

PACTO DA BIOECONOMIA AZUL

WP8 Plataforma de Coprodutos

Deliverables

Work Package (WP)	WP 8 – Plataforma de coprodutos
Deliverables	#6 (D8.3.6) Relatório sobre a validação da cadeia de valor

Índice

Resumo	3
Responsáveis	3
Declaração de Responsabilidade	3
1. PREPARAÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS DE COPRODUTOS DE PESCADO POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA	4
1.1. Preparação dos coprodutos	4
Segregação	4
Estabilização e armazenagem	4
1.2. Hidrólise enzimática	4
Homogeneização	5
Adição das enzimas	5
Inativação das enzimas	6
Separação do hidrolisado proteico	6
Secagem	6
Embalagem e armazenagem	6
1.3. Principais características do hidrolisado	6
Propriedades físicas, aspeto geral e atributos sensoriais	6
Caraterísticas químicas, biológicas e funcionais	6
Contaminantes químicos	7
1.4. Ficha técnica exemplificativa	7
Informação geral	7
Especificações	7
2. CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DOS COPRODUTOS DE SARDINHA, DOURADA, SALMÃO E PESCADA	9
2.1. Extração e rendimento de lípido	9
2.2. Caracterização do perfil de ácidos gordos	10
2.3. Caracterização lipidómica	12
2.4. Atividade antioxidante	13
3. PRODUÇÃO DE COLAGÉNIO E GELATINA A PARTIR DE PELES DE PEIXE (COPRODUTOS DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE PESCADO)	14
3.1. Preparação dos coprodutos	14
3.2. Extração e rendimento na produção de colagénio e gelatina	14
3.3. Caracterização dos biopolímeros obtidos	15
ANEXO	19
Enquadramento	19
Identificação de subprodutos relevantes e dos desafios que se colocam à sua valorização a nível nacional	19
Seleção e otimização de uma estratégia de valorização	21
Referências	23

Resumo

No âmbito do projeto WP8 COPRODUTOS – T8.3.4: *Validação das cadeias de valor para atribuição de um destino final adequado a cada coproduto*, foram otimizadas, à escala laboratorial, três cadeias de valor para o aproveitamento de diferentes coprodutos do processamento de pescado na produção de:

- hidrolisados proteicos obtidos por via enzimática;
- extratos lipídicos
- colagénios e gelatinas.

O presente documento descreve o processamento otimizado, em ambiente laboratorial, de preparação de hidrolisados proteicos por via enzimática a partir de diferentes coprodutos, nomeadamente cabeças, misturas de cabeças e espinhas, bem como aparas provenientes do processamento manual e mecânico de postas e filetes de peixe. Apresentam-se ainda algumas das especificações técnicas comuns aos hidrolisados produzidos. No que diz respeito aos extratos lipídicos, aborda-se o método de produção a partir de coprodutos de sardinha, dourada, salmão e pescada (como cabeças, espinhas, caudas e serradura resultante do corte e filetagem), a avaliação do perfil de ácidos gordos e a avaliação da atividade antioxidante. Em relação aos colagénio e gelatinas, ilustra-se o processo sequencial estabelecido para a produção consecutiva de colagénio e de gelatina a partir da mesma biomassa, tendo sido consideradas particularmente peles de bacalhau, de tubarão azul, de corvina e de salmão. Os biopolímeros obtidos apresentaram características relevantes para a sua aplicação biotecnológica de alto valor acrescentado, mas sendo necessário ter em consideração a variabilidade entre lotes.

Responsáveis

CIIMAR, IPMA, UA, UMinho

Declaração de Responsabilidade

As opiniões expressas e a responsabilidade pelo conteúdo da presente publicação são da exclusiva responsabilidade dos autores.

1. PREPARAÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS DE COPRODUTOS DE PESCADO POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

1.1. Preparação dos coprodutos

Segregação

Os coprodutos destinados à preparação de hidrolisados proteicos devem ser segregados e acondicionados em condições de refrigeração no local da sua produção de forma a garantir a sua qualidade, segurança e homogeneidade ao longo do processamento.

A segregação deve ser efetuada, sempre que possível, por tipologia de coproduto. Se aplicável, os coprodutos devem ser separados por espécie e por grau de frescura, evitando a mistura de matérias-primas com características distintas ou sinais de degradação.

Estabilização e armazenagem

A estabilização dos coprodutos é fundamental para evitar a oxidação.

A moagem e a posterior adição e homogeneização do antioxidante comercial Duralox MANC®, na proporção 0,5% (m/m) é considerada uma boa estratégia para mitigar esta alteração.

A posterior congelação, embalagem e armazenagem em congelado são fundamentais para prevenir alterações físico-químicas e o crescimento microbiano.

1.2. Hidrólise enzimática

O fluxograma do processo otimizado de preparação de hidrolisados proteicos encontra-se na Figura 1 e a informação complementar no Anexo 1.

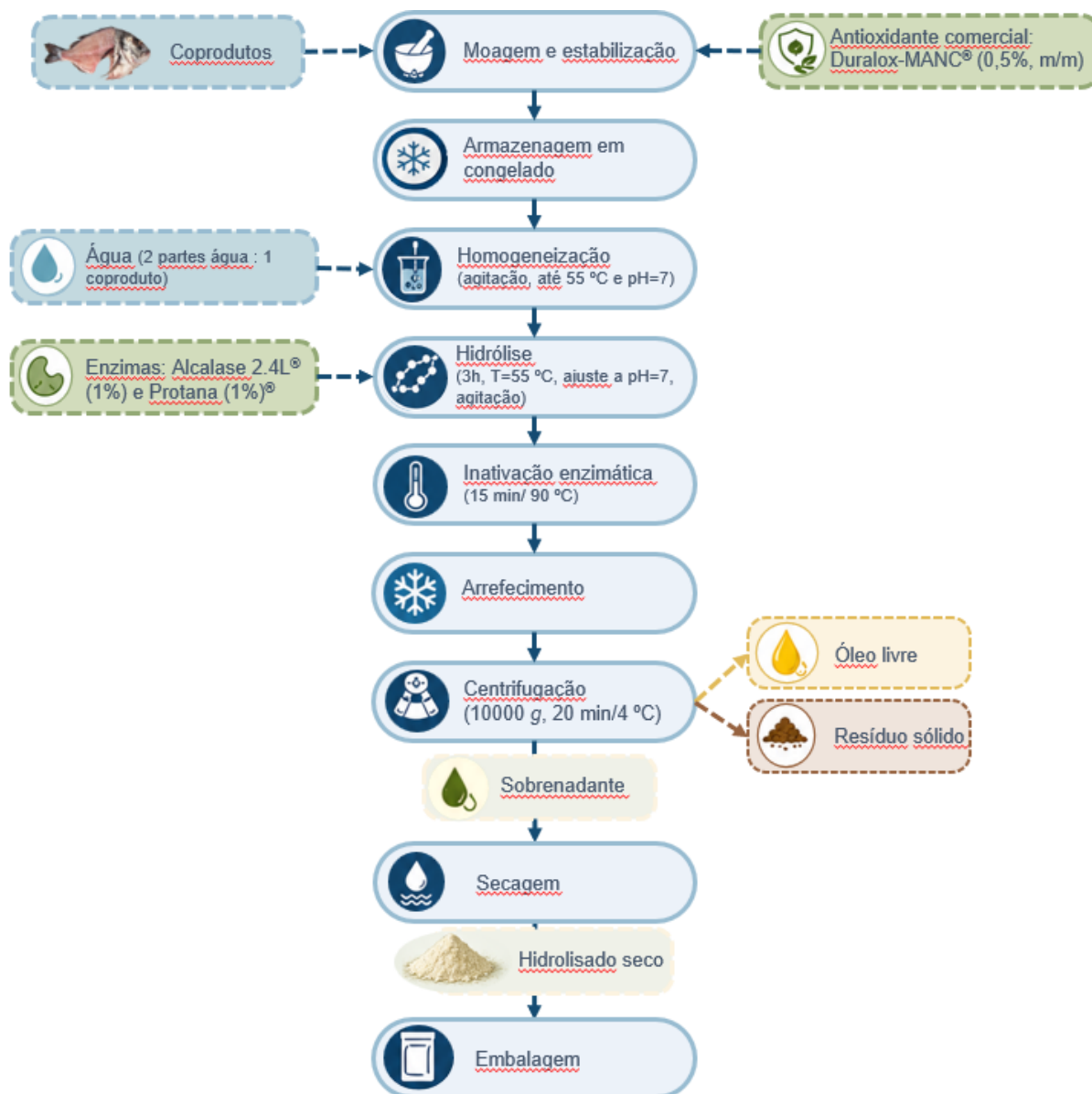


Figura 1 - Fluxograma do processo de preparação de hidrolisados a partir de coprodutos de dourada

Homogeneização

Após descongelação, o coproduto deve ser suspenso em água na proporção de 1:2 (m/m) e a mistura submetida a homogeneização contínua até atingir a temperatura de 55 °C, com ajuste e estabilização do pH em 7,0 por meio da adição de ácido clorídrico ou hidróxido de sódio.

Adição das enzimas

Adição simultânea das enzimas Alcalase 2.4L® e Protana®, ambas na proporção de 1% relativamente ao coproduto, procedendo-se posteriormente à hidrólise durante 3 h, sob agitação, com controlo contínuo da temperatura a 55 °C e ajuste ininterrupto do pH a 7,0.

Inativação das enzimas

Aquecimento da mistura até 90 °C para inativação enzimática durante 15 minutos, seguindo-se o arrefecimento até à temperatura ambiente.

Separação do hidrolisado proteico

Centrifugação da mistura a 10000×g durante 20 min, a 4 °C, para separação da fração sólida e da camada lipídica para recuperação da solução de hidrolisado proteico.

Secagem

Secagem da solução de hidrolisado proteico (fração líquida) por liofilização ou atomização, conforme a disponibilidade do equipamento, até a obtenção de um produto seco na forma de pó. Poderá ser usado um moinho de facas/bolas para a obtenção do pó.

Embalagem e armazenagem

Acondicionamento do hidrolisado em bolsas de plástico com interior em folha de alumínio para evitar a exposição ao ar e à luz, a temperatura inferior a 30 °C.

1.3. Principais características do hidrolisado

O aspeto físico, atributos sensoriais, propriedades funcionais e bioatividades variam entre outros fatores, como o tipo de matéria-prima e o grau de hidrólise.

No geral, os hidrolisados proteicos preparados a partir de coprodutos de dourada exibem as seguintes características:

Propriedades físicas, aspeto geral e atributos sensoriais

- Pó fino e homogéneo com alguma higroscopicidade e textura não granulosa
- Cor branco-creme com tons mais ou menos amarelados
- Cheiro e sabor neutros semelhantes a caldos, com eventuais notas ténues a peixe; possível amargor

Caraterísticas químicas, biológicas e funcionais

- Proteína total (N×6,25) entre 60-77%; Matéria inorgânica entre 10-18%; Minerais mais abundantes: Na, K, Mg, Zn e Fe; Lípidos ≤12%; Humidade ≤8%; Hidratos de carbono <0,1%;
- Elevado teor de aminoácidos essenciais, nomeadamente: lisina, leucina, valina, isoleucina e treonina
- Ácidos gordos monoinsaturados > Ácidos gordos polinsaturados (presença de EPA e DHA) > Ácidos gordos saturados; e n-3/n-6 < 1
- Valor energético < 400 kcal/ 100 g
- Elevada atividade antioxidante, anti-hipertensiva e quelante do ferro e do cobre
- Boa ou razoável solubilidade
- Boa capacidade emulsificante

Contaminantes químicos

Os níveis de metais tóxicos (mercúrio total, chumbo, cádmio), de poluentes orgânicos persistentes (tais como os bifenilos policlorados (PCB), os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) e as dioxinas, no peixe e nos produtos da pesca, estão sujeitos a regulamentação europeia. Os níveis destes contaminantes nos HP preparados a partir de coprodutos de dourada estavam abaixo dos limites regulamentados.

1.4. Ficha técnica exemplificativa

Informação geral

Descrição: Hidrolisado liofilizado obtido através da hidrólise enzimática de cabeças e espinhas de dourada (*Sparus aurata*)

Especificações físicas: Pó fino e homogéneo, obtido por liofilização

Aspecto: Cor: castanho-amarelado

Textura: fina/pó

Cheiro: característico, a peixe

Condições de armazenagem: Temperatura ambiente inferior a 30 °C, protegido da luz e da humidade

Embalagem: Sacos em papel (35 µm) / alumínio (7 µm) / polietileno (80 µm) com zip; espessura 122 µm (± 5%); Dimensões 85×125 (L×C, mm) da Eurogrip (ref. DP 085X125 PL, 100 mL)

Especificações

Valor nutricional	Valor (g/100g)
Proteína (Matéria seca)	77,1
Gordura	9,3
Das quais saturadas	20,2
Cinza	9,70
Hidratos de carbono (Cálculo)	0,0
Dos quais açúcares	0,0
Valor energético (kJ/kcal por 100g; Cálculo pelo Regulamento (EU) nº1169/2011)	1640/392

Critério microbiológico	Valor	Valor de rejeição
Contagens totais	631	> 25 000 cfu/g
Bolores e leveduras	79,4	> 500 ufc/g
<i>Enterobacteriaceae</i>	< LD (10)	> 500 ufc/g

LD - Limite de deteção

Perfil de aminoácidos	Valor (g por 100g de produto)
Alanina	5,25 ± 0,18
Arginina	7,01 ± 0,14
Ácido aspártico	6,12 ± 0,34
Ácido glutâmico	7,98 ± 0,03
Glicina	0,90 ± 0,01
Histidina	0,48 ± 0,01
Hidroxiprolina	<LD (0,0007)
Isoleucina	4,08 ± 0,08
Leucina	5,59 ± 0,33
Lisina	7,93 ± 1,02
Metionina	1,89 ± 0,06
Fenilalanina	2,99 ± 0,20
Prolina	4,99 ± 0,25
Serina	3,50 ± 0,12
Treonina	4,93 ± 0,17
Tirosina	1,98 ± 0,19
Triptofano	0,48 ± 0,05
Valina	4,80 ± 0,25

LD - Limite de deteção

Metais	Valor (mg/kg)	Limite	Regulamento
Cádmio	< LQ (0,006)	≤ 1 mg/kg	R (EU) 2023/915
Mercúrio	0,048	≤ 0,1 mg/kg	R (EU) 2023/915
Chumbo	< LQ (0,06)	≤ 3 mg/kg	R (EU) 2023/915
Zinco	6,2	≤ 50 mg/kg	R (EU) 2016/355
Cobre	0,8	≤ 30 mg/kg	R (EU) 2016/355
Crómio	< LD (0,09)	≤ 10 mg/kg	R (EU) 2016/355

LD - Limite de deteção; LQ – Limite de quantificação

Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Valor (µg/kg)	Limite	Regulamento
Benzo(a)pireno	<LD (0,002)	≤ 10 µg/kg	R (EU) 2023/915
4HAP	1,72 ± 0,09	≤ 50 µg/kg	R (EU) 2023/915

LD - Limite de deteção

2. CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DOS COPRODUTOS DE SARDINHA, DOURADA, SALMÃO E PESCADA

2.1. Extração e rendimento de lípido

Os extratos lipídicos totais dos coprodutos marinhos foram obtidos pelo método de Bligh and Dyer (1959), com ligeiras adaptações (Monteiro et al., 2025) (Figura 2). No final do processo os rendimentos lipídicos em percentagem por peso seco (DW) obtidos foram: 34,0% $\pm$ 1,3 para o coproduto de sardinha (cabeças, caudas e espinha moídas), 43,9% $\pm$ 6,5 para o coproduto de dourada (cabeças, espinhas e cauda moídas), 57,7% $\pm$ 6,6 para o coproduto de salmão (espinhas e cabeças moídas), 7,5% $\pm$ 0,8 para a farinha de pescada (serradura resultante do corte e filetagem do peixe) e 3,8% $\pm$ 0,1 para as aparas de pescada (primeira porção cortada de cada lado do peixe) (Figura 3).

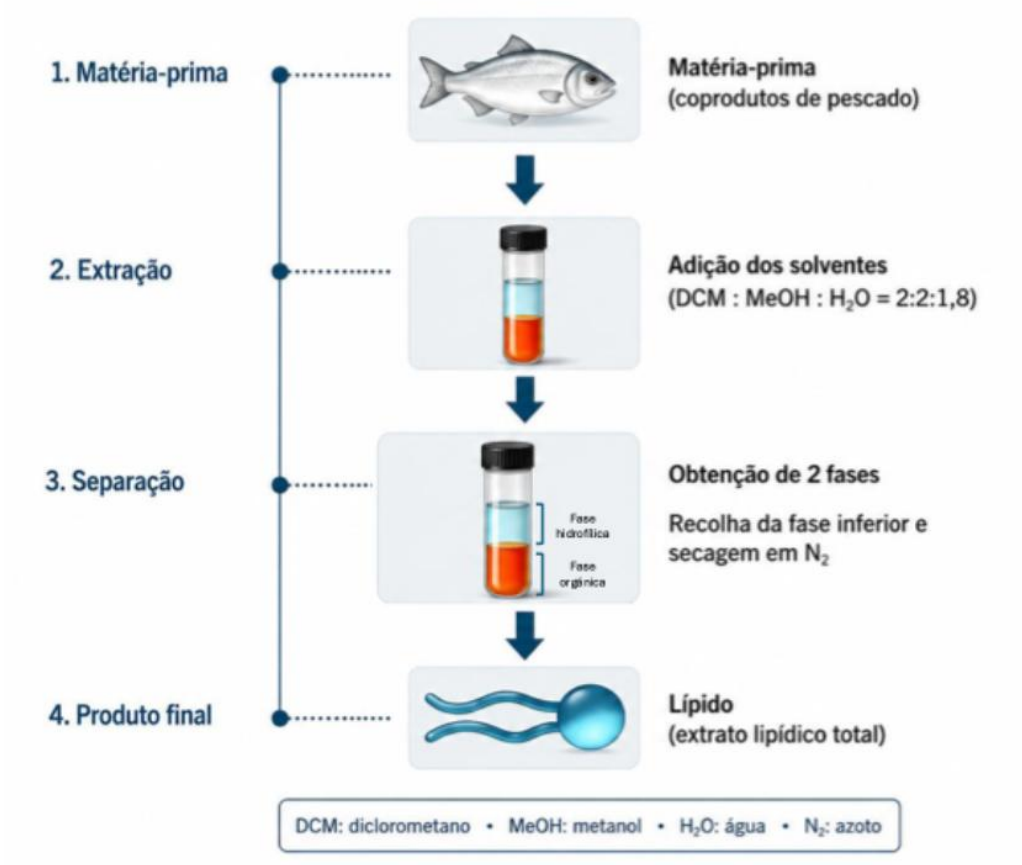


Figura 2 - Representação esquemática do método Bligh and Dyer (1959).

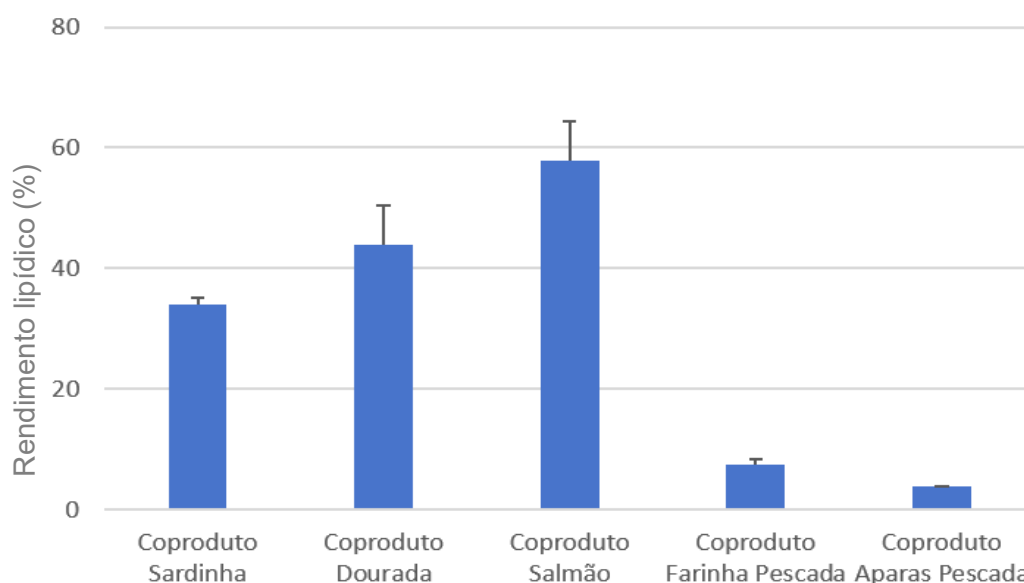


Figura 3 - Rendimento lipídico dos coprodutos de sardinha, dourada, salmão e pescada.

O elevado teor lipídico observado em coprodutos de espécies como o salmão e a dourada, demonstra que os subprodutos gerados pela indústria transformadora de pescado, frequentemente subvalorizados ou descartados, constituem uma matéria-prima promissora para a recuperação de lípidos de elevado valor acrescentado. Estes resultados evidenciam o potencial destes recursos para aplicações nos setores alimentar, nutracêutico, farmacêutico e cosmético, contribuindo simultaneamente para a valorização integral da biomassa e para a promoção de modelos de bioeconomia circular.

2.2. Caracterização do perfil de ácidos gordos

A composição em ácidos gordos dos coprodutos foi analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS) após transesterificação alcalina do extrato lipídico para a obtenção dos ésteres metílicos de ácidos gordos (FAMES). Os ácidos gordos mais abundantes identificados nos coprodutos variaram de acordo com a espécie analisada. Na sardinha, destacaram-se o ácido palmítico (FA16:0), o ácido eicosapentaenoico (EPA; FA20:5 n-3) e o ácido docosahexaenoico (DHA; FA22:6 n-3). Na dourada, os principais ácidos gordos foram o ácido oleico (FA18:1 n-9), seguido do ácido linoleico (FA18:2 n-6) e do ácido palmítico (FA16:0). No salmão, os compostos predominantes foram o ácido oleico (FA18:1 n-9), o ácido esteárico (FA18:0) e o ácido linoleico (FA18:2 n-6). Na farinha de pescada, os ácidos gordos mais abundantes foram o ácido palmítico (FA16:0), o ácido oleico (FA18:1 n-9) e o DHA (FA22:6 n-3), enquanto nas aparas de pescada se destacaram o DHA (FA22:6 n-3), o ácido palmítico (FA16:0) e o ácido oleico (FA18:1 n-9) (Tabela 1). Nas classes de ácidos gordos, os monoinsaturados foram os mais abundantes nos coprodutos de

dourada, salmão e na farinha de pescada, e os polinsaturados nos coprodutos de sardinha e nas aparas de pescada.

Os ácidos gordos ómega-3 e ómega-6 desempenham funções essenciais no organismo, estando associados à regulação da inflamação, à manutenção da saúde cardiovascular e cerebral, e a diversos processos metabólicos. Assim, o equilíbrio entre estes ácidos gordos é fundamental para a promoção da saúde, reforçando o potencial destes coprodutos como fontes de compostos lipídicos de elevado valor nutricional e de interesse para aplicações alimentares e biotecnológicas.

Tabela 1 - Abundância relativa (%) mais abundantes e das classes de ácidos gordos saturados (SFA), ácidos gordos monoinsaturados (MUFA), ácidos gordos polinsaturados (PUFA), ómega-3 (n-3) e ómega 6 (n-6), identificados em cada coproduto marinho.

	Sardinha	Dourada	Salmão	Farinha Pescada	Aparas Pescada
FA 16:0	20,3 ± 1,2	13,0 ± 0,4	13,2 ± 1,4	20,5 ± 0,7	21,2 ± 1,2
FA 18:0	6,8 ± 1,5	3,9 ± 0,2	11,6 ± 1,1	6,1 ± 1,0	8,9 ± 1,5
FA 18:1 n-9	9,4 ± 0,7	33,7 ± 0,7	34 ± 7 ± 1,2	21,2 ± 0,6	10,8 ± 1,0
FA 18:2 n-6	1,0 ± 0,1	20,8 ± 0,3	12,1 ± 0,4	0,7 ± 0,0	0,8 ± 0,4
FA 20:5 n-3	16,5 ± 1,7	1,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	4,3 ± 0,2	6,2 ± 0,9
FA 22:6 n-3	10,4 ± 1,4	4,3 ± 0,3	2,9 ± 0,1	23,2 ± 0,6	38,4 ± 2,2
SFA	34,2 ± 0,7	19,5 ± 0,6	28,3 ± 1,9	29,3 ± 0,1	31,9 ± 0,1
MUFA	26,6 ± 0,1	44,8 ± 0,9	46,6 ± 2,3	39,8 ± 0,2	18,6 ± 0,0
PUFA	39,2 ± 1,1	35,7 ± 0,8	25,1 ± 1,7	30,9 ± 0,2	49,5 ± 0,1
n-3	30,0 ± 0,9	12,3 ± 0,2	10,7 ± 0,7	29,0 ± 0,2	46,2 ± 0,1
n-6	2,2 ± 0,1	21,8 ± 0,4	12,4 ± 0,8	1,5 ± 0,0	2,8 ± 0,0

2.3. Caracterização lipidómica

A caracterização do lipidoma dos coprodutos foi realizada recorrendo à cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa de alta resolução (LC-HR-MS/MS). Esta abordagem permitiu identificar uma elevada diversidade de espécies lipídicas pertencentes às categorias dos fosfolípidos, esfingolípidos, prenolípidos, derivados de ácidos gordos e glicerolípidos. Entre os fosfolípidos foram identificadas espécies moleculares de fosfatidilcolina (PC), lisofosfatidilcolina (LPC), fosfatidiletanolamina (PE), lisofosfatidiletanolamina (LPE), fosfatidilserina (PS), e fosfatidilglicerol (PG). No grupo dos esfingolípidos foram identificadas ceramidas (Cer), hexosilceramidas (HexCer) e esfingomielinas (SM), classes lipídicas envolvidas em importantes processos celulares e fisiológicos. Adicionalmente, foi identificado o coenzima Q10, pertencente à categoria dos prenolípidos, bem como diversos derivados de ácidos gordos, incluindo acilcarnitinas e N-acil etanolaminas. Entre os glicerolípidos, os triglicéridos (TG) constituíram a classe lipídica mais diversificada em todos os coprodutos analisados, tendo sido identificadas mais de 100 espécies moleculares de TG por amostras (Figura 4).

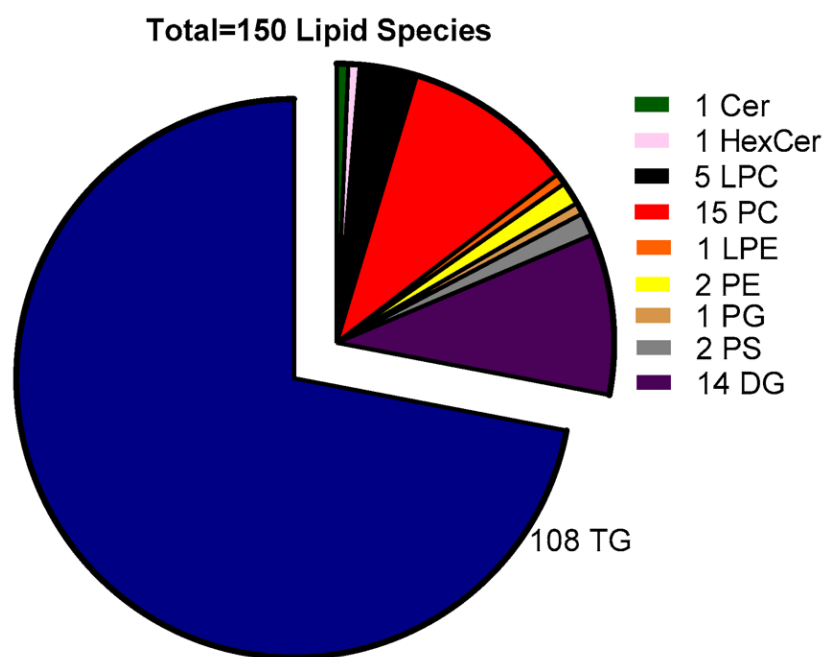


Figura 4 – Número de espécies lipídicas moleculares identificadas por classe de lípidos no coproduto do salmão. <https://doi.org/10.3390/md22110518>

A caracterização detalhada da composição lipídica destes coprodutos evidencia o seu elevado potencial para valorização biotecnológica, nomeadamente para a produção de óleos ricos em compostos bioativos e ingredientes de elevado valor acrescentado. Simultaneamente, estes resultados contribuem para promover a sustentabilidade da

indústria do pescado, reduzindo o desperdício e fomentando uma utilização mais eficiente dos recursos biológicos marinhos.

2.4. Atividade antioxidante

Os extratos lipídicos obtidos dos coprodutos marinhos foram utilizados para testar a sua atividade antioxidante e anti-inflamatória. A atividade antioxidante foi avaliada por meio dos ensaios DPPH e ABTS, e a atividade anti-inflamatória foi determinada por meio de um kit comercial de inibição da ciclooxygenase-2 (COX-2).

A avaliação antioxidante revelou um potencial limitado para a maioria dos extratos lipídicos dos coprodutos estudados, sendo a dourada a amostras com melhor desempenho, com uma inibição de $22,25 \pm 5,36\%$ no ensaio ABTS. Os restantes coprodutos apresentaram valores de inibição inferiores. Os resultados obtidos no ensaio de inibição da COX-2 evidenciaram um elevado potencial anti-inflamatório de todos os coprodutos analisados (dourada, sardinha, farinha de pescada e aparas de pescada), os quais promoveram taxas de inibição superiores a 97%.

Todos estes resultados encontram-se publicados nos seguintes artigos:

- João P. Monteiro, Tiago Sousa, Helena Ferreira, Marisa Pinho, Tânia Melo, Laura Goracci, Carla Pires, António Marques, Maria Leonor Nunes, Pedro Domingues, Ricardo Calado, M. Rosário Domingues (2025) Comprehensive Lipid Analysis of Hake (*Merluccius merluccius*) Co-Products: Exploring Key Features for Added Value Applications. Applied Food Research 5, 100839. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100839>
- João Pedro Monteiro, Tiago Sousa, Tânia Melo, Carla Pires, António Marques, Maria Leonor Nunes, Ricardo Calado and M. Rosário Domingues. (2024) Unveiling the Nutritional Features and Valorization Potential of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Heads. Marine Drugs, 22, 518. <https://doi.org/10.3390/md22110518>
- João P. Monteiro, Tiago Sousa, Marisa Pinho, Ana Moreira, Laura Goracci, Carla Pires, António Marques, Maria Leonor Nunes, Pedro Domingues, Ricardo Calado, M. Rosário Domingues (2025) Comparative lipid analysis and valorization strategies for processed gilthead seabream and European pilchard secondary raw materials. LWT - Food Science and Technology 225, 117888 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117888>

3. PRODUÇÃO DE COLAGÉNIO E GELATINA A PARTIR DE PELES DE PEIXE (COPRODUTOS DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE PESCADO)

3.1. Preparação dos coprodutos

O estado de conservação e segregação dos coprodutos destinados à preparação de colagénio e gelatina influenciam significativamente as propriedades dos extratos a obter. Assim, para gerar produtos de maior qualidade, compatíveis com a sua potencial utilização em aplicações biotecnológicas de elevado valor acrescentado, devem selecionar-se coprodutos específicos em que o teor de colagénio/gelatina é maior, como são as peles, idealmente sem mistura com outros coprodutos. Para além disso, as peles devem ser idealmente obtidas do peixe fresco e, se necessário, preservadas congeladas, ou retiradas do peixe congelado mantendo a cadeia de frio. Após interação com diversas empresas processadoras de pescado, foram consideradas peles de tubarão-azul (tintureira), de bacalhau, de corvina e de salmão, obtidas em processos de preparação do peixe para produção de postas e filetes.

3.2. Extração e rendimento na produção de colagénio e gelatina

O procedimento desenhado e validado para a produção sequencial de colagénio e gelatina a partir de peles de peixe, utilizando um conceito de biorrefinaria, está ilustrado na Figura 5 para o caso das peles de bacalhau. De forma breve, as peles de peixe, frescas ou após descongelação lenta, são lavadas com água fria corrente e limpas de resíduos de músculo e posteriormente tratadas com solução de hidróxido de sódio para remoção de proteínas não colagenosas. Após lavagem da biomassa até à neutralidade, se necessário, poderá haver um tratamento com peróxido de hidrogénio para remoção mais eficaz de pigmentos. De seguida, procede-se a uma extração com solução de ácido acético, tipicamente entre 0,1 e 0,5 M, obtendo-se uma mistura posteriormente separada por centrifugação. O sobrenadante corresponde a uma solução rica em colagénio, que é obtido por precipitação pela adição de sal, posteriormente purificado por diálise ou diafiltração e liofilizado. Até esta fase, todo o procedimento deve ser realizado a baixa temperatura (~5 °C) para evitar a desnaturação do colagénio. O precipitado do processo de extração de colagénio corresponde a biomassa ainda rica em proteína, submetida a um tratamento com água quente para produção de gelatina, obtida por liofilização. Há ainda uma biomassa remanescente que poderá ser encaminhada para eventual produção de lípidos ou para utilização em fertilizantes.



Figura 5. Esquema para a extração sequencial de colagénio e gelatina a partir de peles de peixe (coprodutos selecionados do seu processamento industrial).

O processo de extração de colagénio foi eficiente, sendo que os rendimentos de extração são influenciados pelo estado de conservação da biomassa e pelo seu teor de água. Considerando as peles obtidas como coprodutos de processos industriais, preservadas congeladas e processadas imediatamente após descongelação, obtiveram-se uns rendimentos operacionais entre 5 e 10% em massa, tal como indicado na tabela 2.

Tabela 2. Rendimento de extração de colagénio (%), com base em massa húmida, a partir de peles de peixe.

Peixe	bacalhau	tintureira	corvina
Rendimento (%)	5,1	8,3	4,8

3.3. Caracterização dos biopolímeros obtidos

O colagénio é uma proteína com funções estruturais de suporte, mas também bioquímicas influenciando diversas funções celulares, caracterizado por uma estrutura característica, em que 3 cadeias alfa se enrolam entre si formando uma hélice tripla. Nesta estrutura, verifica-se uma sequência particular de aminoácidos, do tipo Gly-X-Y, em que em cada 3 aminoácidos um é glicina, que permite o

entrelaçamento das cadeias, sendo os outros 2 variáveis (entre cerca de 19 aminoácidos diferentes que podem ser encontrados nas moléculas de colagénio), ocorrendo prolina e hidroxiprolina com abundância significativa, permitindo o estabelecimento de ligações de hidrogénio entre si que estabilizam a estrutura da proteína. Assim, quanto maior for o teor destes aminoácidos, nomeadamente de hidroxiprolina – específico de colagénios –, maior será a estabilidade térmica da proteína. A gelatina corresponde ao produto da desnaturação térmica do colagénio, partilhando assim a mesma sequência de aminoácidos. É particularmente interessante pelas suas propriedades viscoelásticas, formando géis em função da temperatura.

A caracterização espectroscópica das proteínas produzidas utilizando radiação infravermelho revela a presença das ligações químicas características do colagénio, nomeadamente as amidas A, B, I, II e III, tal como ilustrado no espectro FTIR da Figura 6.

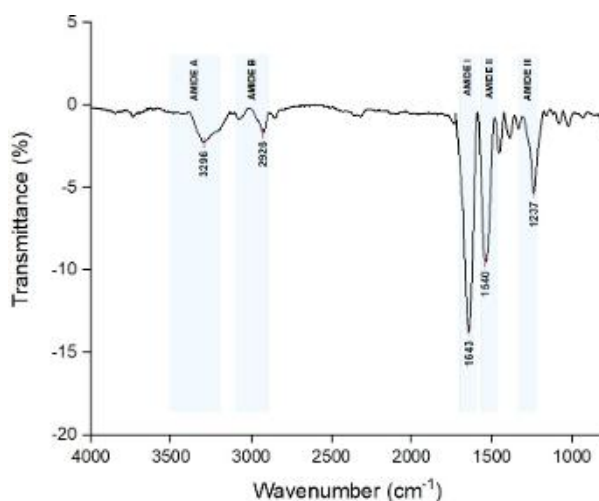


Figura 6. Espectro FTIR de colagénio extraído de peles de bacalhau, evidenciando as ligações amida características desta molécula.

Como referido anteriormente, a gelatina corresponde ao produto da desnaturação térmica do colagénio, tornando-se assim importante estudar esse fenómeno para os colagénios produzidos. Essa avaliação pode ser feita por análise reológica, considerando a alteração abrupta das propriedades com a alteração estrutural da molécula, mas será mais apropriado estudar o fenómeno através de uma técnica de análise térmica, nomeadamente de microcalorimetria diferencial de varrimento. Dessa forma, pode detetar-se o sinal correspondente à troca de calor (processo endotérmico) devida ao processo de desnaturação. Os valores obtidos para a temperatura de desnaturação dos colagénios obtidos das peles das diferentes espécies de peixe estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3. Temperatura de desnaturação dos colagénios extraídos de peles de peixe.

Peixe	bacalhau	tintureira	corvina
-------	----------	------------	---------

Temperatura de desnaturação (Td)	20,1 °C	30,3 °C	31,3 °C
----------------------------------	---------	---------	---------

A alteração estrutural associada ao processo de desnaturação pode ser analisada por espectroscopia de dicroísmo circular, realizada às amostras de colagénios e gelatinas. Tal como ilustrado nos espectros constantes na Figura 7, as amostras de colagénio são caracterizadas por uma banda intensa negativa, com centro em torno dos 195 nm, juntamente com uma banda positiva com máximo em torno dos 220 nm, enquanto que nas amostras de gelatina não se observa a banda positiva em resultado da perda da hélice tripla.

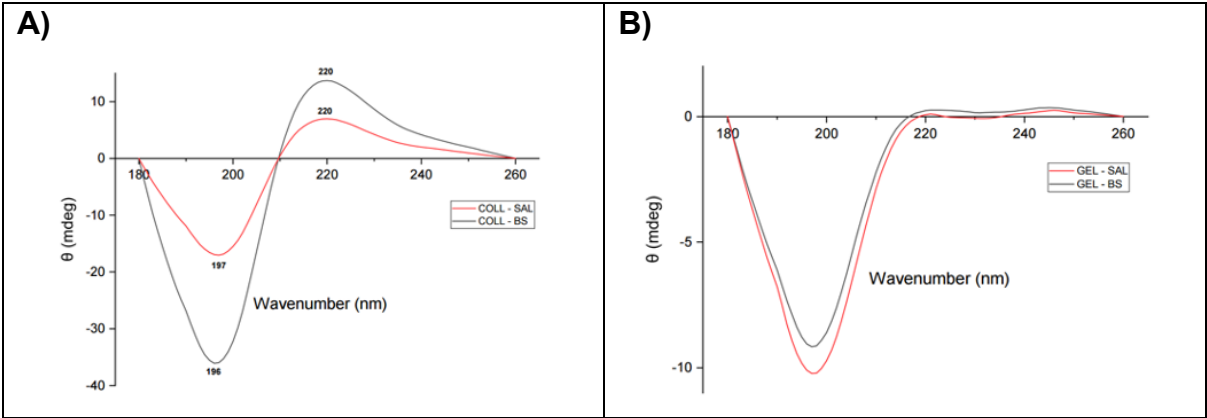


Figura 7. Espectros de dicroísmo circular de **A)** colagénio e **B)** gelatina extraídos de peles de salmão e tintureira.

A viscosidade das soluções de gelatina varia significativamente com a temperatura, em resultado da conformação desta molécula, sendo possível observar uma transição sol-gel, o que pode ser aproveitado para a utilização deste biopolímero na produção de géis termicamente reversíveis, como agente espessante, entre outros. As temperaturas a que as referidas transições de líquido para gel (gelificação) e de gel para líquido (fusão) ocorrem são dependentes das características químicas das gelatinas, influenciadas pela espécie de peixe da qual são obtidas, entre outros fatores. Assim, revelou-se importante determinar essas temperaturas de transição utilizando análise reológica com arrefecimento, observando a gelificação da solução de gelatina, e com aquecimento, observando a fusão do gel. Os valores das temperaturas a que ocorrem essas transições estão organizados na tabela 4.

Tabela 4. Temperaturas de gelificação e de fusão de gelatinas extraídas de peles de peixe, determinadas por análise reológica com arrefecimento ou aquecimento.

Peixe	bacalhau	tintureira	corvina	salmão
-------	----------	------------	---------	--------

Temperatura de gelificação / °C	6,8	18,9	20,6	9,3
Temperatura de fusão / °C	11,9	25,9	25,9	14,8

Considerando a potencial aplicação destes colagénio e gelatinas de peixe em biomedicina, a avaliação da sua citocompatibilidade é fundamental, tendo sido realizada através da análise do eventual efeito da adição destas moléculas na atividade metabólica de células determinadas. Nas experiências realizadas, a adição de colagénio ou gelatina de peixe ao meio de cultura celular até concentrações de 1 mg/mL não evidenciou nenhum efeito negativo sobre a atividade metabólica, do que resulta que os referidos biopolímeros são considerados citocompatíveis.

ANEXO

Enquadramento

Estimativas recentes indicam que cerca de 15% da produção mundial de peixe e produtos da pesca — o equivalente a aproximadamente 24 milhões de toneladas — foi perdida ou desperdiçada em 2022 (FAO, 2024). Estes números evidenciam a magnitude do problema ao longo da cadeia de valor dos produtos do mar, desde a captura e manuseamento inicial até ao processamento, distribuição e consumo final. Segundo o World Economic Forum (WEF, 2024), os maiores volumes de perdas e desperdícios resultam sobretudo das operações de processamento em terra, responsáveis por cerca de 9,3 milhões de toneladas, e das devoluções da pesca selvagem, estimadas em aproximadamente 8,4 milhões de toneladas. Estas devoluções incluem peixe capturado que, por diferentes razões — como quotas, tamanho inadequado ou baixo valor comercial — é rejeitado e devolvido ao mar, frequentemente sem possibilidade de sobrevivência.

De um modo geral, estes subprodutos têm tido como principal destino a produção de farinhas e óleos. Contudo, tendo em conta a informação científica atualmente disponível e os desenvolvimentos tecnológicos alcançados há uma nova visão de valorização, que é vista como uma prioridade global dentro da economia circular e da chamada “bioeconomia azul”, promovidas pela FAO e pela UE. Assim, muitos países já reutilizam uma parte significativa destes subprodutos no desenvolvimento de ingredientes para alimentação humana e rações para aquacultura e pecuária, fertilizantes orgânicos, produtos cosméticos e farmacêuticos, biomateriais e biocombustíveis (Halim et al. 2016; Waqar et al., 2025).

No sentido de contribuir para o desenvolvimento de uma cadeia integrada de valorização de subprodutos da indústria de processamento de peixe de captura e de aquacultura a nível nacional, são objetivos deste projeto: (i) identificar alguns dos subprodutos mais relevantes com largo espectro de potencial de valorização e os desafios que se colocam à sua valorização, (ii) selecionar e otimizar uma estratégia de valorização, e (iii) propor uma cadeia de valor.

Identificação de subprodutos relevantes e dos desafios que se colocam à sua valorização a nível nacional

A Indústria Transformadora da Pesca e Aquicultura registou em 2023 uma produção total de 263 mil toneladas distribuídas pelos subsectores de congelados (135 662 t), conservas de pescado (67 740 t) e secos e salgados (59 427 t). No que respeita aos congelados a produção incidiu em bacalhau (25,2%), invertebrados aquáticos (11,2%), sardinha (7,6%), pescada (6,7%) e outras espécies (49,4%), nos quais se incluem o polvo, salmão importado e peixes de aquacultura. No conjunto das preparações e conservas, as de atum foram as mais relevantes (26,9%) seguidas da sardinha (19,6%), cavala, cavalinha e sarda (4,5%), e outras espécies (49%),

incluindo as de cefalópodes e bivalves. No subsetor dos secos e salgados destacam-se o bacalhau (53,9%) e outros (espécies afins) (46,1%) (INE&DGRM, 2025).

De acordo com Almeida (2025) existem diferenças significativas na produção de desperdícios entre espécies, tipos de produção, origem e fase da cadeia de valor, sendo difícil quantificar as quantidades e o tipo de subprodutos gerados de modo a gerir eficazmente a sua valorização. Todavia, é conhecido que os subsectores que produzem mais desperdícios são os de congelados e das preparações e conservas. Pelo seu lado, o subsetor dos secos e salgados produz alguns desperdícios, mas a maioria tem um valor acrescentado bem definido, dado que a quase totalidade da matéria prima chega a Portugal já eviscerada e descabeçada. Tendo em conta a informação publicada por Moura (2025) referente a 2022 estes podem ser estimados ao redor de 124 000 t. A maioria das empresas está localizada nas NUTS Centro (39), Norte (37) e Oeste e Vale do Tejo (23) pelo que os desperdícios serão também mais abundantes nestas regiões.

Os principais subprodutos no subsetor de congelados incluem (i) cabeças, espinhas, peles, aparas e partes da cauda dos peixes, resultantes do corte mecânico ou manual e da preparação final de postas, filetes e tranches, e (ii) porções de peixe que foram preparadas e congeladas, mas que, por motivos puramente comerciais ou logísticos, não seguiram para a cadeia de retalho. No subsetor das conservas destacam-se as vísceras e cabeças que são removidas na fase de evisceração e descabeçamento e também a parte da barbatana caudal e pedaços de peixe que não se encaixam nos padrões dimensionais das latas (sobretudo nas conservas de cavala e sardinha). Por seu lado, o subsetor dos secos e salgados gera alguns desperdícios, sendo as cabeças e os fragmentos de músculo frequentemente direcionados para aproveitamento comercial.

Neste projeto COPRODUTOS, foi considerado importante valorizar desperdícios classificados de categoria 3 (Grau 3), i.e., partes de peixe e produtos da pesca ou da aquacultura seguros para consumo humano, mas que foram separados por motivos comerciais por não se destinarem ao consumo humano direto (Cooney et al., 2023; Department for Environment, Food & Rural Affairs and animal and Plant Health Agency, 2014; EC, 2009). Os coprodutos selecionados foram: cabeças e espinhas e aparas e pequenas porções de peixe da preparação manual ou mecânica de pescada, salmão, peixe espada preto, dourada e perca.

Apesar do elevado potencial destes subprodutos, existem vários obstáculos que dificultam o seu eficiente aproveitamento. Entre os principais desafios destacam-se a rápida deterioração dos resíduos, causada pelo elevado teor de água e nutrientes, pela autólise acelerada e pela intensa atividade microbiana; insuficientes infraestruturas nos locais de produção, especialmente ao nível da separação, recolha e armazenamento; disponibilidade variável e dispersa das matérias-primas; reduzida articulação entre produtores e compradores; e a sazonalidade associada às matérias-primas.

Para evitar a degradação dos coprodutos é necessário ajustar, alterar e otimizar algumas rotinas de modo a separar, estabilizar, conservar e armazenar os coprodutos. A segregação na fonte, que consiste na rápida separação de cabeças, peles, espinhas e aparas ao longo das diferentes etapas é necessária para evitar a contaminação cruzada e facilitar o encaminhamento para conservação e armazenagem. Para a estabilização têm sido estudadas algumas estratégias, destacando-se a utilização de antioxidantes para evitar a oxidação lipídica e da hemoglobina. A rápida refrigeração por curtos períodos ou congelação, no caso de períodos longos de armazenagem, é imprescindível.

Em conclusão, apesar do elevado potencial de valorização destes fluxos secundários, persistem desafios significativos relacionados com a qualidade dos coprodutos, limitações tecnológicas, infraestruturas e logística. No entanto, face à crescente procura por ingredientes proteicos, é expectável que parte destas barreiras venha a ser progressivamente ultrapassada.

Seleção e otimização de uma estratégia de valorização

No contexto deste projeto, foi selecionada a valorização dos desperdícios de peixe através da produção de hidrolisados proteicos (HP), por esta abordagem permitir a obtenção de produtos de elevado valor acrescentado. Os HP distinguem-se pela sua excelente composição nutricional, elevada bioatividade e fácil digestibilidade, quando comparados com outras fontes proteicas, constituindo ingredientes premium para as indústrias alimentar e animal, farmacêutica e cosmética. Esta opção justifica-se pelo elevado valor biológico e funcional das proteínas presentes, bem como pela existência de péptidos bioativos com elevada bioacessibilidade e propriedades antioxidantes, anti-hipertensivas e antimicrobianas relevantes.

Para otimizar o processo de preparação, foi programada a preparação de vários HP a partir de cabeças de salmão e cabeças de peixe espada preto; aparas de pescada e de perca; cabeças e espinhas de dourada, usando diferentes estratégias operativas ao nível das seguintes etapas principais:

- *Estabilização dos coprodutos antes da hidrólise:* Foi avaliado o efeito do antioxidante comercial Duralox MANC®, composto por uma mistura sinérgica de ingredientes de origem natural, incluindo extratos de alecrim, tocoferóis, ácido ascórbico e ácido cítrico, com capacidade de inibir a formação de peróxidos, aldeídos e cetonas. A eficácia do processo de estabilização foi determinada por meio da avaliação do grau de oxidação dos hidrolisados obtidos.
- *Estabilização durante a hidrólise:* Foi investigado o efeito da adição de Trolox, um composto cromanol com ação sequestrante de radicais livres, e de EDTA, agente quelante capaz de reduzir processos oxidativos. A eficiência da estabilização foi avaliada com base no grau de oxidação, bem como nas características de cor e odor dos hidrolisados produzidos.

- ***Seleção de enzimas:*** Foi realizada a comparação entre diferentes estratégias enzimáticas, nomeadamente a utilização de Alcalase isoladamente, Alcalase e Protana Prime® em simultâneo e a aplicação sequencial de Alcalase seguida de Protana Prime®. As enzimas selecionadas basearam-se em ensaios preliminares. A Alcalase 2.4L®, uma endopeptidase, foi escolhida devido à sua elevada especificidade de atuação e capacidade de promover altos graus de hidrólise em curtos períodos de reação e sob temperaturas moderadas, minimizando a degradação térmica dos aminoácidos. A Protana Prime®, constituída por uma mistura de exopeptidases, foi selecionada pela sua utilização frequente em processos sequenciais, atuando nas extremidades das cadeias peptídicas e contribuindo para o aumento do grau de hidrólise e do rendimento global do processo. A eficácia dos tratamentos enzimáticos foi avaliada com base no grau de hidrólise, na qualidade e quantidade de proteína obtida e nas atividades biológicas dos hidrolisados.
- ***Ajuste das condições de hidrólise:*** A otimização do processo de hidrólise considerou as características específicas das enzimas utilizadas, incluindo o controlo rigoroso da temperatura, do pH, do tempo de reação e da razão enzima/substrato (E/S). Estes parâmetros foram ajustados em função da matéria-prima e do grau de hidrólise pretendido, bem como das propriedades desejadas no produto final.
- ***Seleção do tempo e temperatura de inativação térmica da enzima:*** Foram avaliadas diferentes combinações de tempo e temperatura de inativação, com o objetivo de minimizar o impacto térmico sobre as proteínas e reduzir o consumo energético do processo.
- ***Secagem dos hidrolisados proteicos:*** Foi avaliado o efeito de diferentes métodos de secagem, nomeadamente a liofilização (*freeze drying*) e a atomização (*spray drying*), sobre as características dos hidrolisados obtidos.
- ***Armazenagem dos hidrolisados proteicos:*** Foi analisado o efeito de condições de armazenamento, incluindo o uso de embalagens herméticas e opacas, com o objetivo de minimizar processos oxidativos, bem como o controlo da temperatura de conservação.

Com base nos resultados obtidos, foi proposta uma cadeia de valor passível de aplicação na produção de hidrolisados proteicos por via enzimática, a partir dos desperdícios identificados como mais relevantes no subsector do pescado congelado.

Para além da produção de hidrolisados proteicos, foi igualmente explorada, como estratégia de valorização, a obtenção e caracterização de extratos lipídicos a partir de cabeças de salmão, cabeças e caudas de sardinha, cabeças e espinhas de dourada, bem como aparas e serradura de pescada. Estes extratos revelaram uma elevada diversidade de espécies lipídicas com funções celulares e fisiológicas relevantes, evidenciando o seu elevado potencial para valorização biotecnológica,

nomeadamente na produção de óleos enriquecidos em compostos bioativos e no desenvolvimento de ingredientes de elevado valor acrescentado.

Referências

- Almeida, C., Ribeiro, R., Pires, C., Nunes, L., Marques, A. 2025 Consumimos muito pescado em Portugal, mas também o desperdiçamos. Qual o destino deste desperdício? Indústria e Ambiente. <https://www.industriaeambiente.pt/noticias/consumimosmuitopescadomas-tambemodesperdicamos/>
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian journal of biochemistry and physiology, 37(8), 911-917.
- Cooney, R., de Sousa, D.B., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N., Morse, A.P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A.H. and Clifford, E., 2023. A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability. Journal of Cleaner Production, 392, p.136283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136283>
- Department for Environment, Food & Rural Affairs and animal and Plant Health Agency, 2014. Guidance for the animal by-product industry.
- EC Regulation 2009. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002. Official Journal of the European Union, L 300, p. 1–33, 14 nov.
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Halim, N., H. Yusof, and N. Sarbon. 2016. Functional and Bioactive Properties of Fish Protein Hydolysates and Peptides: A Comprehensive Review. Trends in Food Science & Technology 51: 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.007>
- <https://www.gov.uk/government/collections/guidance-for-the-animal-by-product-industry>
- Instituto Nacional de Estatística (INE) & Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM). (2025). Estatísticas da pesca 2024. Lisboa: INE. Disponível em <https://www.dgrm.pt/esta>
- Monteiro, J. P., Sousa, T., Ferreira, H., Pinho, M., Melo, T., Goracci, L., ... & Domingues, M. R. (2025). Comprehensive lipidomics analysis of Cape hake (*Merluccius capensis*) by-products: Screening key features for added value applications. Applied Food Research, 5(1), 100839.
- Moura, T.J.M., 2025. Circular Economy in the Portuguese Fish Processing Industry. Master's thesis. Universidade NOVA de Lisboa. <https://run.unl.pt/entities/publication/903a5c83-cbca-4b59-b0aa-23c6e44d3653>
- Waqar M, Sajjad N, Ullah Q, Vasanthkumar SS, Ahmed F, Panpipat W, Aluko RE, Kaur L, Chaijan M, Ageru TA, 2025. Fish By-Products Utilization in Food and Health: Extraction Technologies, Bioactive, and Sustainability Challenges. Food Sci Nutr. Nov 11;13(11): e71184. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71184>
- WEF (WORLD ECONOMIC FORUM), 2024. *Investigating Global Aquatic Food Loss and Waste*. Geneva: World Economic Forum.
- https://www3.weforum.org/docs/WEF_Investigating_Global_Aquatic_Food_Loss_and_Waste_2024.pdf Acesso em: maio 2026.