para a prevenção de doenças crônico-degenerativas e cardiovasculares (SWALLAH et al., 2020). O conteúdo fenólico presente nos resíduos de frutas vem sendo evidenciado por várias pesquisas e pode ser identificado como um recurso útil, após encapsulamento, como conservante, aditivo e suplemento alimentar. Li et al. (2021) demonstraram essa possibilidade ao utilizarem resíduo de casca de cajá do Himalaia (*Choerospondias axillaris*) para isolar

proantocianidinas, os resultados mostraram que o encapsulamento se mostrou efetivo e o produto obtido continha propriedades antioxidantes e prebióticas.

Utpott et al. (2020) mostraram que a aplicação de resíduos de frutas encapsulados para utilização como um ingrediente alimentar funcional pode ser uma tendência crescente no setor, fibra de subprodutos de pitaya foi aplicado em sorvete de morango em substituição à gordura. Lavelli; Sri Harsha; Spigno (2016) incorporaram compostos fenólicos encapsulados da casca de uva em purê de maçã como um corante natural com propriedades funcionais para substituir corantes sintéticos. Esses estudos reforçam a vantagem de utilizar subprodutos obtidos de frutas e apresentam inovações na expansão de alimentos funcionais.

3.4 Filmes Comestíveis

O uso de filmes e de coberturas comestíveis em produtos alimentícios vem sendo desenvolvido pela demanda por alimentos de alta qualidade, preocupações ambientais e oportunidades para criar novos mercados de matérias-primas formadoras de filme (GANESH; SRIDHAR; VISHALI, 2022). Os filmes possuem a função de proteger o alimento e aumentar sua vida útil.

Um filme preparado a partir de nanocristais de celulose derivado de resíduos de manga incorporados com álcool polivinílico mostrou seu potencial como filme ativo para embalagens comestíveis (DEY et al., 2021).

Resíduos de tâmara e gelatina foram usados para produzir filmes comestíveis enriquecidos com antioxidantes, os filmes exibiram um perfil de alta capacidade antioxidante e garantiram um agente antioxidante natural para o desenvolvimento de uma gama de alimentos com embalagens ativas com

funcionalidade e desempenho aprimorados (RANGARAJ et al., 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão eficaz de resíduos de frutas é uma questão importante que precisa ser resolvida imediatamente em uma frente global. Esses itens alimentares constituem uma proporção significativa de desperdício e são de alto valor. As descobertas relatadas neste capítulo mostraram o valor do aproveitamento de subprodutos da indústria de frutas para gerar valor agregado aos produtos.

5. REFERÊNCIAS

DE ALBUQUERQUE, M. A. C.; LEVIT, R.; BERES, C.; BEDANI, R.; DE MORENO DE LEBLANC, A.; SAAD, S. M. I.; LEBLANC, J. G. Tropical fruit by-products water extracts of tropical fruit by-products as sources of soluble fibres and phenolic compounds with potential antioxidant, anti-inflammatory, and functional properties. **Journal of Functional Foods**, v. 52, n. November 2018, p. 724–733, 2019.

ALI, S.; CHEN, X.; AJMAL SHAH, M.; ALI, M.; ZAREEF, M.; ARSLAN, M.; AHMAD, S.; JIAO, T.; LI, H.; CHEN, Q. The avenue of fruit wastes to worth for synthesis of silver and gold nanoparticles and their antimicrobial application against foodborne pathogens: A review. **Food Chemistry**, v. 359, n. March, p. 129912, 2021.

ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J. Adsorption of Heavy Metals From Water Using Banana and Orange Peels (PDF Download Available). **Water Science and Technology**, n. July, p. 185–190, 2018.

ARUNA, P.; VENKATARAMANAMMA, D.; SINGH, A. K.; SINGH, R. P. Health Benefits of Punicic Acid: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 16–27, 2016.

DEY, A.; DHUMAL, C. V.; SENGUPTA, P.; KUMAR, A.; PRAMANIK, N. K.; ALAM, T. Challenges and possible solutions to mitigate the problems of single-use plastics used for packaging food items: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 9, p. 3251–3269, 2021.

ESSIEN, J. P.; AKPAN, E. J.; ESSIEN, E. P. Studies on mould growth and biomass production using waste banana peel. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 13, p. 1451–1456, 2005.

FERNANDES, L.; PEREIRA, J. A.; LOPÉZ-CORTÉS, I.; SALAZAR, D. M.; RAMALHOSA, E.; CASAL, S. Fatty acid, vitamin E and sterols composition of seed oils from nine different pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 39, p. 13–22, 2015.

GANESH, K. S.; SRIDHAR, A.; VISHALI, S. Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities-A review. **Chemosphere**, v. 287, p. 132221, 2022.

GOWE, C. Review on Potential Use of Fruit and Vegetables By-Products as A Valuable Source of Natural Food Additives Some of the authors of this publication are also working on these related projects: review on fruit and vegetables View project Review on Potential. **Food Science and Quality Management**, v. 45, n. December, p. 47–61, 2015.

GUNSTONE, F. D. Composition and Properties of Edible Oils. **Edible Oil Processing**. p.1–39, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IKEDA, M.; MELO, A. M. de; COSTA, B. P.; BARBI, R. C. T.; RIBANI, R. H. Nutritional and bioactive composition of achachairu (*Garcinia humilis*) seed flour: A potential ingredient at three stages of ripening. **Lwt**, v. 152, n. August, 2021.

İNAN, Ö.; ÖZCAN, M. M.; ALJUHAIMI, F. Effect of location and Citrus species on total phenolic, antioxidant, and radical scavenging activities of some Citrus seed and oils. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 3, p. 1–8, 2018.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Fatty acid composition, bioactive phytochemicals, antioxidant properties and oxidative stability of edible fruit seed oil: effect of preharvest and processing factors. **Heliyon**, v. 6, n. 9, p. e04962, 2020.

KUMAR, K.; YADAV, A. N.; KUMAR, V.; VYAS, P.; DHALIWAL, H. S. Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 1, 2017.

LAVELLI, V.; SRI HARSHA, P. S. C.; SPIGNO, G. Modelling the stability of maltodextrin-encapsulated grape skin phenolics used as a new ingredient in apple puree. **Food Chemistry**, v. 209, p. 323–331, 2016.

LEÃO, D. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; BASTOS, R.; COIMBRA, M. A. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017.

LI, Q.; SHI, J.; LIU, L.; MCCLEMENTS, D. J.; DUAN, M.; CHEN, X.; LIU, J. Encapsulation of fruit peel proanthocyanidins in biopolymer microgels: Relationship between structural characteristics and encapsulation/release properties. **Food Hydrocolloids**, v. 117, n. October 2020, p. 106693, 2021.

LIMA, B. N. B.; LIMA, F. F.; TAVARES, M. I. B.; COSTA, A. M. M.; PIERUCCI, A. P. T. R. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 151, p. 293–299, 2014.

MACHADO, M. T. C.; MELLO, B. C. B. S.; HUBINGER, M. D. Evaluation of pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.) aqueous

extract quality processed by membranes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, n. September, p. 304–312, 2015.

MARCILLO-PARRA, V.; TUPUNA-YEROVI, D. S.; GONZÁLEZ, Z.; RUALES, J. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 116, n. June, p. 11–23, 2021.

MELO, A. M. de; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; IKEDA, M.; CARPINÉ, D.; RIBANI, R. H. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, p. 101343, 2021.

MILLER, V.; YUSUF, S.; CHOW, C. K.; DEHGHAN, M.; CORSI, D. J.; LOCK, K.; POPKIN, B.; RANGARAJAN, S.; KHATIB, R.; LEAR, S. A.; MONY, P.; KAUR, M.; MOHAN, V.; VIJAYAKUMAR, K.; GUPTA, R.; KRUGER, A.; TSOLEKILE, L.; MOHAMMADIFARD, N.; RAHMAN, O.; ROSENGREN, A.; AVEZUM, A.; ORLANDINI, A.; ISMAIL, N.; LOPEZ-JARAMILLO, P.; YUSUFALI, A.; KARSIDAG, K.; IQBAL, R.; CHIFAMBA, J.; OAKLEY, S. M.; ARIFFIN, F.; ZATONSKA, K.; POIRIER, P.; WEI, L.; JIAN, B.; HUI, C.; XU, L.; XIULIN, B.; TEO, K.; MENTE, A. Availability, affordability, and consumption of fruits and vegetables in 18 countries across income levels: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. **The Lancet Global Health**, v. 4, n. 10, p. e695–e703, 2016.

PEREIRA, I. O.; MARQUES, M. J.; PAVAN, A. L. R.; CODONHO, B. S.; BARBIÉRI, C. L.; BEIJO, L. A.; DORIGUETTO, A. C.; COSTA, D. D. M.; DOS SANTOS, M. H. Leishmanicidal activity of benzophenones and extracts from *Garcinia brasiliensis* Mart. fruits. **Phytomedicine**, v. 17, n. 5, p. 339–345, 2010.

RANGARAJ, V. M.; RAMBABU, K.; BANAT, F.; MITTAL, V. Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. **Food Chemistry**, v. 355,

n. March, p. 129631, 2021.

SILVA, L. M.; HILL, L. E.; FIGUEIREDO, E.; GOMES, C. L. Delivery of phytochemicals of tropical fruit by-products using poly (dl-lactide-co-glycolide) (PLGA) nanoparticles: Synthesis, characterization, and antimicrobial activity. **Food Chemistry**, v. 165, p. 362–370, 2014.

SILVA RIBEIRO, G.; CONCEIÇÃO MONTEIRO, M. K.; RODRIGUES DO CARMO, J.; DA SILVA PENA, R.; CAMPOS CHISTÉ, R. Peach palm flour: production, hygroscopic behaviour and application in cookies. **Heliyon**, v. 7, n. 5, 2021.

SOQUETTA, M. B.; STEFANELLO, F. S.; HUERTA, K. D. M.; MONTEIRO, S. S.; DA ROSA, C. S.; TERRA, N. N. Characterization of physicochemical and microbiological properties, and bioactive compounds, of flour made from the skin and bagasse of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*). **Food Chemistry**, v. 199, p. 471–478, 2016.

SWALLAH, M. S.; SUN, H.; AFFOH, R.; FU, H.; YU, H. Antioxidant Potential Overviews of Secondary Metabolites (Polyphenols) in Fruits. **International Journal of Food Science**, v. 2020, 2020.

TERRAZAS, P. M.; DE MARQUES, E. S.; MARIANO, L. N. B.; CECHINEL-FILHO, V.; NIERO, R.; ANDRADE, S. F.; MAISTRO, E. L. Benzophenone guttiferone a from *Garcinia achachairu* rusby (Clusiaceae) presents genotoxic effects in. **PLoS ONE**, v. 8, n. 11, p. 1–6, 2013.

UTPOTT, M.; RAMOS DE ARAUJO, R.; GALARZA VARGAS, C.; NUNES PAIVA, A. R.; TISCHER, B.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; HICKMANN FLÔRES, S. Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 5, p. 1–10, 2020.

WEN, X.; ZHU, M.; HU, R.; ZHAO, J.; CHEN, Z.; LI, J.; NI, Y. Characterisation of seed oils from different grape cultivars grown in China. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 7, p. 3129–3136, 2016.

XI, W.; LU, J.; QUN, J.; JIAO, B. Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 5, p. 1108–1118, 2017.

XU, B.; WEI, B.; REN, X.; LIU, Y.; JIANG, H.; ZHOU, C.; MA, H.; CHALAMAIAH, M.; LIANG, Q.; WANG, Z. Dielectric Pretreatment of Rapeseed 1: Influence on the Drying Characteristics of the Seeds and Physico-chemical Properties of Cold-Pressed Oil. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1236–1247, 2018.

CAPÍTULO IV

UTILIZAÇÃO DE COPRODUTOS DA SEMENTE DA CHIA

Sibele Santos Fernandes
Vilásia Guimarães Martins

1. INTRODUÇÃO

O mundo depende de um número limitado de espécies agrícolas para atender às necessidades de nutrientes dos consumidores em termos de carboidratos, de gorduras e de proteínas. Dessa forma, há necessidade de expandir a base de abastecimento de alimentos, buscando fontes desses nutrientes, como os resíduos agroindustriais (MUÑOZ et al., 2021).

Produtos de valor agregado estão sendo extraídos desses coprodutos (resíduos agroindustriais), mas a maioria dos subprodutos não são utilizados, sendo descartados ou comercializados a preço baixo. A maior parte desses coprodutos apresentam compostos bioativos, proteínas e ácidos graxos poli-insaturados. A possibilidade de utilização de coprodutos do processamento de alimentos na produção de produtos alimentícios criou um espaço enorme para a redução do desperdício e geração de renda indireta (PATHANIA; KAUR, 2022).

Ao longo dos anos, as plantas foram domesticadas

e cultivadas para obter novos ingredientes e fontes alternativas de alimentos funcionais. Uma planta notável que mostrou alto potencial é a chia (*Salvia hispanica*) (URBIZO-REYES et al., 2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) é uma planta oleaginosa originária da América Central e do Sul. A semente de chia contém quantidades consideráveis de proteínas, carboidratos, lipídios e fibra alimentar. Além disso, é uma excelente fonte de minerais, de vitaminas e de antioxidantes. Entre o conteúdo de ácidos graxos, o ácido linolênico (ômega-3) e o ácido linoleico (ômega-6) são os principais, contendo cerca de 68% e 19%, respectivamente (FERNANDES et al., 2019).

A comercialização da semente de chia se destaca na forma de grão inteiro, de farinha e de óleo. Como resíduo da obtenção do óleo de chia, uma torta é gerada (farinha de chia parcialmente desengordurada). Esta farinha passou a ser um coproduto, sendo que os estudos têm se concentrado em utilizar essa matéria-prima para obtenção de proteínas (MAS et al., 2020; PIGNI et al., 2020). Além desse coproduto, outros também podem ser aplicados e estudados, uma vez que ainda apresentam teor significativo de proteínas, de fibras (mucilagem) e de óleo.

Diante disso, este capítulo tem como objetivo apresentar os coprodutos do processamento de semente de chia que podem ser utilizados para alimentação humana, seja de forma direta com a inserção na formulação de alimentos, seja na forma indireta pela extração de compostos funcionais e bioativos.

2. CARACTERÍSTICAS DA SEMENTE DE CHIA

A semente de chia (*Salvia hispanica* L.) é originária do México e pertence à família Lamiaceae e apresenta excelentes componentes que podem auxiliar na saúde humana (DIN et al., 2021). Além disso, a semente de chia

é conhecida não apenas por esses atributos, mas também por sua capacidade de exalar uma mucilagem com propriedades físicas, químicas e tecnológicas interessantes (FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017b; MUÑOZ et al., 2021).

As sementes de chia têm se tornado importantes para a saúde e nutrição humana, devido à sua alta porcentagem de ácidos graxos essenciais e conteúdo proteico. O teor de óleo na semente varia de 19 a 25%, sendo destes cerca de 68% ácido α -linolênico (ω -3) e 19% ácido linoleico (ω -6) (FERNANDES et al., 2019).

Com 15 a 25% de teor de proteína, a chia possui um potencial enorme para corrigir e prevenir a desnutrição energético-proteica, sendo a globulina e albumina as proteínas de fácil digestão mais importantes na semente de chia. O conteúdo de proteína da semente de chia é maior do que o teor de proteína de todos os cereais, como trigo, milho, arroz, aveia e cevada. Além disso, a ausência de glúten na chia é outra característica interessante, pois pode ser consumida por indivíduos celíacos, que sofrem de doença celíaca (ULLAH et al., 2016).

Apesar do baixo teor de triptofano e lisina encontrado na proteína derivada da chia, o perfil de aminoácidos na semente de chia revelou alto teor de aminoácidos contendo enxofre, aminoácidos essenciais e não essenciais. O conteúdo de aminoácidos, particularmente de tirosina, cisteína e metionina, torna esta proteína um substrato adequado para a produção de peptídeos antioxidantes, liberados por hidrólise enzimática (LATHA; LIKHITHA; M, 2021).

A mucilagem de chia é formada pela exsudação da semente de chia quando esta entra em contato com a água, caracterizando-se por um gel transparente mucilaginoso. Esse gel possui qualidades que permitem

sua aplicação em diversos produtos na indústria de alimentos, podendo, assim, melhorar características sensoriais, como textura e valor nutricional dos produtos elaborados (FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017a, 2018, 2017c).

Embora a semente de chia seja um excelente alimento como fonte de nutrientes e promotor da boa saúde, no Brasil, ainda existem poucas indústrias de processamento de chia. Além do consumo dos grãos inteiros e da farinha, os produtos da semente de chia podem ser consumidos, como óleo puro ou óleo adicionado em alimentos, fibras através da mucilagem de chia e proteínas através de hidrolisados e isolados de proteínas (HRNCIC et al., 2020).

3. RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA CHIA

Um dos subprodutos obtidos pelo processamento da semente de chia é o óleo. A produção industrial de óleo de chia é realizada por extração a frio da semente, gerando um resíduo que pode ser denominado como torta de chia ou farinha de chia parcialmente desengordurada (FCPD) (COELHO; SALAS-MELLADO, 2018). Após passar pelo moinho de martelo através da extração de grande parte do óleo do grão de chia, a FCPD é posteriormente transformada em uma farinha fina de 14-16 mesh (1,4-1,2 mm) (EWERLIN et al., 2018). Para gerar valor agregado a esse resíduo, na verdade, pode ser utilizado como um subproduto em diversos fins.

Esse subproduto gerado acaba sendo comercializado como farinha de chia desengordurada ou é destinado à ração para animais. Entretanto, esses produtos são de baixo custo, o que faz com que as pesquisas científicas se concentrem em agregar valor a esse composto, como obtenção de óleo de chia e extração

proteica (COELHO; SALAS-MELLADO, 2018).

O processamento de obtenção do óleo de chia gera grandes quantidades de resíduos e de subprodutos, entre 20 e 60% m/m (AWARENET, 2004). O subproduto obtido após a extração do óleo de chia contém uma quantidade significativa de fibras, de proteínas e de outros compostos flavonoides, tais como a miricetina, a quercetina, o kaempferol e alguns ácidos fenólicos como cinâmicos, como o cafeico e o clorogênico, que possuem atividade antioxidante (DIN et al., 2021; GUINDANI et al., 2016).

Vázquez-Ovando et al. (2010) caracterizaram a torta de chia obtida após a extração do óleo e obtiveram um teor de 32,2% de proteínas, 7,1% de cinzas, 0,5% de lipídios e 26,5% de fibra bruta, destacando-se sua capacidade de retenção de água, de óleo e de moléculas orgânicas, e sugerindo que este pode ser um ingrediente útil na fabricação de produtos dietéticos, assados, fritos, entre outros. Já Ewerlin et al. (2018), para uma torta de chia obtida após a extração do óleo de uma semente de origem brasileira, obteve 30,1% de proteínas, 41,6% de carboidratos, 8% de ômega-3, 3,1% de ômega-6 e capacidade de absorção de água de 10,53 g.g⁻¹ de amostra.

Albano e Melo (2013) e Melo et al. (2013) avaliaram os efeitos nutricionais e bioquímicos e estresse oxidativo *in vivo* de sementes de chia e de FCPD aquecida a 94 °C e à temperatura ambiente, uma vez que são escassos os estudos *in vivo* que comprovem os benefícios da farinha desengordurada de chia, bem como da chia quando adicionada em preparações aquecidas. Para esse estudo, utilizaram uma dieta de pão com FCPD na proporção de 15% do total da dieta em ratos Wistar. Os autores concluíram que todos os tratamentos estudados apresentaram benefícios para a saúde, quando incluídos na dieta de ratos saudáveis. Esses resultados são

promissores para a utilização desse subproduto na promoção da saúde.

Outro composto presente na FCPD é a mucilagem de chia, entretanto não há ainda trabalhos que estudem a extração da mucilagem a partir do subproduto da extração do óleo de chia. Independentemente do método de extração do óleo (prensagem a frio ou a quente, extração por solvente a frio ou a quente, extração supercrítica, maceração, por exemplo), a mucilagem continua no resíduo, uma vez que, para esta ser extraída da semente, é necessário o contato com água e agitação (FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017b).

Embora a FCPD esteja disponível para compra no comércio, a quantidade gerada ainda é muito superior à sua demanda. A fim de agregar valor a esse resíduo/subproduto proveniente da extração do óleo de chia, estudos têm se concentrado na extração do óleo, com o intuito de aumentar o rendimento; na extração proteica, para a obtenção de hidrolisados, concentrados e isolados; e no enriquecimento de alimentos (MAS et al., 2020; PIGNI et al., 2020).

3.1 Obtenção de óleo de chia

Como a semente de chia é fonte de ácidos graxos essenciais e compostos fenólicos, presume-se que o resíduo da extração do óleo mantenha essas propriedades, ou pelo menos parte delas. Já existem alguns estudos relacionados ao uso da torta de sementes de chia como matéria-prima na produção de extratos biologicamente ativos, principalmente utilizando a tecnologia supercrítica para extração do óleo remanescente.

Guindani et al. (2016) estudaram a extração de óleo de chia através das técnicas de extração supercrítica;

extração por maceração, com hexano, acetato de etila e etanol; e extração assistida por ultrassom (EAU). Para esse estudo, os autores utilizaram como matéria-prima o resíduo proveniente da prensagem da semente de chia (torta de chia) para obtenção comercial do óleo de chia.

Em relação à extração supercrítica utilizando CO₂, os autores verificaram que, em pressões de extração maiores que 20 MPa, o rendimento de extração é maior em temperaturas inferiores (40 °C), isso porque a massa específica do solvente exerce maior influência sobre a solubilidade. Além disso, pressões maiores que 20 MPa, o efeito da pressão de vapor do soluto sobre a solubilidade é dominante. Dessa forma, essa técnica de extração mostrou-se um método interessante para a obtenção de óleo de chia a partir da torta de chia, proporcionando altos valores de rendimento e extratos livres de solventes. Associado a isso, os autores ainda realizaram uma avaliação econômica e estimaram que seja um processo lucrativo e que o extrato produzido é economicamente competitivo com os produtos do mercado.

Já a extração EAU com hexano gerou valores de rendimento (10,6%) estatisticamente iguais (com nível de significância de 5%) aos rendimentos proporcionados pela maceração com etanol (9,6%) e EAU, usando acetato de etila (11,2%). Com isso, Guindani et al. (2016) concluíram que a torta de sementes de chia proveniente da extração comercial do óleo de chia apresentou-se como um resíduo agroindustrial que ainda contém uma quantidade considerável de óleo a ser extraído, e esse óleo tem as mesmas características que o óleo obtido de sementes inteiras de chia. Esse resíduo pode ser utilizado para aumentar o valor agregado dos resíduos da indústria de óleo de semente de chia, sendo economicamente lucrativo.

3.2 Obtenção de proteínas de chia

A busca constante por substâncias com atividade biológica (como efeitos benéficos à saúde e à prevenção da deterioração dos alimentos) obtidas de fontes naturais cresce cada vez mais, para que se possam ser incluídas como alimentos ou aditivos (LATHA; LIKHITHA; M, 2021). A maior parte dos estudos de obtenção de concentrados, isolados e hidrolisados proteicos são a partir da semente de chia inteira. Diante disso, a utilização do subproduto da produção do óleo de chia pode ser uma excelente alternativa para a extração das proteínas, uma vez que este resíduo apresenta alto conteúdo proteico (COELHO et al., 2018).

Os aminoácidos essenciais tais como leucina, isoleucina e valina compreendem a 42,2-42,9% dos aminoácidos totais em sementes de chia, proporção maior que em sementes oleaginosas comuns, tais como a soja. As sementes de chia são também ricas em aminoácidos não essenciais, como o ácido glutâmico, arginina e ácidos aspárticos (OLIVOS-LUGO; VALDIVIA-LÓPEZ; TECANTE, 2010).

Os concentrados (de 65 a 90% de proteínas) e os isolados (acima de 90% de proteínas) proteicos obtidos de fontes vegetais são utilizados para substituir total ou parcialmente as proteínas em muitos alimentos processados, como exemplo os produtos cárneos e lácteos (CHAVES et al., 2018). Geralmente, as proteínas são utilizadas em várias formulações alimentares, a fim de melhorar o seu desempenho. As proteínas, os polipeptídeos e os aminoácidos essenciais além de promoção da saúde são também utilizados para conferir características, como estrutura, textura, *flavour* e cor em produtos alimentares formulados (SANDOVAL-OLIVEROS; PAREDES-LÓPEZ, 2013).

Coelho e Salas-Mellado (2018) estudaram dois métodos químicos com extração alcalina e precipitação isoelétrica para a obtenção de concentrados proteicos a partir da FCPD. Os métodos promoveram uma concentração de 70,9% e 74,1% das proteínas, respectivamente. Os autores verificaram que a escolha do método de extração das proteínas afeta as características dos subprodutos da proteína gerados durante a produção do óleo de chia. As propriedades gelificantes, o conteúdo e a estrutura das proteínas, e as condições de processamento das proteínas influenciam na sua solubilidade, bem como sua capacidade de emulsificação e formação de espuma. Além disso, os métodos de extração química alteram a morfologia da superfície e a composição de aminoácidos das proteínas recuperadas.

Com o intuito de caracterizar isolados proteicos obtidos de FCPD frente a diferentes condições de extração, López et al. (2019) analisaram a capacidade de formação e de estabilização de espumas, e a capacidade de formação de emulsões em pH neutro, bem como o comportamento dos isolados na interface ar/água afim da adequação desses isolados no desenvolvimento de produtos alimentícios. Como resultados principais, as proteínas de chia extraídas em pH 10 apresentaram melhores propriedades de formação de espuma do que aquelas extraídas em pH 12 e a solubilidade foi similar em todos pHs testados. A formação e a estabilização dos sistemas coloidais foram favorecidas pela presença de proteínas solúveis da semente de chia.

Um nível crescente de doenças crônicas ao longo dos anos levou ao desenvolvimento de peptídeos bioativos derivados de alimentos, os quais podem ajudar a melhorar essas condições de saúde. Alguns dos efeitos biológicos produzidos por esses peptídeos são antioxidantes, anti-inflamatórios, antitrombóticos, anti-hipertensivos e

antidiabéticos. Algumas proteínas, incluindo proteínas de sementes de chia, apresentam alta resistência à proteólise, limitando sua aplicabilidade para gerar peptídeos bioativos. Por isso, tratamentos de hidrólise são realizados para liberar os peptídeos com propriedades funcionais (URBIZO-REYES et al., 2019). Diante disso, já se têm estudos de obtenção de hidrolisado proteico de subproduto da extração do óleo de chia.

Coelho et al. (2019) avaliaram a capacidade antioxidante de hidrolisados proteicos obtidos por proteases a partir de FCPD, como uma estratégia prática para melhorar a qualidade dos alimentos e estender a vida útil de produtos cárneos pela inibição da oxidação. Além disso, através do teste *in vivo*, verificaram que os peptídeos obtidos tiveram efeitos positivos sobre a levedura *Saccharomyces cerevisiae* submetida a H₂O₂ (estresse oxidativo induzido).

Madrugá et al. (2020) aplicaram hidrolisados proteicos obtidos a partir de FCPD em pães de trigo e pães sem glúten, visando melhorar características tecnológicas, sensoriais (aroma, cor e sabor) e antioxidantes. Tanto o pão de trigo, como o pão de arroz, adicionados do hidrolisado de chia apresentaram boas características tecnológicas como volume específico, maciez e boa atividade antioxidante. Além disso, as características sensoriais do pão de trigo e arroz com 3 mg de hidrolisado de chia/ g de farinha não foram inferiores às do pão controle, mostrando que o pão com hidrolisado de FCPD apresentou características sensoriais adequadas.

3.3 Desenvolvimento de produtos alimentícios

A FCPD pode ser uma alternativa de enriquecimento de alimentos. Entretanto, ainda há poucos

estudos nessa área. Gohara et al. (2015) desenvolveram e avaliaram hambúrgueres contendo FCPD como fonte do ácido graxo α -linolênico (ω -3). Os hambúrgueres foram formulados em diferentes concentrações de FCPD (8 a 10%), proteína texturizada de soja – PTS (8 a 10%) e fração carne composta por músculo bovino (*Longissimus dorsi*) e toucinho (80 a 84%). Os autores concluíram que a adição de FCPD em hambúrgueres foi eficiente no aumento dos níveis de ácidos graxos essenciais, em especial o ω -3, evidenciando que, mesmo sendo parcialmente desengordurado, esse suproduto tem a possibilidade de contribuir com os ácidos graxos essenciais para os alimentos.

Ewerling et al. (2020) estudaram o desenvolvimento de pão sem glúten adicionado de FCPD, goma xantana e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). Nos níveis com maior proporção de FCPD (24,8%), os autores encontraram valores mais elevados de proteínas, cerca de 13,4%. A adição de FCPD em proporções mais altas influenciou negativamente os parâmetros de cor dos pães, diminuindo o valor da luminosidade e aumentando o valor de parâmetro a^* . No entanto, apesar do negativo, influência na cor, a formulação contendo 20% de FCPD, 0,5% de HPMC e 0,5% de goma xantana foi o pão desenvolvido mais aceito para aceitação geral. Os autores concluíram que o uso da FCPD foi promissor no desenvolvimento de pão isento de glúten com boas características sensoriais e nutricionais.

4. RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DE CHIA

O rendimento de extração da mucilagem de chia é cerca de 6%, o que impacta significativamente no grande resíduo que é gerado para a sua obtenção. Esse resíduo é composto principalmente por proteínas e lipídios. A

semente de chia é composta por cerca de 20% de proteínas e 36% de lipídios, quando se extrai a mucilagem, essa arrasta apenas 8% de proteínas e 1% de lipídios, ficando o restante no resíduo (FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017a).

Diante disso, o resíduo da extração da mucilagem de chia pode ser utilizado como um subproduto de obtenção de proteínas e de lipídios. Ainda não se têm estudos nessa área, o que, cada vez mais, intensifica que a utilização dos subprodutos da chia merecem mais destaque. O que já foi estudado é o uso do resíduo da obtenção da mucilagem de chia para enriquecer alimentos.

Benevides, Fernandes e Salas-Mellado (2015) adicionaram o subproduto da obtenção da mucilagem de chia na formulação de pães de trigo. O intuito dos autores foi desenvolver um produto, de elevado consumo pela população, com melhores características nutricionais. A adição de 11% do subproduto promoveu um aumento no teor lipídico do pão (de 1,3% para 2,3%), entretanto esse aumento é considerado satisfatório em virtude dos lipídios presentes serem ácidos graxos poli-insaturados essenciais, como ômega-3 e ômega-6. Já o teor proteico teve uma diminuição, possivelmente pela quantidade maior dos outros componentes. Em relação às características tecnológicas, a perda de cocção foi significativamente menor, o que se mostra muito vantajoso industrialmente, porque, quanto menos água se perde na cocção, maior a quantidade desse produto.

5. RESÍDUO DA OBTENÇÃO DA FARINHA DE CHIA

Para a obtenção da farinha de chia, as sementes inteiras são moídas e após são submetidas ao peneiramento para padronizar a granulometria. A porção

que não será destinada à comercialização é um subproduto com cerca de 45,2% de carboidratos, 21,7% de proteínas, 21,5% de lipídios e 5,5% de cinzas (DUSSO et al., 2021).

Dusso et al. (2021) estudaram a extração de óleo por pirólise a vácuo de resíduos da moagem de sementes de chia e avaliaram a possibilidade da geração de bio-óleos enriquecidos com ácidos graxos essenciais. Os autores utilizaram esse resíduo como matéria-prima não apenas por ser uma fonte de ácidos graxos essenciais, mas também por ser composta de materiais carbonosos com propriedades importantes, que podem ser obtidas pelo processo pirolítico. O rendimento da recuperação dos ácidos graxos por pirólise a 400 °C foi igualmente eficiente a outras técnicas comumente utilizadas, como extração por solvente orgânico. Entretanto, neste caso, o uso da pirólise evita o uso de solventes orgânicos, o que é uma grande vantagem. Além disso, os experimentos são rápidos, simples e fáceis de escalar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi abordado, ainda são escassos os estudos envolvendo os subprodutos originários do processamento da semente de chia. A maioria dos estudos tem se concentrado na utilização da farinha parcialmente desengordurada de chia para a extração das proteínas. Entretanto, em virtude do perfil nutricional favorável desses subprodutos, mais estudos devem ser concentrados.

Ainda podem ser realizados estudos de extração da mucilagem de chia a partir de farinha de chia parcialmente desengordurada; de extração de óleo a partir do resíduo da extração da mucilagem; e uso de todos os subprodutos para desenvolvimento de alimentos sem glúten. Os alimentos sem glúten ainda carecem de boas qualidades, diferindo

muito em relação às características tecnológicas, nutricionais e sensoriais daqueles alimentos com glúten. Em virtude da semente de chia não possuir glúten e a busca por alimentos sem glúten mais nutritivos e com características melhoradas, mais estudos de enriquecimento ou incorporação devem ser realizados utilizando os subprodutos da semente de chia.

7. REFERÊNCIAS

AWARENET. **Handbook for the prevention and minimisation of waste and valorisation of by-products in European agro-food industries**, 2004.

ALBANO, I. R.; MELO, S. S. Avaliação in Vivo Dos Efeitos Das Sementes E Farinha Desengordurada De Chia Em Diferentes Temperaturas Funcionais De Insetos Uma Área No Morro Da Cruz ,. **XIII Seminário de Iniciação Científica**, p. 233–335, 2013.

BENEVIDES, A. C.; FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Utilização do resíduo da extração da mucilagem de chia na formulação de pão de trigo. **14ª Mostra de Produção Universitária**, p. 1–2, 2015.

CHAVES, M. A.; SOUZA, A. H. P. DE; COLLA, E.; BITTENCOURT, P. R. S.; MATSUSHITA, M. Influences of chia flour and the concentration of total solids on the characteristics of “ dulce de leche ” from goat milk. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 338–344, 2018.

COELHO, M. S.; AQUINO, S. DE A.; LATORRES, J. M.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. In vitro and in vivo antioxidant capacity of chia protein hydrolysates and peptides. **Food Hydrocolloids**, v. 91, n. November 2018, p. 19–25, 2019.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. How extraction method affects the physicochemical and functional

properties of chia proteins. **Lwt**, v. 96, p. 26–33, 2018.

COELHO, M. S.; SOARES-FREITAS, R. A. .; AREAS, J. A. .; GANDRA, E. A.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Peptides from Chia present antibacterial activity and inhibit cholesterol synthesis. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 73, p. 101–107, 2018.

DIN, Z.; ALAM, M.; ULLAH, H.; SHI, D.; XU, B.; LI, H.; XIAO, C. Nutritional, phytochemical and therapeutic potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.). A mini-review. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 1, p. 100010, 2021.

DUSSO, D.; TÉLLEZ, J. F.; FUERTES, V.; DE PAOLI, J. M.; MOYANO, E. L. Vacuum pyrolysis of chia flour residues: An alternative way to obtain omega-3/omega-6 fatty acids and calcium-enriched biochars. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 161, n. November 2021, p. 105379, 2021.

EWERLIN, M.; BORTOLATTO, R.; TORQUATO, A. S.; STEINMACHER, N. C.; RODRIGUES, A. C. Proximate Composition and Fatty Acids from Partially Defatted Chia (*Salvia hispanica*) Flour. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 1, p. 13–20, 2018.

EWERLING, M.; STEINMACHER, N. C.; DOS SANTOS, M. R.; KALSCHNE, D. L.; DE SOUZA, N. E.; ARCANJO, F. M.; DE SOUZA, A. H. P.; RODRIGUES, A. C. Defatted chia flour improves gluten-free bread nutritional aspects: A model approach. **Food Science and Technology**, v. 40, n. June, p. 68–75, 2020.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. D. L. M. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. **Food Chemistry**, v. 227, 2017a.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. D. L. M. Effect of oil replacement in mayonnaise by chia (*Salvia hispanica* L) mucilage. **Integrative Food, Nutrition and Metabolism**, v. 5, n. 3, p. 1–4, 2018.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M.

Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. **Food Chemistry**, v. 227, p. 237–244, 2017b.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Development of Mayonnaise with Substitution of Oil or Egg Yolk by the Addition of Chia anica L.) Mucilage. **Journal of Food Science**, p. 1–10, 2017c.

FERNANDES, S. S.; TONATO, D.; MAZUTTI, M. A.; DE ABREU, B. R.; DA COSTA CABRERA, D.; D'OCA, C. D. R. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Yield and quality of chia oil extracted via different methods. **Journal of Food Engineering**, v. 262, p. 200–208, 2019.

GOHARA, A. A.; SOUZA, A. H. P. DE; GOHARA, A. K.; MATSUSHITA, M.; GOMES, S. T. M. EFEITO DA ADIÇÃO DE FARINHA PARCIALMENTE DESENGORDURADA DE CHIA (*Salvia hispanica*, L.) NA COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS EM HAMBÚRGUER. **24° Encontro Anual de Iniciação Científica**, v. 5, n. 2, p. 40–51, 2015.

GUINDANI, C.; PODESTÁ, R.; BLOCK, J. M.; ROSSI, M. J.; MEZZOMO, N.; FERREIRA, S. R. S. Valorization of chia (*Salvia hispanica*) seed cake by means of supercritical fluid extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 112, p. 67–75, 2016.

HRNCIC, M. K.; IVANOVSKI, M.; CÖR, D.; KNEZ, Ž. Chia Seeds (*Salvia Hispanica* L.): An Overview—Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application. **Molecules**, v. 25, n. 11, p. 1–19, 2020.

LATHA, B. V; LIKHITHA, R.; M, C. K. Copper chelating protein hydrolysate from *Salvia hispanica* L. by pepsin-pancreatin treatment. **Current Research in Food Science**, v. 4, n. November, p. 829–839, 2021.

LÓPEZ, D. N.; BOERIS, V.; SPELZINI, D.; BONIFACINO, C.; PANIZZOLO, L. A.; ABIRACHED, C. Adsorption of chia proteins at interfaces: Kinetics of foam and emulsion formation and destabilization. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**,

v. 180, n. May, p. 503–507, 2019.

MADRUGA, K.; DA ROCHA, M.; FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Properties of wheat and rice breads added with Chia (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolyzate.

Food Science and Technology, v. 40, n. 3, p. 596–603, 2020.

MAS, A.L.; BRIGANTE, F.I.; SALVUCCI, E.; PIGNI, N.B.; MARTINEZ, M.L.; RIBOTTA, P.; WUNDERLIN, D.A.; BARONI, M.V. Defatted chia flour as functional ingredient in sweet cookies. How do Processing, simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation affect its antioxidant properties?. **Food Chemistry**, 316,126279, 2020.

MELO, S. S.; FISCHER, C. K.; SERONI, J.; MOMM, N.; LANG, T. C.; MAGALHÃES, S. R. A.; AZEVEDO, L. C.; HOELTGBAU, B. EFEITOS NUTRICIONAIS, BIOQUÍMICOS E SOBRE ESTRESSE OXIDATIVO IN VIVO DAS SEMENTES DE CHIA E DA FARINHA DESENGORDURADA DE CHIA AQUECIDAS E A TEMPERATURA AMBIENTE. **Nutrire**, v. 38, p. 52–53, 2013.

MUÑOZ, L. A.; VERA C., N.; ZÚÑIGA-LÓPEZ, M. C.; MONCADA, M.; HAROS, C. M. Physicochemical and functional properties of soluble fiber extracted from two phenotypes of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 104, 1 dez. 2021.

OLIVOS-LUGO, B. L.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. Á.; TECANTE, A. Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). **Food Science and Technology International**, v. 16, n. 1, p. 89–96, 2010.

PATHANIA, S.; KAUR, N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 27, n. February 2021, p. 100295, 2022.

PIGNI, N.B.; ARANIBAR, C.; MAS, A.L.; AGUIRRE, A.; BORNEO, R.; WUNDERLIN, R.; BARONI, V. Chemical profile

and bioaccessibility of polyphenols from wheat pasta supplemented with partially-deoiled chia flour. **LWT - Food Science and Technology**, 124, 109134, 2020.

SANDOVAL-OLIVEROS, M. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 193–201, 2013.

ULLAH, R.; NADEEM, M.; KHALIQUE, A.; IMRAN, M.; MEHMOOD, S.; JAVID, A.; HUSSAIN, J. Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 4, p. 1750–1758, 2016.

URBIZO-REYES, U.; SAN MARTIN-GONZÁLEZ, M. F.; GARCIA-BRAVO, J.; LÓPEZ MALO VIGIL, A.; LICEAGA, A. M. Physicochemical characteristics of chia seed (*Salvia hispanica*) protein hydrolysates produced using ultrasonication followed by microwave-assisted hydrolysis. **Food Hydrocolloids**, v. 97, n. June, p. 105187, 2019.

VÁZQUEZ-OVANDO, J. A.; ROSADO-RUBIO, J. G.; CHEL-GUERRERO, L. A.; BETANCUR-ANCONA, D. A. Procesamiento en seco de harina de chía (*Salvia hispanica* L.): Caracterización química de fibra y proteína. **CYTA - Journal of Food**, v. 8, n. 2, p. 117–127, 2010.

CAPÍTULO V

SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO CAMARÃO

Juliana Machado Latorres
Daiane Nogueira
Vilásia Guimarães Martins

1. INTRODUÇÃO

A indústria aquícola vem crescendo ao longo das últimas décadas e possui grande potencial para suprir as necessidades globais de pescados e frutos do mar, visto que as demandas por proteínas marinhas extrapolam a produção sustentável dos oceanos (SHEN; MA; YUE, 2021). O consumo desse tipo de proteína vem crescendo devido ao novo estilo de vida adotado pelos consumidores, que estão cada vez mais preocupados em ingerir alimentos que, além de garantir a nutrição básica, possam oferecer efeitos benéficos ao organismo humano (GONZALEZ-SILVERA et al., 2020).

Segundo o relatório da FAO (2020), nos últimos 20 anos, estima-se que a produção global de organismos aquícolas represente o setor de maior evolução na agricultura. Dentre as atividades desse setor, a carcinicultura, ou seja, a criação de camarões, tornou-se um dos campos mais produtivos, sendo a sua produção baseada em duas espécies, uma espécie americana,

Litopenaeus vannamei é uma espécie asiática, *Penaeus monodon* (ALFARO-MONTOYA; BRAGA; UMAÑA-CASTRO, 2019).

O *L. vannamei* é uma espécie cultivada predominantemente no ocidente e responde por 80% da produção, representando a espécie de maior cultivo (ZHU et al., 2021). Entretanto, o processamento industrial dessa espécie representa uma preocupação ambiental, uma vez que seu beneficiamento resulta em grande quantidade de resíduos biológicos, dependendo do nível de processamento, o volume gerado representa 50 a 70% do peso total da espécie (ARANCIBIA et al., 2014).

O termo “resíduo”, também conhecido como “subproduto”, engloba as porções consideradas não comestíveis obtidas a partir do processamento da espécie estudada em nível industrial (MARTI-QUIJAL et al., 2020; SHANTHI; PREMALATHA; ANANTHARAMAN, 2021). Estima-se que milhões de toneladas de resíduos e subprodutos são produzidos anualmente pelas indústrias de carcinicultura, o que inclui cabeça, vísceras, cefalotórax e carapaças (SACHINDRA; BHASKAR, 2008).

De uma forma geral, esses resíduos marinhos são considerados matérias-primas de alta qualidade e baixo valor comercial, que, em sua maioria, são descartados em aterros ou são submetidos a processos de incineração, causando problemas ambientais, incluindo poluição de águas subterrâneas e emissões de gases tóxicos (SARKER, 2020). Como resultado, estudos buscam razões econômicas e nutricionais para considerar a recuperação desses compostos (NIKOO et al., 2021).

Os subprodutos marinhos, sejam eles de origem aquícola ou não, são fonte de diversos compostos de alto valor agregado, como polissacarídeos, proteínas, lipídios ou pigmentos que apresentam elevado potencial de aplicação em produtos destinados ao consumo humano.

As quantidades de cada constituinte dependem das fontes e das condições de processamento, e as pesquisas têm se concentrado na melhoria do aproveitamento dos resíduos para obter um maior rendimento de extração de cada constituinte (NIRMAL et al., 2020). Potencialmente, os subprodutos do camarão podem ser utilizados como uma fonte de quitina, de proteínas, de carotenoides, entre outros (MATHEW et al., 2020).

Assim, a exploração desses materiais pela indústria de alimentos constitui uma abordagem viável, seja pelo ponto de vista econômico, social ou ambiental. Além da biocompatibilidade, esses biopolímeros são comestíveis e também podem ser considerados como compostos ativos (por exemplo, com propriedades antimicrobianas ou antioxidantes etc.), contribuindo, assim, para o desenvolvimento de alimentos de alto valor agregado (CHIRALT et al., 2020).

Diante disso, o presente capítulo tem como objetivo apresentar as principais biomoléculas encontradas nos subprodutos derivados do processamento do camarão, revisar os métodos atuais de extração, bem como suas potenciais aplicações na indústria de alimentos.

2. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAMARÃO

2.1 Quitina e seus derivados

A quitina é um dos polímeros naturais de maior abundância no planeta Terra, sendo superada apenas pela celulose. A quitina é o principal constituinte estrutural presente no exoesqueleto de crustáceos, de insetos e nas paredes celulares de fungos e de leveduras (PRIYADARSHI; RHIM, 2020). Os resíduos do processamento da indústria pesqueira são a principal fonte industrial de biomassa para a produção de quitina

(GUTIÉRREZ, 2017).

A quitosana é um polissacarídeo derivado do processo de desacetilação parcial da quitina por meio de métodos alcalinos, enzimáticos ou ainda pela associação de ambos (KHAN; ALAMRY, 2021). É relativamente insolúvel em água e em soluções alcalinas, mas possui solubilidade moderada em soluções ácidas com pH inferior a 6,0 (ROCHA; SOUZA; PRENTICE, 2018). Quimicamente, é um polímero catiônico de cadeia linear formado por monômeros de D-glicosamina ligadas a β -(1-4) de N-acetil-D-glicosamina (PRANOTO; RAKSHIT; SALOKHE, 2005), que apresenta composição variável de acordo com o grau de desacetilação (GD).

O GD indica o número de grupos amina que substituíram os grupos acetamida durante o processo de conversão da quitina em quitosana. Geralmente, um produto com um GD superior a 70% é considerado como quitosana (LI; DUNN; GRANDMAISON, 1992). De acordo Priyadarshi e Rhim (2020), a quitosana possui um grande diferencial quando comparada aos demais polissacarídeos, devido à presença de grupos amina, que são formados durante o processo de desacetilação da quitina. O grupo amino confere propriedades funcionais, uma vez que esse grupo carregado negativamente absorve prótons e desenvolve uma carga positiva, fornecendo à quitosana várias propriedades químicas, físicas e biológicas. Alguns autores já comprovaram que a quitosana possui elevada atividade antimicrobiana contra um amplo espectro de micro-organismos, incluindo bactérias, leveduras e bolores (FASCIGLIONE et al., 2020; GUTIÉRREZ, 2017; PRANOTO; RAKSHIT; SALOKHE, 2005).

A elevada atividade antimicrobiana da quitosana vem sendo reportada, apesar de não existir um mecanismo de ação totalmente elucidado. A hipótese

mais viável é que a mudança na permeabilidade celular ocorre devido às interações entre o polissacarídeo carregado positivamente e a membrana carregada negativamente. O mecanismo subjacente à inibição do crescimento bacteriano deve ser que o polímero carregado positivamente se combina com componentes aniônicos na superfície celular, causando alterações na célula (YOUNES; RINAUDO, 2015).

Jadhav; Diwan (2018) verificaram que a quitosana extraída e isolada a partir de resíduos de casca de camarão apresentou elevado potencial antimicrobiano frente a diferentes micro-organismos patogênicos. A quitosana obtida foi eficaz contra vários patógenos humanos, incluindo *E. coli*, *P. vulgaris*, *S. flexneri*, *S. typhi* e *E. faecalis*. El-diasty; Nesreen; Hoda, (2012) adicionaram soluções de 0,5% e 1,0% de quitosana em amostras de queijo. As amostras foram embaladas em sacos plásticos, armazenadas para posterior avaliação sensorial e microbiológica. Os resultados indicaram que a aplicação de quitosana nos queijos melhora a qualidade microbiológica e prolonga o prazo de validade, podendo o polímero ser uma alternativa aos aditivos sintéticos.

Outros estudos também já reportaram a quitosana como um composto com elevado poder antioxidante (PANDA et al., 2019). A oxidação lipídica é uma reação de deterioração que ocorre em produtos alimentícios, provocando sabores estranhos e a formação de compostos químicos indesejáveis para a saúde. A fim de minimizar esse risco, alguns antioxidantes sintéticos, tais como butil hidroxianisol (BHA), butil hidroxitolueno (BHT), butil hidroxiquinona (TBHQ), são adicionados para retardar os processos oxidativos. No entanto, esses antioxidantes oferecem riscos potenciais à saúde e seu uso foi restrito em alguns países, resultando em um grande interesse crescente em antioxidantes naturais

(YOUNES; RINAUDO, 2015). O uso da quitosana como agente antioxidante depende da sua massa molar, concentração e viscosidade (DARWESH et al., 2018). Khare; Blswas; Sahoo (2014) relataram que a estabilidade oxidativa do macarrão de frango é significativamente aumentada (ao nível de significância de 5%) pela adição de quitosana em 30%. Hu et al. (2019) mostraram que a quitosana usada em concentrações de 1 a 10 g/L foi um conservante eficaz para carnes ou produtos derivados.

Além das bioatividades apresentadas pela quitosana, as características físico-químicas específicas, biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixa toxicidade e custo relativamente baixo, por ser um subproduto de um material renovável, tornam esse polímero versátil, podendo ser utilizado para uma ampla gama de aplicações na indústria de alimentos (HAMED; OZOGUL; REGENSTEIN, 2016).

Com base na sua estrutura química rígida, a quitosana vem sendo estudada para o desenvolvimento de microcápsulas contendo compostos ativos. Além disso, a quitosana é sensível às variações de pH, tornando os compostos à base desse polímero com potencial aplicação em tecnologias de liberação controlada. Diferentes compostos ativos já foram microencapsulados em quitosana, como óleos essenciais, pigmentos e flavonoides, entre outros (RAZA et al., 2020). Bento et al. (2020) estudaram a aplicação de nanoemulsões de quitosana carregadas com óleo essencial de laranja doce em sucos de laranja e de maçã. As nanoemulsões permaneceram estáveis por pelo menos 3 meses a 4 ± 2 °C e mostraram efeitos bactericidas frente a diferentes micro-organismos, garantindo uma maior vida útil aos sucos de frutas.

A quitosana também possui amplo potencial para o desenvolvimento de embalagens aplicadas na

preservação de alimentos. Essas embalagens de quitosana também denominadas como filmes de quitosana geralmente são produzidas pelas técnicas de *casting*, podendo também ser obtidas por extrusão, na forma de cobertura comestível ou bicamada. Esses filmes geralmente são destinados para prolongar a vida útil dos alimentos, devido às suas propriedades antioxidantes a sua elevada atividade antimicrobiana (KUMAR; MUKHERJEE; DUTTA, 2020).

Gomes et al. (2020) avaliaram o efeito de revestimentos comestíveis com quitosana e extratos fenólicos de frutas sobre parâmetros físico-químicos da qualidade pós-colheita do mamão. Os revestimentos apresentaram resultados promissores e prolongaram a vida útil das amostras. Hossain; Iqbal (2016) estudaram o desenvolvimento de filmes à base de quitosana. A biomolécula foi extraída a partir do cefalotórax do camarão e foi utilizada na elaboração de embalagens visando à redução de perdas pós-colheita e ao aumento da vida útil de bananas. As frutas foram revestidas com 0,5%, 0,7% e 1% de quitosana, respectivamente. Após aplicação dos tratamentos, as bananas foram armazenadas em $26 \pm 20^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR. Os resultados encontrados no trabalho evidenciaram que o revestimento contendo 1% de quitosana foi a formulação mais adequada para prolongar a vida útil e a qualidade da fruta durante amadurecimento e armazenamento. Kim et al. (2011) verificaram que filmes preparados com diferentes viscosidades de quitosana podem inibir efetivamente o crescimento de *Listeria monocytogenes*, de *Escherichia coli* e de *Salmonella typhimurium*.

Em geral, os filmes de quitosana vêm ganhando espaço em comparação aos filmes sintéticos devido ao seu custo, permeabilidade seletiva a gases e boas propriedades mecânicas (PRIYADARSHI; RHIM, 2020).

Entretanto, os filmes de quitosana apresentam algumas limitações que restringem sua aplicação em embalagens de alimentos, como a alta sensibilidade à água, uma vez que um controle eficaz da transferência de umidade é uma propriedade desejável para a maioria dos alimentos, especialmente em ambientes úmidos (ELSABEE; ABDON, 2013). Diante disso, várias estratégias estão sendo desenvolvidas para melhorar as propriedades dos filmes de quitosana, incluindo modificação química, uso da nanotecnologia, incorporação de outros compostos capazes de reforçar a matriz da embalagem, entre outros (WANG; QIAN; DING, 2018). Haghghi et al. (2020) reportam que os filmes de quitosana podem substituir as embalagens sintéticas para aplicação em alimentos, apesar das baixas propriedades e da alta sensibilidade à água. Os autores acreditam que os filmes de quitosana podem ter suas propriedades melhoradas pela adição de outros polímeros sejam eles naturais ou sintéticos, tornando os filmes adequados para usos específicos.

2.2 Proteínas

As proteínas são biomoléculas complexas amplamente disponíveis nos subprodutos do processamento do camarão. De acordo com Kannan et al. (2011), o conteúdo de proteína bruta encontrado nessa biomassa pode atingir índices na ordem de até 45%, sendo essa biomassa geralmente descartada ou considerada de baixo valor comercial. Além dos elevados índices proteicos, os resíduos de camarão são uma fonte rica de aminoácidos essenciais e não essenciais.

A obtenção de proteínas marinhas pode ser realizada através de processo enzimático ou de processo químico pela mudança de pH. A extração por precipitação isoelétrica vem sendo explorada e apontada como um

método eficaz para garantir bons rendimentos proteicos. Esse método baseia-se na solubilidade induzida das proteínas pela variação de pH, com separação simultânea de lipídios e remoção de materiais não destinados ao consumo humano (ÁLVAREZ et al., 2018). Abreu et al. (2019) estudaram a utilização do processo de mudança de pH para recuperar as proteínas presentes nos subprodutos do camarão branco. O concentrado proteico obtido apresentou 73,1% de proteína, solubilidade proteica superior a 50% em pH 8, capacidade de retenção de óleo e água de 8,5 e 2,5 mL/g de proteína, respectivamente. Os autores relatam que o concentrado proteico de camarão obtido apresentou potencial para ser incluído como ingrediente em formulações de alimentos.

Além da técnica de precipitação e conseqüentemente concentração de biomassa mencionada, a hidrólise de proteínas aquáticas tem recebido atenção para valorização dos subprodutos do camarão. Estruturalmente, as proteínas são representadas por sequências de vinte diferentes aminoácidos que possuem a capacidade de formar variadas ligações intermoleculares que resultam em propriedades interessantes para a tecnologia de alimentos (ROCHA et al., 2013). O processo de hidrólise consiste em clivar essas ligações peptídicas em diferentes sequências e tamanhos de aminoácidos, conferindo propriedades diferenciadas quando comparadas com a estrutura intacta da proteína de origem (LATORRES et al., 2018).

O processo de hidrólise pode ser realizado mediante ensaios químicos, fermentativos e enzimáticos. Entretanto, a hidrólise enzimática realizada pela ação de enzimas endógenas ou exógenas ganha destaque frente aos demais processos (HALIM; YUSOF; SARBON, 2016). A hidrólise enzimática realizada pela ação de enzimas

endógenas, ou seja, pelas enzimas presentes no sistema digestivo da espécie, geralmente aumenta o tempo de hidrólise e resulta em um processo de difícil padronização, uma vez que essas enzimas dependem de muitos fatores, incluindo idade, estação, sexo, ambiente, dieta etc. (OZOGUL et al., 2021). Nesse sentido, a utilização de enzimas exógenas apresenta vantagens, incluindo alta seletividade, especificidade sobre quebra da ligação peptídica, condições de reação controlada e produtos de hidrólise com propriedades definidas. Quando os resíduos do camarão são hidrolisados com enzimas proteolíticas, mais de 70% da proteína pode ser recuperada como um hidrolisado (GILDBERG et al., 2011).

A hidrólise é um processo escalonável e fornece hidrolisados proteicos altamente nutritivos. Diferentes estudos têm mostrado que a hidrólise de proteínas é eficaz para isolar proteínas solúveis dos subprodutos do camarão. Além disso, esse processo possibilita a obtenção de peptídeos com propriedades nutricionais e funcionais interessantes (NIRMAL et al., 2020). Esses compostos bioativos podem modular beneficemente os processos fisiológicos no corpo e prevenir diferentes doenças (LATORRES et al., 2021). Resíduos de camarão submetidos à hidrólise enzimática já foram identificados como uma importante fonte de peptídeos com elevado poder antioxidante e anti-hipertensivo (CHEUNG; NG; WONG, 2015; DEY; DORA, 2014).

Por outro lado, os hidrolisados proteicos de subprodutos de camarão branco podem ser utilizados em formulações de alimentos visando ao aumento da vida útil do produto ou conferindo melhores propriedades. Karimi et al. (2020) demonstraram que o hidrolisado proteico isolado ou combinado com epigallocatequina-galato, um tipo de catequina natural, pode prevenir a deterioração de pães de trigo. O tratamento combinado com os dois

compostos aumentou o volume específico do pão, enquanto diminuiu a dureza, a coesão e a mastigabilidade quando comparado com o controle. Além disso, a combinação dos compostos também aumentou a vida útil do produto em 2 dias à temperatura ambiente.

Dey; Dora (2014) ressaltam o potencial antioxidante apresentado por hidrolisados proteicos de resíduos de camarão branco obtidos via hidrólise enzimática com Alcalase. Os resultados encontrados indicaram que as amostras apresentaram um comportamento dose dependente, em que, de maneira geral, um acréscimo na concentração permitiu uma maior capacidade antioxidante. Além disso, o hidrolisado proteico na concentração de 5 mg/mL retardou significativamente o processo de oxidação lipídica e manteve a qualidade de filés de corvina durante um armazenamento de 10 dias a 4°C.

Ghorbel-Bellaaj et al. (2018) utilizaram um processo fermentativo com *Pseudomonas aeruginosa* para obter hidrolisados proteicos de resíduos de camarão. Os resultados do estudo indicaram que o hidrolisado obtido apresentou potencial antioxidante e funcional em termos de solubilidade, capacidade emulsificante e de retenção de óleo. Além disso, os autores ressaltam que os hidrolisados estudados surgem como um aditivo alimentar promissor devido às propriedades reportadas.

Da mesma forma que a quitosana, os hidrolisados proteicos estão sendo utilizados como uma importante estratégia no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis destinadas à indústria de alimentos. Arancibia et al. (2015) desenvolveram uma película comestível usando quitosana e concentrado proteico-lipídico obtido a partir de resíduos de processamento de camarão. Os autores salientaram que a adição do concentrado proteico de camarão causou mudanças

significativas na estrutura do filme e no conteúdo de água, levando a um reforço significativo da matriz polimérica de quitosana.

2.3 Carotenoides

Os carotenoides representam um importante grupo de pigmentos naturais amplamente distribuídos nos resíduos de camarão, que conferem à espécie sua coloração rosa-alaranjada (OZOGUL et al., 2021). Essas biomoléculas são divididas em duas classes principais, a primeira classe inclui hidrocarbonetos insaturados com pigmentação amarela e vermelha. A segunda classe são os derivados oxigenados chamados de xantofilas (PRAMEELA et al., 2017). A astaxantina (3, 3'-dihidroxi- β -caroteno-4, 4'-Diona) é o carotenoide de xantofila predominante em resíduos do camarão, sendo principalmente encontrado na carapaça e nos órgãos internos do crustáceo (KETNAWA et al., 2016). Os teores de astaxantina encontrados nos resíduos do camarão estão condicionados ao habitat e à dieta do crustáceo (GULZAR et al., 2020).

A obtenção de astaxantina configura uma alternativa rentável de valorização dos subprodutos do processamento do camarão. Do ponto de vista comercial, representa o carotenoide de maior volume de extração, podendo alcançar valores aproximados de 7.000 US\$/kg (ROUTRAY et al., 2019).

A astaxantina é um composto lipofílico que pode ser extraída dos resíduos de camarão a partir do uso de solventes, ácidos, métodos assistidos por micro-ondas e enzimáticos (AMBATI et al., 2014). A escolha do método de extração de carotenoides a partir de matrizes alimentares é fundamental, devido à variação de polaridade apresentada por cada composto e à presença

de várias barreiras físicas e químicas nas matrizes de extração (SAINI; KEUM, 2018). Dave et al. (2020) investigaram a eficiência de diferentes tipos de solventes orgânicos na extração de astaxantina de resíduos de camarão (*Pandalus borealis*). No estudo, três tipos de solventes orgânicos (hexano/isopropanol, acetona e metanol) foram selecionados e sua eficiência na extração da astaxantina foi comparada. Os resultados indicaram que o uso de solvente moderadamente polar (acetona) ou combinação de solventes (hexano/isopropanol, 3:2 (v:v)) resultaram em maior rendimento de astaxantina (73,56 µg/g, base úmida) em comparação ao uso de metanol (3,50 µg/g, base úmida), que possui polaridade mais forte.

A astaxantina é reportada como um composto de elevado poder antioxidante, uma vez que exibe potencial 10 vezes maior do que outros carotenoides, como cantaxantina, zeaxantina e luteína e 100 vezes maior do que α -tocoferol (GULZAR; BENJAKUL, 2019). A astaxantina apresenta elevado poder antioxidante, uma vez que a sua estrutura apresenta ligações duplas conjugadas, grupos hidroxila e ceto. Esse tipo de ligação dupla conjugada atua como um forte antioxidante, doando os elétrons e reagindo com os radicais livres para convertê-los em um produto mais estável e encerrar a reação em cadeia dos radicais livres em uma ampla variedade de organismos vivos (AMBATI et al., 2014).

Sowmya; Sachindra (2012) reportam em seu estudo que tanto o extrato bruto de carotenoides, como as frações ricas em astaxantina, obtidas a partir de resíduos de camarão, apresentam elevada atividade antioxidante, devido à eliminação de radicais, atividade redutora e quelante de metais, comparável aos antioxidantes conhecidos α -tocoferol e TBHQ. Além disso, a astaxantina mostrou potencial terapêutico para prevenir uma

variedade de doenças, como inflamação, diabetes, disfunção hepática, doenças cardiovasculares, cânceres, doenças neurodegenerativas, distúrbios gastrointestinais, problemas oculares, entre outros (PRAMEELA et al., 2017). Assim, a astaxantina tornou-se a biomolécula mais valiosa com relação ao composto sintético, tanto em termos fisiológicos e/ou econômicos, que pode ser obtida dos resíduos de camarão (GULZAR et al., 2020).

Devido a esses benefícios reportados, a astaxantina vem sendo explorada pela indústria e adicionada a uma variedade de produtos de mercado, como alimentos e bebidas, suplementos nutricionais, biomédicos e cosméticos (DAVE et al., 2020). A astaxantina obtida de subprodutos do processamento de camarão foi adicionada a bifes de frango marinados como um antioxidante natural, e as amostras foram armazenadas por 7 dias a 4 °C. Os resultados encontrados no estudo mostram que com 10 mg de astaxantina/kg de bife de frango, a oxidação lipídica durante o armazenamento foi mínima e a qualidade microbiológica das amostras foi preservada. Indicando a adição do carotenoide natural pode minimizar a oxidação lipídica de produtos cárneos e melhorar a estabilidade microbiológica durante a formulação e armazenamento do produto (ABDELMALEK et al., 2016).

Al-tarifi et al. (2020) pesquisaram o efeito da astaxantina sobre a qualidade de diferentes formulações de biscoitos. Os resultados encontrados no estudo demonstraram o potencial da astaxantina natural para melhorar a atividade funcional e biológica dos biscoitos. A combinação de diferentes concentrações de astaxantina com farinha pode aumentar significativamente as propriedades físicas dos biscoitos, incluindo propriedades de cor e de textura, além de aumentar significativamente a estabilidade dos biscoitos.

Alguns autores reportam que a solubilização da astaxantina em sistemas de nanodispersão representa uma abordagem promissora para incorporar essa biomolécula em formulações de alimentos, uma vez que os carotenoides são muito sensíveis ao calor, ao oxigênio e à luz. Para garantir a eficácia do composto, os carotenoides devem permanecer estáveis quando adicionados às formulações dos alimentos e, portanto, os sistemas de nanodispersão parecem ser úteis devido à sua alta estabilidade, solubilidade em água e alta biodisponibilidade, além de sua facilidade de processamento (ANARJAN; TAN, 2013).

Outras técnicas de encapsulação estão sendo abordadas, com o objetivo de preservar o potencial ativo da astaxantina para aplicação em alimentos. Shen; Quek (2014) estudaram a microencapsulação da astaxantina por *spray drying* e avaliaram a estabilidade do produto. A secagem por *spray* tem sido relatada como uma técnica eficiente para microencapsulação de ingredientes na indústria de alimentos, incluindo sabor, corante, antioxidante, óleos essenciais, entre outros. Os resultados encontrados no estudo demonstraram que a técnica de encapsulação utilizada pode ser aplicada para transformar as emulsões estáveis de astaxantina em pós com propriedades interessantes para a indústria de alimentos, incluindo atividade de água, morfologia de superfície e estabilidade oxidativa.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A valorização dos subprodutos do camarão simboliza uma nova tendência para a indústria da carcinicultura, a julgar pelas informações reportadas no presente capítulo. Diferentes biomoléculas podem ser extraídas da biomassa residual da indústria em questão,

seja a partir de métodos físicos, químicos ou enzimáticos. E as aplicações dessas biomoléculas na indústria de alimentos ainda são tímidas, mas apresentam um futuro promissor devido aos resultados encontrados pelas pesquisas desenvolvidas.

4. REFERÊNCIAS

ABDELMALEK, B. E.; SILA, A.; GHLISSI, Z.; TAKTAK, M. A.; AYADI, M. A.; BOUGATEF, A. The Influence of Natural Astaxanthin on the Formulation and Storage of Marinated Chicken Steaks. **Journal of Food Biochemistry**, v. 40, n. 4, p. 393–403, 2016.

ABREU, A. D. S.; DE SOUZA, M. M.; DA ROCHA, M.; WASIELESKY, W. F.; PRENTICE, C. Functional Properties of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) By-Products Protein Recovered by Isoelectric Solubilization/Precipitation. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 6, p. 649–657, 2019.

AL-TARIFI, B. Y.; MAHMOOD, A.; ASSAW, S.; SHEIKH, H. I. Application of astaxanthin and its lipid stability in bakery product. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 8, n. 3, p. 962–974, 2020.

ALFARO-MONTOYA, J.; BRAGA, A.; UMAÑA-CASTRO, R. Research frontiers in penaeid shrimp reproduction: Future trends to improve commercial production. **Aquaculture**, v. 503, n. October 2018, p. 70–87, 2019.

ÁLVAREZ, C.; LÉLU, P.; LYNCH, S. A.; TIWARI, B. K. Optimised protein recovery from mackerel whole fish by using sequential acid/alkaline isoelectric solubilization precipitation (ISP) extraction assisted by ultrasound. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 210–216, 2018.

AMBATI, R. R.; MOI, P. S.; RAVI, S.; ASWATHANARAYANA, R. G. Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications - A review. **Marine**

Drugs, v. 12, n. 1, p. 128–152, 2014.

ANARJAN, N.; TAN, C. P. Chemical stability of astaxanthin nanodispersions in orange juice and skimmed milk as model food systems. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1–4, p. 527–531, 2013.

ARANCIBIA, M. Y.; ALEMÁN, A.; CALVO, M. M.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Antimicrobial and antioxidant chitosan solutions enriched with active shrimp (*Litopenaeus vannamei*) waste materials. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 710–717, 2014.

ARANCIBIA, M. Y.; ALEMÁN, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Development of active films of chitosan isolated by mild extraction with added protein concentrate from shrimp waste. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 91–99, 2015.

BENTO, R.; PAGÁN, E.; BERDEJO, D.; DE CARVALHO, R. J.; GARCÍA-EMBED, S.; MAGGI, F.; MAGNANI, M.; DE SOUZA, E. L.; GARCÍA-GONZALO, D.; PAGÁN, R. Chitosan nanoemulsions of cold-pressed orange essential oil to preserve fruit juices. **International Journal of Food Microbiology**, v. 331, n. June, p. 108786, 2020.

CHEUNG, R. C. F.; NG, T. B.; WONG, J. H. **Marine peptides: Bioactivities and applications**. [s.l.: s.n.]. v. 13

CHIRALT, A.; MENZEL, C.; HERNANDEZ-GARCÍA, E.; COLLAZO, S.; GONZALEZ-MARTINEZ, C. Use of by-products in edible coatings and biodegradable packaging materials for food preservation. **Sustainability of the Food System: Sovereignty, Waste, and Nutrients Bioavailability**, p. 101–127, 2020.

DARWESH, O. M.; SULTAN, Y. Y.; SEIF, M. M.; MARREZ, D. A. Bio-evaluation of crustacean and fungal nano-chitosan for applying as food ingredient. **Toxicology Reports**, v. 5, n. March, p. 348–356, 2018.

DAVE, D.; LIU, Y.; POHLING, J.; TRENHOLM, S.; MURPHY, W. Astaxanthin recovery from Atlantic shrimp (*Pandalus*

borealis) processing materials. **Bioresource Technology Reports**, v. 11, n. July, p. 100535, 2020.

DEY, S. S.; DORA, K. C. Antioxidative activity of protein hydrolysate produced by alcalase hydrolysis from shrimp waste (*Penaeus monodon* and *Penaeus indicus*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 449–457, 2014.

EL-DIASTY, E. M. .; NESREEN, Z. E.; HODA, A. M. A. Using of Chitosan as Antifungal Agent in Kariesh Cheese. **New York Science Journal**, v. 5, n. 1, p. 46–50, 2012.

ELSABEE, M. Z.; ABDOU, E. S. Chitosan based edible films and coatings: A review. **Materials Science and Engineering C**, v. 33, n. 4, p. 1819–1841, 2013.

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. In brief. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. In brief**, 2020.

FASCIGLIONE, G.; GOÑI, M. G.; YOMMI, A. K.; PEREZ-BRAVO, J. J.; ORTUETA, R.; SCAMPINI, A. Revaluation of waste from fi shing industry through generation of chitosan coatings to improve quality and extend shelf-life of minimally processed lettuce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 170, n. August, 2020.

GHORBEL-BELLAAJ, O.; MAALEJ, H.; NASRI, M.; JELLOULI, K. Fermented Shrimp Waste Hydrolysates: Promising Source of Functional Molecules with Antioxidant Properties. **Journal of Culinary Science and Technology**, v. 16, n. 4, p. 357–377, 2018.

GILDBERG, A.; ARNESEN, J. A.; SÆTHER, B. S.; RAUØ, J.; STENBERG, E. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity in a hydrolysate of proteins from Northern shrimp (*Pandalus borealis*) and identification of two novel inhibitory tripeptides. **Process Biochemistry**, v. 46, n. 11, p. 2205–2209, 2011.

GOMES, A. C. A.; DA COSTA LIMA, M.; DE OLIVEIRA, K. Á. R.; DOS SANTOS LIMA, M.; MAGNANI, M.; CÂMARA, M. P.

S.; DE SOUZA, E. L. Coatings with chitosan and phenolic-rich extract from acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) or jaboticaba (*Plinia jaboticaba* (Vell.) Berg) processing by-product to control rot caused by *Lasiodiplodia* spp. in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. **International Journal of Food Microbiology**, v. 331, n. May, p. 108694, 2020.

GONZALEZ-SILVERA, D.; IZQUIERDO-GOMEZ, D.; SANCHEZ-JEREZ, P.; ELBAL, M. T.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, J. A.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, F. J. Influence of aquaculture waste on fatty acid profiles and gonad maturation of wild fish aggregations at fish farms. **Marine Environmental Research**, v. 156, n. October 2019, 2020.

GULZAR, S.; RAJU, N.; CHANDRAGIRI NAGARAJARAO, R.; BENJAKUL, S. Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application- A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. December 2019, p. 307–319, 2020.

GULZAR, S.; BENJAKUL, S. Effect of pre-treatments on yield and properties of lipid extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ultrasonic assisted process. **Lwt**, v. 100, n. August 2018, p. 106–113, 2019.

GUTIÉRREZ, T. J. Section II CHITOSAN IN TEXTILE AND Chitosan Applications for the Food Industry. 2017.

HAGHIGHI, H.; LICCIARDELLO, F.; FAVA, P.; SIESLER, H. W.; PULVIRENTI, A. Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, n. July, p. 100551, 2020.

HALIM, N. R. A.; YUSOF, H. M.; SARBON, N. M. Functional and bioactive properties of fish protein hydrolysates and peptides: A comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 51, p. 24–33, 2016.

HAMED, I.; OZOGUL, F.; REGENSTEIN, J. M. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 40–50, 2016.

- HOSSAIN, M. S.; IQBAL, A. Effect of shrimp chitosan coating on postharvest quality of banana (*Musa sapientum* L.) fruits. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 1, p. 277–283, 2016.
- HU, Z. Y.; BALAY, D.; HU, Y.; MCMULLEN, L. M.; GÄNZLE, M. G. Effect of chitosan, and bacteriocin – Producing *Carnobacterium maltaromaticum* on survival of *Escherichia coli* and *Salmonella Typhimurium* on beef. **International Journal of Food Microbiology**, v. 290, n. July 2018, p. 68–75, 2019.
- JADHAV, A. B.; DIWAN, A. D. Studies on antimicrobial activity and physicochemical properties of the chitin and chitosan isolated from shrimp shell waste. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, v. 47, n. 3, p. 674–680, 2018.
- KANNAN, A.; HETTIARACHCHY, N. S.; MARSHALL, M.; RAGHAVAN, S.; KRISTINSSON, H. Shrimp shell peptide hydrolysates inhibit human cancer cell proliferation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 10, p. 1920–1924, 2011.
- KARIMI, N.; NIKOO, M.; AHMADI GAVLIGHI, H.; PIRI GHESHLAGHI, S.; REGENSTEIN, J. M.; XU, X. Effect of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) protein hydrolysates (SPH) and (–)-epigallocatechin gallate (EGCG) on sourdough and bread quality. **Lwt**, v. 131, n. June, p. 109800, 2020.
- KETNAWA, S.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, O.; GÓMEZ-ESTACA, J.; DEL CARMEN GÓMEZ-GUILLÉN, M.; BENJAKUL, S.; RAWDKUEN, S. Obtaining of functional components from cooked shrimp (*Penaeus vannamei*) by enzymatic hydrolysis. **Food Bioscience**, v. 15, p. 55–63, 2016.
- KHAN, A.; ALAMRY, K. A. Recent advances of emerging green chitosan-based biomaterials with potential biomedical applications : A review. **Carbohydrate Research**, v. 506, n. June 2020, p. 108368, 2021.
- KHARE, A. K.; BISWAS, A. K.; SAHOO, J. Comparison study of chitosan, EDTA, eugenol and peppermint oil for antioxidant

and antimicrobial potentials in chicken noodles and their effect on colour and oxidative stability at ambient temperature storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 286–293, 2014.

KIM, K. W.; MIN, B. J.; KIM, Y. T.; KIMMEL, R. M.; COOKSEY, K.; PARK, S. I. Antimicrobial activity against foodborne pathogens of chitosan biopolymer films of different molecular weights. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 565–569, 2011.

KUMAR, S.; MUKHERJEE, A.; DUTTA, J. Trends in Food Science & Technology Chitosan based nanocomposite films and coatings : Emerging antimicrobial food packaging alternatives. v. 97, n. December 2019, p. 196–209, 2020.

LATORRES, J. M.; RIOS, D. G.; SAGGIOMO, G.; WASIELESKY, W.; PRENTICE-HERNANDEZ, C. Functional and antioxidant properties of protein hydrolysates obtained from white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 1–9, 2018.

LATORRES, J. M.; AQUINO, S.; DA ROCHA, M.; WASIELESKY, W.; MARTINS, V. G.; PRENTICE, C. Nanoencapsulation of white shrimp peptides in liposomes: Characterization, stability, and influence on bioactive properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 7, 2021.

LI, Q.; DUNN, E. T.; GRANDMAISON, E. W. Compatible Polymers. **Journal of Bioactive and Compatible Polymers**, v. 7, p. 370–395, 1992.

MARTI-QUIJAL, F. J.; REMIZE, F.; MECA, G.; FERRER, E.; RUIZ, M. J.; BARBA, F. J. Fermentation in fish and by-products processing: an overview of current research and future prospects. **Current Opinion in Food Science**, v. 31, p. 9–16, 2020.

MATHEW, G. M.; MATHEW, D. C.; SUKUMARAN, R. K.; SINDHU, R.; HUANG, C. C.; BINOD, P.; SIROHI, R.; KIM, S. H.; PANDEY, A. Sustainable and eco-friendly strategies for shrimp shell valorization. **Environmental Pollution**, v. 267, p.

115656, 2020.

NIKOO, M.; XU, X.; REGENSTEIN, J. M.; NOORI, F. Autolysis of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) processing by-products: Enzymatic activities, lipid and protein oxidation, and antioxidant activity of hydrolysates. **Food Bioscience**, v. 39, n. December 2020, p. 100844, 2021.

NIRMAL, N. P.; SANTIVARANGKNA, C.; RAJPUT, M. S.; BENJAKUL, S. Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. **Trends in Food Science and Technology**, v. 103, n. May, p. 20–35, 2020.

OZOGUL, F.; CAGALJ, M.; ŠIMAT, V.; OZOGUL, Y.; TKACZEWSKA, J.; HASSOUN, A.; KADDOUR, A. A.; KULEY, E.; RATHOD, N. B.; PHADKE, G. G. Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 116, n. June, p. 559–582, 2021.

PANDA, P. K.; YANG, J.; CHANG, Y.; SU, W. Modification of different molecular weights of chitosan by p-Coumaric acid : Preparation , characterization and effect of molecular weight on its water solubility and antioxidant property. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 136, p. 661–667, 2019.

PRAMEELA, K.; VENKATESH, K.; IMMANDI, S. B.; KASTURI, A. P. K.; RAMA KRISHNA, C.; MURALI MOHAN, C. Next generation nutraceutical from shrimp waste: The convergence of applications with extraction methods. **Food Chemistry**, v. 237, p. 121–132, 2017.

PRANOTO, Y.; RAKSHIT, S. K.; SALOKHE, V. M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, n. 8, p. 859–865, 2005.

PRIYADARSHI, R.; RHIM, J. W. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 62, n. March, p. 102346, 2020.

RAZA, Z. A.; KHALIL, S.; AYUB, A.; BANAT, I. M. Recent developments in chitosan encapsulation of various active ingredients for multifunctional applications. **Carbohydrate Research**, v. 492, n. October 2019, p. 108004, 2020.

ROCHA, M. DA; LOIKO, M. R.; GAUTÉRIO, G. V.; TONDO, E. C.; PRENTICE, C. Influence of heating, protein and glycerol concentrations of film-forming solution on the film properties of Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) protein isolate. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 3, p. 666–673, 2013.

ROCHA, M.; SOUZA, M. M. DE; PRENTICE, C. **Biodegradable Films : An Alternative Food Packaging**. [s.l.] Elsevier Inc., 2018.

ROUTRAY, W.; DAVE, D.; CHEEMA, S. K.; RAMAKRISHNAN, V. V.; POHLING, J. Biorefinery approach and environment-friendly extraction for sustainable production of astaxanthin from marine wastes. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 39, n. 4, p. 469–488, 2019.

SACHINDRA, N. M.; BHASKAR, N. In vitro antioxidant activity of liquor from fermented shrimp biowaste. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 9013–9016, 2008.

SAINI, R. K.; KEUM, Y. S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. **Food Chemistry**, v. 240, n. April 2017, p. 90–103, 2018.

SARKER, S. By-products of fish-oil refinery as potential substrates for biogas production in Norway: A preliminary study. **Results in Engineering**, v. 6, n. February, p. 100137, 2020.

SHANTHI, G.; PREMALATHA, M.; ANANTHARAMAN, N. Potential utilization of fish waste for the sustainable production of microalgae rich in renewable protein and phycocyanin-*Arthrospira platensis*/Spirulina. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126106, 2021.

SHEN, Q.; QUEK, S. Y. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 165–171, 2014.

SHEN, Y.; MA, K.; YUE, G. H. Status, challenges and trends of aquaculture in Singapore. **Aquaculture**, v. 533, n. November 2020, p. 736210, 2021.

SOWMYA, R.; SACHINDRA, N. M. Evaluation of antioxidant activity of carotenoid extract from shrimp processing byproducts by in vitro assays and in membrane model system. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 308–314, 2012.

WANG, H.; QIAN, J.; DING, F. Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, p. 395–413, 2018.

YOUNES, I.; RINAUDO, M. **Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications** **Marine Drugs**, 2015.

ZHU, L.; ZHANG, S.; HOU, C.; LIANG, X.; SAIF DEHWAH, M. A.; TAN, B.; SHI, L. The T cell factor, Pangolin, from *Litopenaeus vannamei* play a positive role in the immune responses against white spot syndrome virus infection. **Developmental & Comparative Immunology**, p. 104041, 2021.

CAPÍTULO VI

APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS DE PESCADO PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA

Karina Lima

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial da pesca e aquicultura, em 2018, foi estimada em cerca de 179 milhões de toneladas, sendo 96,4 milhões de toneladas oriundas da produção pesqueira de captura e 82,1 milhões da aquicultura, ocupando um papel importante no setor de alimentação e para a economia. Do montante, aproximadamente 88% da produção (156 milhões de toneladas) foi utilizada para consumo humano direto e os 12% restantes destinados, por exemplo, para a produção de farinha e óleo de pescado (FAO, 2020).

O pescado pode ser comercializado bruto ou processado de diferentes formas, especialmente em filés ou pedaços de filés (OLSEN; TOPPE KARUNASAGAR, 2014), sendo cerca de 70% do mesmo processado antes da comercialização final (GHALY et al., 2013). Dependendo da espécie, o processamento industrial para gerar esses produtos apresenta rendimento de 30-50% (OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014). Além da quantidade significativa, visto que os subprodutos gerados pelo processamento podem representar até 70%

do pescado processado, sua composição como elevada carga microbiana, enzimática e suscetibilidade à rápida degradação envolve desafios técnicos e ambientais (FAO, 2020).

Tradicionalmente, os subprodutos eram descartados, utilizados para ração de animais, silagem ou fertilizantes (FAO, 2020). No entanto, uma quantidade considerável de biomoléculas, como proteínas, polissacarídeos, lipídios, pigmentos, vitaminas e minerais, estão presentes nos subprodutos, as quais podem ser recuperadas e reutilizadas como fontes de ingredientes de alta qualidade e valor biológico. Assim, aumentando a valorização, além de contribuir com a redução de problemas ambientais associados com o descarte (BRUNO et al., 2019; HARNEDY; FITZGERALD, 2012).

Nas últimas duas décadas, a melhor utilização dos subprodutos tem ganhado atenção, os quais podem servir para uma ampla gama de finalidades, incluindo o uso direto como alimento, transformados em outros produtos para consumo humano, na produção de biocombustíveis e biogás, produtos dietéticos e farmacêuticos, pigmentos naturais, dentre outras (FAO, 2020), com um crescente foco em produtos de valor agregado com características funcionais e bioativas.

Dentre os produtos de maior valor agregado, os subprodutos de pescado podem ser explorados para a produção de proteínas, hidrolisados proteicos, peptídeos bioativos, óleo, minerais, enzimas, colágeno e gelatina, quitina e quitosana (HALIM; YUSOF; SARBON, 2016; OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014; GHALY et al., 2013) com potencial para diversas aplicações.

2. SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DO PESCADO

O pescado possui alto valor nutritivo, sendo uma fonte de proteínas, ácidos graxos poli-insaturados, minerais e vitaminas (SILA; BOUGATEF, 2016). De maneira geral, a composição do pescado apresenta teores de proteína de 15-30%, lipídios de 0-25% e umidade de 50-80%, dependendo da espécie, sexo, idade, saúde, estado nutricional e época do ano (GHALY et al., 2013). As proteínas do pescado exibem alta qualidade nutricional, contendo uma composição completa de aminoácidos essenciais (SILA; BOUGATEF, 2016). Além disso, o pescado é uma fonte rica de ácidos graxos ômega-3, especialmente ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosaexaenoico (DHA) (AHMED et al., 2017).

O processamento do pescado abrange diversas etapas como classificação, descamação, lavagem, descabeçamento, evisceração, corte de barbatanas, separação de ossos de carne, filetagem, dentre outras (GHALY et al., 2013). Os subprodutos gerados pela industrialização incluem pele, cabeça, vísceras, aparas, barbatanas, escamas, carcaças e ossos (CHALAMAIAH et al., 2012; HALIM; YUSOF; SARBON, 2016; BRUNO et al., 2019). Em relação ao seu peso inteiro, a filetagem comercial normalmente obtém de 30 a 40% de filés e o restante de subprodutos (GEHRING et al., 2011); nessa etapa, cerca de 30 a 50% da carne fica aderida ao longo das costelas e da coluna vertebral (GHALY et al., 2013). Além disso, cabeças, carcaças e partes das vísceras apresentam conteúdo cárnico com proteínas e lipídios de alta qualidade (OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014).

De acordo com Gehring et al. (2011), com o aumento da população mundial, atender às necessidades

nutricionais de consumo de proteínas e lipídios oriundas de recursos aquáticos não será fácil futuramente, logo tecnologias de recuperação eficientes são necessárias para aumentar a recuperação e reduzir a quantidade de subprodutos do processamento, além da necessidade de aplicações adequadas para os materiais recuperados.

2.1 Proteínas de pescado

As proteínas miofibrilares, sarcoplasmáticas e do estroma são os três principais grupos presentes no pescado (GHALY et al., 2013; HARNEDY; FITZGERALD, 2012, MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015), as quais são encontradas em quantidades consideráveis nos subprodutos do processamento (HARNEDY; FITZGERALD, 2012). As proteínas miofibrilares são os constituintes majoritários, sendo compostas principalmente por actina e miosina, seguida das proteínas sarcoplasmáticas que consistem principalmente de enzimas, enquanto as proteínas do estroma são compostas predominantemente por colágeno e elastina (MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015; HARNEDY; FITZGERALD, 2012). Proteínas miofibrilares, sarcoplasmáticas, colágeno e aminoácidos estão presentes nas espinhas dorsais, cabeças e aparas, por exemplo (SASIDHARAN; VENUGOPAL, 2020).

As proteínas do pescado exibem alta qualidade nutricional, devido ao conteúdo de aminoácidos essenciais (SILA; BOUGATEF, 2016) e digestibilidade (GHALY et al., 2013). Além do valor nutritivo, as proteínas apresentam propriedades funcionais como capacidade de retenção de água, absorção de óleo, gelificação, formação de espuma e emulsificantes, possibilitando sua utilização como ingrediente funcional em alimentos (GHALY et al., 2013; SASIDHARAN; VENUGOPAL,

2020), tendo influência na textura e em outras propriedades dos alimentos (SASIDHARAN; VENUGOPAL, 2020). As proteínas dos subprodutos do processamento do pescado podem ser recuperadas por vários métodos, dentre eles, ciclos de lavagens com água e refino, método de variação de pH (*pH - shift*), extração com solvente, tratamento térmico, hidrólise enzimática, química, bem como pela combinação de métodos (SHAVIKLO, 2015).

2.2 Concentrado e isolado proteico de pescado

O método de variação de pH (*pH - shift*), o qual se baseia na solubilização química, ácida ou alcalina, seguida da precipitação isoelétrica da proteína, tem sido comumente utilizado para recuperação de proteínas musculares, permitindo uma recuperação eficiente com a eliminação de lipídios e outros materiais insolúveis, obtendo proteínas resultantes com diversas funcionalidades (MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015; OZOGUL et al., 2021). No ponto isoelétrico, a carga eletrostática da proteína se mantém zero e a atração eletrostática proteína-água é superada pela atração hidrofóbica proteína-proteína, o que resulta em precipitação isoelétrica. É considerado um método que não afeta a degradação da proteína e a oxidação lipídica, sendo a qualidade nutricional das proteínas recuperadas por esse método similares a das proteínas de soja e de leite (GEHRING et al., 2011).

Após a remoção de água e de lipídios, o produto resultante é denominado como concentrado proteico de pescado, apresentando uma concentração aumentada de proteína e de outros nutrientes, sendo, por exemplo, uma excelente fonte de aminoácidos altamente digeríveis (STILLINGS; KNOBL, 1971). Os isolados proteicos de

pescado são os produtos que apresentam teor de proteína de no mínimo 90% (RUSTAD; STORRØ; SLIZYTE, 2011). Rocha et al. (2017) e que recuperaram proteínas de castanha (*Umbrina canosa*), uma espécie subutilizada com baixo valor comercial, utilizando extração alcalina/precipitação isoelétrica, obtendo isolado proteico com teor de proteína de 92% e digestibilidade proteica de 98%, sendo composto predominantemente por aminoácidos como ácido glutâmico, ácido aspártico e aminoácidos essenciais como lisina e leucina. A recuperação de proteínas dos subprodutos do processamento é uma fonte potencial de utilização em novos produtos alimentícios de valor agregado para o consumo humano (GEHRING et al., 2011).

Nesse contexto, a aplicação de concentrados e isolados proteicos de subprodutos de pescado no desenvolvimento de produtos alimentícios tem sido investigada. Por exemplo, a suplementação de biscoitos salgados com concentrado proteico de subprodutos de tilápia propiciou aumento do teor de proteínas, especialmente de aminoácidos essenciais, sem afetar a aparência e outras características dos biscoitos (IBRAHIM, 2009), bem como massas frescas suplementadas com diferentes teores (10, 20 ou 30%) de concentrado proteico de subprodutos da tilápia apresentaram aumento linear dos teores de proteína bruta, lipídios totais e cinzas, enquanto redução do teor de carboidratos e do valor calórico. Atrelado ao aumento de cinzas foi verificado aumento linear de minerais como sódio, fósforo, cálcio, magnésio e zinco, sendo a inclusão de 20% o resultado mais satisfatório sensorialmente (GOES et al., 2016).

A incorporação de isolado proteico proveniente de subprodutos do processamento de peixe-panga foi estudada em massa alimentícia e salsicha de pescado,

sendo observado, por exemplo, melhora nos valores nutricionais e nos atributos de qualidade de massas, como aumento do conteúdo proteico, da capacidade de absorção de água, índice de solubilidade em água e temperatura de pasta, além da cor (SURASANI et al., 2019) e aumento do teor proteico e redução de lipídios em salsicha (SURASANI et al., 2020).

Dessa forma, a recuperação de proteínas de subprodutos de processamento pode ser uma alternativa de ingrediente no desenvolvimento de produtos alimentícios para o consumo humano (MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015), como ingredientes, suplementos e para agregar valor aos produtos alimentícios (SASIDHARAN; VENUGOPAL, 2020). Contudo, deve ser levado em consideração também a manutenção da qualidade sensorial dos produtos.

2.3 Hidrolisado proteico de pescado

Os hidrolisados proteicos são considerados fontes de peptídeos bioativos, os quais estão inativos dentro da sequência proteica, contudo são liberados através de processos de hidrólise, ocorrendo à clivagem da proteína em pequenos fragmentos peptídicos, contendo geralmente de 2 a 20 aminoácidos (HALIM; YUSOF; SARBON, 2016). Os hidrolisados resultantes, compostos por aminoácidos e peptídeos de cadeia curta, exibem propriedades funcionais e diversas bioatividades com potencial para diferentes aplicações (CHALAMAIAH et al., 2012; HALIM; YUSOF; SARBON, 2016), como nutracêuticos e alimentos funcionais (CHALAMAIAH et al., 2012; CHALAMAIAH et al., 2019; ISHAK; SARBON, 2018), além de aminoácidos mais disponíveis para várias funções fisiológicas (CHALAMAIAH et al., 2012).

Os subprodutos de pescado contêm quantidades

de proteínas que podem variar de 10 a 23%, podendo ser utilizados como matéria-prima para obtenção de hidrolisados proteicos (BRUNO et al., 2019). Esses podem ser produzidos a partir da hidrólise por diferentes métodos, tais como processo químico, enzimático, autólise, bem como fermentativos, objetivando a recuperação de nutrientes essenciais e compostos bioativos (HALIM; YUSOF; SARBON, 2016; NAJAFIAN; BABJI, 2012). Dentre esses, os métodos químicos e biológicos são os mais utilizados nas práticas industriais (ZAMORA-SILLERO; GHARSALLAOUI; PRENTICE, 2018).

Na indústria de alimentos e farmacêutica, a hidrólise enzimática é preferencialmente utilizada, pois se obtém um produto final ausente de resíduos de solventes orgânicos ou produtos tóxicos (NAJAFIAN; BABJI, 2012; SILA; BOUGATEF, 2016), além de permitir um melhor controle do processo e consequentemente do produto resultante (ZAMORA-SILLERO; GHARSALLAOUI; PRENTICE, 2018). Diferentes enzimas proteolíticas, tais como pepsina, tripsina, papaína, Alcalase, pancreatina, quimiotripsina, termolisina, Flavourzyme, Neutrase e Protamex, são utilizadas na hidrólise enzimática *in vitro* para a obtenção de hidrolisado proteico de pescado (CHALAMAIAH et al., 2012; CHALAMAIAH et al., 2019). O tipo de enzima e as condições utilizadas na hidrólise, como tempo, temperatura, pH e concentração de enzima, influenciam nas propriedades finais do produto (HALIM; YUSOF; SARBON, 2016; ISHAK; SARBON, 2018; SILA; BOUGATEF, 2016), além do grau de hidrólise. O grau de hidrólise mede a extensão da clivagem das ligações peptídicas, sendo um parâmetro importante nas propriedades bioativas, pois afeta a composição de aminoácidos dos peptídeos, bem como o tamanho (SILA; BOUGATEF, 2016).

Os hidrolisados proteicos provenientes de subprodutos de pescado têm sido relatados com diversas bioatividades, incluindo antimicrobiana (QUADROS et al., 2019; LIMA et al., 2019), antioxidante (CAI et al., 2015; LIMA et al., 2019; QUADROS et al., 2019; ZAMORA-SILLERO et al., 2018), anti-hipertensiva (BOUGATEF et al., 2008; LIMA et al., 2021a), neuroprotetora (CAI et al., 2015), dentre outras. A atividade biológica é altamente dependente de características como composição aminoacídica, sequência, comprimento e carga dos peptídeos (CHALAMAIAH et al., 2012; CHALAMAIAH et al., 2019). Técnicas, como ultrafiltração, cromatografia de troca iônica e cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa, são utilizadas para purificação dos peptídeos e aumento da potencialidade das bioatividades (ISHAK; SARBON, 2018). Cabe salientar que, para exercer efeitos fisiológicos, os peptídeos precisam resistir à digestão gastrointestinal (LIMA et al., 2019).

Os hidrolisados proteicos e peptídeos bioativos podem ser utilizados como conservantes naturais em alimentos ou no desenvolvimento de produtos funcionais. Nesse sentido, hidrolisado proteico proveniente de carne mecanicamente separada de tambaqui (*Colossoma macropomum*) obtido via enzimática utilizando a enzima Protamex quando aplicado em carne bovina moída demonstrou redução na oxidação lipídica, sem modificação da coloração natural (QUADROS et al., 2019). A alta higroscopicidade, sabor, instabilidade química, interação com a matriz alimentar e biodisponibilidade limitada podem dificultar a incorporação em produtos, sendo a encapsulação uma alternativa para superar tais limitações (MOHAN et al., 2015). Hidrolisado proteico de subprodutos industriais da pescada-olhuda (*Cynoscion guatucupa*) obtido com a enzima Protamex na forma livre e microencapsulada foi

estudado *in vivo* em *Caenorhabditis elegans* (LIMA et al., 2021a) e incorporado em iogurte (LIMA et al., 2021b). Em *C. elegans*, o hidrolisado em ambas as formas demonstrou melhora na taxa de crescimento e de reprodução, bem como melhora na sobrevivência quando foram expostos ao estresse oxidativo (LIMA et al., 2021a), enquanto a incorporação em iogurte proporcionou iogurtes resultantes com maior atividade antioxidante e anti-hipertensiva, com mascaramento do sabor a pescado quando incorporado na forma microencapsulada (LIMA et al., 2021b). Dessa forma, os hidrolisados proteicos de pescado apresentam-se promissores no desenvolvimento de produtos com potenciais efeitos benéficos à saúde.

2.4 Colágeno e gelatina

O colágeno consiste em uma proteína estrutural abundantemente presente na pele e nos ossos de todos os animais (PAL; SURESH, 2016). O colágeno é comercialmente extraído de origem bovina e suína, a busca por fontes alternativas de colágeno tem se expandido devido aos riscos de ocorrência de encefalopatia espongiforme bovina e febre aftosa, além de questões religiosas relacionadas ao colágeno extraído dessas fontes. Os subprodutos de pescado, incluindo pele, ossos, escamas, barbatana e cabeça são fontes alternativas para a extração de colágeno (OZOGUL et al., 2021; BRUNO et al., 2019; PAL; SURESH, 2016), sendo peles e ossos as principais fontes (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2011).

A extração do colágeno engloba o pré-tratamento alcalino para remoção das proteínas não colagenosas e pigmentos da matéria-prima, seguido de desmineralização e desengorduramento, sendo posteriormente extraído utilizando solução de ácido

acético diluída ou enzimaticamente, utilizando pepsina, tripsina ou colagenase (PAL; SURESH, 2016; SASIDHARAN; VENUGOPAL, 2020). A gelatina é obtida a partir da hidrólise parcial do colágeno geralmente por aquecimento em água em temperaturas acima de 45 °C (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2011). Ambas as macromoléculas proteicas são utilizadas nas indústrias alimentícia, cosmética e biomédica.

A gelatina tem aplicações na indústria de alimentos em produtos como agentes espumantes, emulsificantes, estabilizadores coloidais, microencapsulantes e como materiais de embalagem biodegradáveis (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2011). Além disso, o colágeno e a gelatina têm sido utilizados como material de partida para a produção de hidrolisados e peptídeos via enzimática com atividades biológicas. Por exemplo, frações peptídicas de hidrolisado de colágeno de pele de pota (*Dosidicus giga*) foram relatadas com atividade anti-hipertensiva (ALEMÁN; GÓMEZ-GUILLÉN; MONTERO, 2013), frações peptídicas de hidrolisado de gelatina de pota (*Dosidicus giga*) (ALEMÁN et al., 2011) e frações peptídicas da hidrólise do colágeno de subprodutos de uma mistura de diferentes espécies de pescado (ZAMORANO-APODACA et al., 2020) com atividade antioxidante.

2.5 Óleo de pescado

O óleo de pescado é uma excelente fonte de ácidos graxos ômega-3, sendo composto principalmente por EPA e DHA (GHALY et al., 2013). Devido ao alto teor de ácidos graxos ômega-3 e seus benefícios à saúde, há uma crescente demanda por óleo de pescado de alta qualidade (ŠIMAT et al., 2020; JAMSHIDI et al., 2020). Como o EPA e o DHA não são sintetizados no corpo humano, o

consumo na dieta é essencial para atender às recomendações de ingestão (HENNA LU; NORZIAH, 2011). Nesse contexto, a fortificação de alimentos com óleo de pescado é uma forma de atender às necessidades diárias desses ácidos graxos (JAMSHIDI et al., 2020).

O óleo de pescado pode ser extraído de vários subprodutos do processamento, principalmente de cabeças, de peles e de vísceras (BRUNO et al., 2019) e a sua quantidade vai depender do conteúdo presente na espécie (GHALY et al., 2013). Os métodos tradicionais de extração consistem no cozimento, na prensagem e na separação em centrífuga (SOLDO et al., 2019) ou na extração com solventes. Devido ao alto consumo de energia e de solventes dos métodos tradicionais, métodos verdes e sustentáveis têm despertado muita atenção e tem se mostrado vantajosos como, por exemplo, a extração com dióxido de carbono supercrítico, assistida por micro-ondas e enzimática (OZOGUL et al., 2021).

A utilização de subprodutos de pescado na produção de óleo é uma forma de agregar valor econômico aos subprodutos além de proporcionar benefícios econômicos quanto ao gerenciamento de descarte (ŠIMAT et al., 2020). Subprodutos de diferentes espécies de pescado têm sido investigados para a produção de óleo nos últimos anos (ŠIMAT et al., 2019; ŠIMAT et al., 2020; SOLDO et al., 2019; AHMED et al., 2017), o que abre a possibilidade de sua utilização para consumo humano.

Devido aos seus benefícios à saúde, o óleo de pescado tem sido aplicado em produtos alimentícios com o propósito de melhorar a qualidade nutricional, especialmente em relação ao teor de ácidos graxos ômega-3. No entanto, a sua aplicação em produtos alimentícios é desafiadora devido ao sabor desagradável e alta susceptibilidade à oxidação, sendo a emulsão ou a

microencapsulação alternativa para melhorar essas limitações (JAMSHIDI et al., 2020; OZOGUL et al., 2021). A aplicação de óleo de peixe foi examinada, por exemplo, na substituição de toucinho suíno em patê (DOMINGUES et al., 2017), em produtos lácteos como o iogurte (ESTRADA et al., 2011) e pão (HENNA LU; NORZIAH, 2011).

2.6 Quitina e quitosana

Os subprodutos gerados pela indústria de processamento de produtos marinhos são fontes de quitina (HAMED et al., 2016; BRUNO et al., 2019). A quitina, poli (β -(1-4)-N-acetil-D-glicosamina), consiste em um polissacarídeo natural de grande abundância na natureza, sendo o segundo mais abundante após a celulose. Devido à insolubilidade em água, soluções ácida e alcalina e solventes orgânicos, geralmente é convertida em seus derivados como a quitosana, a qual apresenta solubilidade em soluções ácido-aquosas (ABD EL-HACK et al., 2020; EL KNIDRI et al., 2018, HAMED et al., 2016; OZOGUL et al., 2021). A quitosana é obtida pela desacetilação parcial da quitina e consiste em um polissacarídeo linear composto de N-acetil-D-glucosamina e D-glucosamina, unidades acetiladas e desacetiladas, respectivamente, unidas por ligações glicosídicas β - (1-4) (HAMED et al., 2016; ABD EL-HACK et al., 2020). Esses biopolímeros são obtidos por métodos químicos ou biológicos (HAMED et al., 2016; BRUNO et al., 2019; OZOGUL et al., 2021).

Tradicionalmente, as cascas de crustáceos, como caranguejos e camarões, são as principais fontes, sendo a extração realizada por métodos químicos que envolvem o uso de ácido para dissolver carbonatos de cálcio e desproteínização com solução

alcalina. Além dos crustáceos, a quitina está presente em muitos organismos como paredes celulares de fungos e algas, exoesqueletos de insetos e em moluscos (EL KNIDRI et al., 2018; HAMED et al., 2016). A obtenção de quitina e quitosana de escamas de pescado também tem sido relatada (KUMARI; RATH, 2014; MOLINA-RAMÍREZ et al., 2021). A etapa de desacetilação é comumente realizada pela utilização de solução concentrada de hidróxido sódico com o propósito de remover parcialmente os grupamentos acetil, transformando a quitina em quitosana. O grau de desacetilação e a massa molar são parâmetros que influenciam diretamente nas suas propriedades físico-químicas e biológicas (ABD EL-HACK et al., 2020; EL KNIDRI et al., 2018).

A quitosana é um biopolímero catiônico, biocompatível, biodegradável, atóxico, com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, espessantes e estabilizantes, além de ser fonte de fibra dietética e redutora de colesterol, podendo ser empregada em uma ampla gama de aplicações em alimentos. Além disso, pode ser utilizada em diferentes formas e tamanhos, como fibras, filmes, géis, esponjas, nanopartículas ou esferas (HAMED et al., 2016; ABD EL-HACK et al., 2020). A quitosana pode ser empregada em filmes biodegradáveis e revestimentos na prevenção do crescimento microbiano, por exemplo, quitosana extraída de escama de pescado foi aplicada em filmes à base de amido, demonstrando atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* (MOLINA-RAMÍREZ et al., 2021). Nanopartículas de quitosana têm sido estudadas como carreadoras de moléculas bioativas, demonstrando uma alternativa para a entrega de peptídeos bioativos provenientes de hidrolisado proteico de pescado com atividade antioxidante, antimicrobiana e anti-hipertensiva com potencial como estabilizador de emulsão (LIMA et al., 2021c).

2.7 Minerais

O processamento do pescado gera uma grande quantidade de ossos, cerca de 60% dos ossos são constituídos por minerais inorgânicos, sendo fontes de hidroxiapatita, cálcio, fosfato, zinco, selênio e ferro (BRUNO et al., 2019). Como excelentes fontes de minerais, os ossos de pescado podem ser utilizados em alimentos ou como suplemento alimentar (FAO, 2020). Benjakul e Karnjanapratum (2018) desenvolveram biscoito de trigo integral fortificado com pó de bio-cálcio de osso de atum, comparado com o biscoito controle, o biscoito fortificado na concentração de 30% apresentou maior conteúdo de cálcio, fósforo, proteína, enquanto menor conteúdo de lipídios, carboidrato, colesterol e energia, sem apresentar efeitos indesejáveis na cor, na textura e nas propriedades sensoriais.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos subprodutos gerados pela industrialização do pescado é de suma importância, visto que grandes quantidades de subprodutos são geradas. Esforços têm sido direcionados no sentido de sua melhor utilização de forma a contribuir com a valorização e redução de problemas de descarte.

Os subprodutos do processamento de pescado são uma matéria-prima barata, abundante e representam uma fonte de materiais bioativos para obtenção de produtos de alta qualidade e valor biológico como concentrado e isolado proteicos, hidrolisados proteicos, colágeno, gelatina, óleo, quitina e quitosana e minerais. Isso abre a possibilidade para diversas potenciais aplicações no setor de alimentos para o desenvolvimento, por exemplo, de produtos para o consumo humano com melhores

propriedades nutricionais, com potenciais efeitos benéficos à saúde ou como conservantes naturais de forma a aumentar sua segurança e vida útil.

As técnicas utilizadas para a recuperação e a qualidade da matéria-prima utilizada são aspectos importantes. A utilização dos subprodutos tem aplicações promissoras, no entanto mais estudos de aplicações dos produtos obtidos são necessários para elucidar seus efeitos, biodisponibilidade, segurança, bem como o efeito nas propriedades dos alimentos, o que engloba a interação com a matriz alimentar e, em alguns casos, o desafio do sabor e do odor característicos.

4. REFERÊNCIAS

ABD EL-HACK, M. E.; EL-SAADONY, M. T.; SHAFI, M. E.; ZABERMAWI, N. M.; ARIF, M.; BATIHA, G. E.; KHAFAGA, A. F.; ABD EL-HAKIM, Y. M.; AL-SAGHEER, A. A. (2020).

Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 164, 2726–2744.

AHMED, R.; HAQ, M.; CHO, Y.-J.; CHUN, B.-S. (2017). Quality evaluation of oil recovered from by-products of bigeye tuna using supercritical carbon dioxide extraction. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 17, 663–672.

ALEMÁN, A.; GIMÉNEZ, B.; PÉREZ-SANTIN, E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. (2011). Contribution of Leu and Hyp residues to antioxidant and ACE-inhibitory activities of peptide sequences isolated from squid gelatin hydrolysate. **Food Chemistry**, 125, 334–341.

ALEMÁN, A.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. (2013). Identification of ace-inhibitory peptides from squid skin collagen after in vitro gastrointestinal digestion. **Food Research International**, 54, 790–795.

BENJAKUL, S.; KARNJANAPRATUM, S. (2018).

Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker

fortified with tuna bone bio-calcium powder. **Food Chemistry**, 259, 181–187.

BOUGATEF, A.; NEDJAR-ARROUME, N.; RAVALLEC-PLÉ, R.; LEROY, Y.;

GUILLOCHON, D.; BARKIA, A.; NASRI, M. (2008).

Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activities of sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products protein hydrolysates obtained by treatment with microbial and visceral fish serine proteases. **Food Chemistry**, 111, 350–356.

BRUNO, S. F.; EKORONG, F. J. A. A.; KARKAL, S. S.; CATHRINE, M. S. B.; KUDRE, T. G. (2019). Green and innovative techniques for recovery of valuable compounds from seafood byproducts and discards: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 85, 10–22.

CAI, L.; WU, X.; LV, Y.; XU, Y.; MI, G.; LI, J. (2015). The neuroprotective and antioxidant activities of protein hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin. **Journal of Food Science and Technology**, 52, 3750–3755.

CHALAMAIAH, M.; DINESH KUMAR, B.; HEMALATHA, R.; JYOTHIRMAYI, T. (2012). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. **Food Chemistry**, 135, 3020–3038.

CHALAMAIAH, M.; ULUG, S. K.; HONG, H.; WU, J. (2019). Regulatory requirements of bioactive peptides (protein hydrolysates) from food proteins. **Journal of Functional Foods**, 58, 123–129.

DOMÍNGUEZ, R.; PATEIRO, M.; SICHETTI MUNEKATA, P. E.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P. C.; Lorenzo, J. M. (2017), Influence of partial pork backfat replacement by fish oil on nutritional and technological properties of liver pâté. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 119, 1600178.

EL KNIDRI, H.; BELAABED, R.; ADDAOU, A.; LAAJEB, A.; LAHSINI, A. (2018). Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. **International Journal**

of **Biological Macromolecules**, 120, 1181-1189.

FAO. 2020. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
<https://doi.org/10.4060/ca9229en>

GEHRING, C.K.; GIGLIOTTI, J.C.; MORITZ, J.S.; TOU, J.C.; JACZYNSKI, J. (2011). Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. **Food Chemistry**, 124, 422-431.

GHALY, A.; RAMAKRISHNAN, V.; BROOKS, M.; BUDGE, S.; DAVE, D. (2013). Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, 5, 107–129.

GOES, E. S. R.; SOUZA, M. L. R.; MICHKA, J. M. G.; KIMURA, K. S.; LARA, J. A. F.; DELBEM, A. C. B.; GASPARINO, E. (2016). Fresh pasta enrichment with protein concentrate of tilapia: nutritional and sensory characteristics. **Food Science and Technology**, 36, 76-82.

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; GIMÉNEZ, B.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MONTERO, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. **Food Hydrocolloids**, 25, 1813–1827.

HAMED, I.; ÖZOGUL, F.; REGENSTEIN, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. **Trends in Food Science & Technology**, 48,40–50.

HALIM, N. R. A.; YUSOF, H. M.; SARBON, N. M. (2016). Functional and Bioactive Properties of Fish Protein Hydolysates and Peptides: A Comprehensive Review. **Trends in Food Science & Technology**, 51, 24–33.

HARNEDY, P. A.; FITZGERALD, R. J. (2012). Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review. **Journal of Functional Foods**, 4, 6–24.

HENNA LU, F.; NORZIAH, M. (2011). Contribution of microencapsulated n-3 pufa powder toward sensory and oxidative stability of bread. **Journal of Food Processing and Preservation**, 35: 596-604.

IBRAHIM, S. M. (2009). Evaluation of production and quality of salt-biscuits supplemented with fish protein concentrate. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, 4(1), 28–31.

ISHAK, N. H.; SARBON, N. M. A. (2018). Review of Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides Deriving from Wastes Generated by Fish Processing. **Food and Bioprocess Technology**, 11, 2–16.

JAMSHIDI, A.; CAO, H.; XIAO, J.; SIMAL-GANDARA, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. **Food Research International**, 137, 109353.

KUMARI, S.; RATH, P. K. (2014). Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from (*Labeo rohita*) Fish Scales. **Procedia Materials Science**, 6, 482- 489.

LIMA, K. O.; DE QUADROS, C. D. C.; DA ROCHA, M.; DE LACERDA, J. T J.G.; JULIANO, M. A.; DIAS, M.; MENDES, M. A.; PRENTICE, C. (2019). Bioactivity and bioaccessibility of protein hydrolyzates from industrial byproducts of Stripped weakfish (*Cynoscion guatucupa*). **LWT - Food Science and Technology**, 111, 408–413.

LIMA, K. O.; ALEMÁN, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, M. P.; PRENTICE, C.; HUISA, A. J. T.; MONSERRAT, J. M. (2021a) Characterization, stability, and *in vivo* effects in *Caenorhabditis elegans* of microencapsulated protein hydrolysates from stripped weakfish (*Cynoscion guatucupa*) industrial byproducts. **Food Chemistry**, 364, 130380.

LIMA, K. O.; DA ROCHA, M.; ALEMÁN, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; TOVAR, C. A.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P.; PRENTICE, C. (2021b). Yogurt Fortification by the Addition Microencapsulated Stripped Weakfish (*Cynoscion guatucupa*) Protein

Hydrolyzate. **Antioxidants**, 10, 1567.

LIMA, K. O.; PINILLA, C. M. B.; ALEMÁN, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P.; PRENTICE, C. (2021c). Characterization, Bioactivity and Application of Chitosan-Based Nanoparticles in a Food Emulsion Model. **Polymers**, 13 (19), 3331.

MATAK, K. E.; TAHERGORABI, R.; JACZYNSKI, J. (2015). A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. **Food Research International**, 77, 697-703.

MOLINA-RAMÍREZ, C.; MAZO, P.; ZULUAGA, R.; GAÑÁN, P.; ÁLVAREZ-CABALLERO, J. (2021). Characterization of Chitosan Extracted from Fish Scales of the Colombian Endemic Species *Prochilodus magdalenae* as a Novel Source for Antibacterial Starch-Based Films. **Polymers**, 13, 2079.

MOHAN, A.; RAJENDRAN, S. R. C. K.; HE, Q. S.; BAZINET, L.; UDENIGWE, C. C. (2015). Encapsulation of food protein hydrolysates and peptides: a review. **RSC Advances**, 5, 79270–79278, 2015

NAJAFIAN, L.; BABJI, A. S. (2012). A review of fish-derived antioxidant and antimicrobial peptides: Their production, assessment, and applications. **Peptides**, 33, 178–185.

OLSEN, R. L.; TOPPE, J.; KARUNASAGAR, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. **Trends in Food Science & Technology**, 36, 144–151.

OZOGUL, F.; CAGALJ, M.; ŠIMAT, V.; OZOGUL, Y.; TKACZEWSKA, J.; HASSOUN, A.; KADDOUR, A. A.; KULEY, E.; RATHOD, N. B.; PHADKE, G. G. (2021). Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. **Trends in Food Science & Technology**, 116, 559-582.

PAL, G. K.; SURESH, P. V. (2016). Sustainable valorisation of seafood by-products: Recovery of collagen and development of

collagen-based novel functional food ingredients. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 37, 201-2015.

QUADROS, C. D. C. DE; LIMA, K. O.; BUENO, C. H. L.; FOGAÇA, F. D. S.; FOGAÇA, S.; ROCHA, M. DA; PRENTICE, C. (2019). Evaluation of the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Protein Hydrolysates and Peptide Fractions Derived from *Colossoma macropomum* and Their Effect on Ground Beef Lipid Oxidation. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, 28, 677-678.

Rocha, M., Cardozo, M. A., Raffi, J. E., El Halal, S. L. M., Souza, M. M., & Prentice, C. (2017). Functional, thermal, and physicochemical properties of proteins from Argentine croaker (*Umbrina canosai*) recovered by solubilization/precipitation or a washing process. **International Food Research Journal**, 24(2), 579-588.

RUSTAD, T.; STORRØ, I.; SLIZYTE, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. **International Journal of Food Science and Technology**, 46, 2001–2014.

SASIDHARAN, A.; VENUGOPAL, V. (2020). Proteins and Co-products from Seafood Processing Discards: Their Recovery, Functional Properties and Applications. **Waste Biomass Valor**, 11, 5647–5663.

SHAVIKLO, A. R. (2015). Development of fish protein powder as an ingredient for food applications: a review. **Journal of Food Science and Technology**, 52(2), 648–661.

SILA, A.; BOUGATEF, A. (2016). Antioxidant peptides from marine by-products: Isolation, identification and application in food systems. A review. **Journal of Functional Foods**, 21, 10–26.

ŠIMAT, V.; VLAHOVIĆ, J.; SOLDI, B.; SKROZA, D.; LJUBENKOV, I.; MEKINIĆ, I. G. (2019). Production and Refinement of Omega-3 Rich Oils from Processing By-Products of Farmed Fish Species. **Foods**, 8, 125.

ŠIMAT, V.; VLAHOVIĆ, J.; SOLDI, B.; MEKINIĆ, I. G.; ČAGALJ, M.; HAMED, I.; SKROZA, D. (2020). Production and

characterization of crude oils from seafood processing by-products. **Food Bioscience**, 33, 100484.

SOLDO, B.; ŠIMAT, V.; VLAHOVIĆ, J.; SKROZA, D.; LJUBENKOV, I.; MEKINIĆ, I. G. (2019). High quality oil extracted from sardine by-products as an alternative to whole sardines: Production and refining. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 121(7), 1–10.

STILLINGS, B. R.; KNOBL, G. M. (1971). Fish protein concentrate: A new source of dietary protein. **Journal American Oil Chemistry Society**, 48, 412–414.

SURASANI, V. K. R.; SINGH, A.; GUPTA, A.; SHARMA, S. (2019). Functionality and cooking characteristics of pasta supplemented with protein isolate from pangas processing waste. **LWT – Food Science and Technology**, 111, 443- 448.

SURASANI, V. K. R.; RAJU, C. V.; SHAFIQ, U.; CHANDRA, M. V.; LAKSHMISHA, I. P. (2020). Influence of protein isolates from Pangas processing waste on physico-chemical, textural, rheological and sensory quality characteristics of fish sausages. **LWT – Food Science and Technology**, 117, 108662.

ZAMORA-SILLERO, J.; GHARSALLAOUI, A.; PRENTICE, C. (2018). Peptides from Fish Byproduct Protein Hydrolysates and Its Functional Properties: an Overview. **Marine Biotechnology**, 20, 118–130.

ZAMORA-SILLERO, J.; RAMOS, P.; MONSERRAT, J. M.; PRENTICE, C. (2018). Evaluation of the Antioxidant Activity *In Vitro* and in Hippocampal HT-22 Cells System of Protein Hydrolysates of Common Carp (*Cyprinus carpio*) By-Product. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, 27, 21–34.

ZAMORANO-APODACA, J. C.; GARCÍA-SIFUENTES, C. O.; CARVAJAL-MILLÁN, E.; VALLEJO-GALLAND, B.; SCHEUREN-ACEVEDO, S. M.; LUGO-SÁNCHEZ, M. E. (2020). Biological and functional properties of peptide fractions obtained from collagen hydrolysate derived from mixed by-products of different fish species. **Food Chemistry**, 331, 127350.

EDITORA E GRÁFICA DA FURG
CAMPUS CARREIROS
CEP 96203 900
editora@furg.br

