CABEÇAS DE SALMÃO (*Salmo salar*) COMO FONTE DE EPA E DHA: BALANÇO DE MASSA E POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO NO *FOOD SERVICE* BRASILEIRO

Kauan Prietsch[1]; Rafaella C. G. Müller[1]; Stéfanie M. dos Santos[1]; Leonardo Prade[1]; Adriana Seixas[1]; Carolina P. Kechinski[1]

[1] *Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), Departamento de Nutrição, Porto Alegre, RS, Brasil*

kauan.prietsch@ufcspa.edu.br

Palavras-Chave: salmão, Ômega-3 , valorização de coprodutos

Introdução

O salmão do Atlântico (*Salmo salar*) é o principal insumo da culinária japonesa praticada no Brasil, país que não produz a espécie e abastece integralmente seu mercado por importação. Em 2024, os embarques chilenos ao Brasil alcançaram 120,5 mil toneladas, o maior volume já registrado, com predomínio do peixe inteiro fresco eviscerado (HON, head-on gutted), formato preferido pelo canal de *food service* por permitir o corte e o porcionamento no próprio estabelecimento (SEAFOOD BRASIL, 2025). Essa preferência tem uma consequência pouco discutida: a operação de filetagem — e, portanto, a geração de coprodutos — foi deslocada da indústria processadora para milhares de cozinhas de restaurantes japoneses distribuídas pelo território nacional.

Entre os coprodutos gerados nessa operação, a cabeça é a fração de maior massa individual e a mais rica em lipídios. Estudos de caracterização nutricional de coprodutos de aquicultura reportam, para cabeças de S. salar, teor de EPA + DHA de 1,53 g 100 g^{-1} em base úmida, superior ao da pele (1,21 g 100 g^{-1}) e comparável ao das aparas (1,74 g 100 g^{-1}) (MALCORPS et al., 2021). A caracterização lipidômica de cabeças minimamente processadas confirma o predomínio de triacilgliceróis, com ácido oleico como componente majoritário, seguido dos ácidos palmítico, esteárico e linoleico, e presença minoritária de fosfolipídios e ceramidas (MONTEIRO et al., 2024). O mesmo material apresenta cerca de 62,6 % de umidade e, em base seca, 54,3 % de lipídios, 30,1 % de proteína e 2,7 % de cinzas, perfil que o caracteriza simultaneamente como matriz oleaginosa, proteica e mineral.

Do ponto de vista químico, o interesse recai sobre os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série n-3 — eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3) e docosa-hexaenoico (DHA, C22:6 n-3) —, cujas duplas ligações metileno-interrompidas conferem elevada suscetibilidade à autoxidação e impõem restrições severas de processamento e estabilização. Essa mesma instabilidade ajuda a explicar por que a destinação hoje dominante do resíduo — descarte como resíduo orgânico ou *rendering* para farinha e óleo de baixo valor — captura apenas uma fração mínima do valor latente da matéria-prima.

O contraste é evidente: enquanto descarta cabeças ricas em EPA e DHA, o Brasil importa concentrados de ômega-3 destinados a suplementos e alimentos funcionais. A literatura de valorização de coprodutos de salmão, contudo, concentra-se quase exclusivamente no resíduo industrial gerado em plantas de processamento, onde o material é abundante, homogêneo e centralizado. O resíduo gerado no ponto de consumo — descentralizado, de pequeno volume por unidade geradora e sujeito a cadeia fria precária — permanece sem quantificação e sem avaliação de rota tecnológica.

Diante desse cenário, hipotetiza-se que as cabeças de salmão geradas pelo *food service* brasileiro constituam uma fonte subaproveitada e quantitativamente relevante de EPA e DHA. Assim, este trabalho teve como objetivos: (i) construir um balanço de massa documentado desse coproduto no Brasil; (ii) estimar, por meio de cenários explícitos, a massa teoricamente disponível e

tecnicamente recuperável de EPA + DHA; e (iii) analisar criticamente rotas de extração e estabilização compatíveis com as características químicas e logísticas dessa matéria-prima.

Material e Métodos

Trata-se de estudo de prospecção técnico-científica baseado em modelagem determinística de balanço de massa e análise de cenários, sem etapa experimental nesta fase do estudo. O levantamento bibliográfico foi conduzido nas bases Web of Science, Scopus, ScienceDirect e PubMed, com os descritores ("salmon head" OR "*Salmo salar*") AND ("by-product" OR "side-stream") AND ("EPA" OR "DHA" OR "omega-3" OR "lipid extraction"), no período de 2019 a 2026. Foram incluídos apenas trabalhos que reportassem dados quantitativos por fração anatômica; parâmetros não sustentados por medida recuperável não foram interpolados. Os dados de comércio exterior foram obtidos das estatísticas de exportação chilena de salmonídeos ao Brasil, adotando-se 2024 como ano-base.

O balanço de massa foi descrito pelas equações:

$$Mcab = I \times fHON \times ycab \quad (1)$$

$$mteor = Mcab \times Cn\text{-}3 \quad (2)$$

$$mrec = mteor \times Rext \quad (3)$$

$$Neq = mrec / d \quad (4)$$

em que Mcab é a massa anual de cabeças (t ano^{-1}); I, o volume anual importado (t ano^{-1}); fHON, a fração comercializada como peixe inteiro eviscerado; ycab, o rendimento mássico da cabeça em relação ao peixe inteiro; Cn^{-3}, o teor de EPA + DHA da cabeça em base úmida; Rext, o rendimento de recuperação do óleo; para fins do modelo prospectivo, assumiu-se que a recuperação relativa de EPA + DHA acompanha proporcionalmente a recuperação da fração lipídica, hipótese que deverá ser verificada experimentalmente. Neq corresponde ao número de equivalentes de ingestão diária e d à ingestão diária de referência de EPA + DHA..

Adotaram-se ycab = 0,11, Cn-3 = 15,3 kg t^{-1} (equivalente a 1,53 g 100 g^{-1} em base úmida — b.u.; MALCORPS et al., 2021) e d = 0,25 g dia^{-1}, correspondente à Ingestão Adequada (AI) de EPA + DHA para adultos, conforme estabelecido pela EFSA (EFSA NDA PANEL, 2010). Na ausência de estatística nacional desagregada para a fração de salmão comercializada como peixe inteiro eviscerado (fHON), esse parâmetro foi tratado por análise de cenários, e não como estimativa observacional do mercado brasileiro. Foram considerados os cenários conservador (fHON = 0,60; Rext = 0,75), intermediário (0,75; 0,85) e otimista (0,90; 0,90). A faixa adotada para Rext foi fundamentada nos rendimentos relativos de recuperação de óleo reportados para hidrólise enzimática de cabeças de S. salar em condições brandas (GBOGOURI et al., 2006; KOTSONI et al., 2024). Todas as unidades seguem o Sistema Internacional de Unidades.

Resultados e Discussão

O balanço de massa estimou, conforme as premissas dos três cenários avaliados, um fluxo potencial de aproximadamente 8 a 12 mil toneladas anuais de cabeças de salmão geradas pelo *food service* brasileiro (Tabela 1).

Tabela 1. Balanço de massa e potencial de recuperação de EPA + DHA a partir de cabeças de salmão descartadas no canal de *food service* brasileiro (ano-base 2024; I = 120,5 × 10³ t ano^{-1}).

Parâmetro / cenário	Conservador	Intermediário	Otimista
fHON (fração inteiro eviscerado)	0,60	0,75	0,90
Rext (recuperação de óleo)	0,75	0,85	0,90
Massa de cabeças (t ano^{-1})	7,953	9,941	11,930
EPA + DHA teórico (t ano^{-1})	121,7	152,1	182,5
EPA + DHA recuperável (t ano^{-1})	91,3	129,3	164,3
Equivalentes de ingestão diária de 250 mg (10^{6} ano^{-1})	365	517	657
Equivalente populacional anual teórico (10^{6} adultos)	1,00	1,42	1,80

Mesmo no cenário conservador, a massa estimada de EPA + DHA tecnicamente recuperável (91,3 t ano^{-1}) corresponde a aproximadamente 365 milhões de equivalentes de ingestão diária de 250 mg, o que representa, em termos teóricos, a ingestão de referência anual de cerca de 1,0 milhão de adultos. No cenário otimista, esse equivalente alcança aproximadamente 1,8 milhão de adultos por ano. A magnitude estimada evidencia que mesmo o cenário mais restritivo representa um fluxo quantitativamente relevante de ácidos graxos n-3 de cadeia longa, justificando a caracterização experimental do coproduto em condições brasileiras.

Como verificação interna de plausibilidade, considerando teor lipídico de aproximadamente 15 % em base úmida, o cenário intermediário corresponderia a cerca de 1,5 mil toneladas de óleo bruto por ano. A quantidade estimada de EPA + DHA representa aproximadamente 10 % desse óleo, ordem de grandeza compatível com a composição lipídica reportada para matrizes de pescado. Essa concordância não constitui validação experimental, mas reforça a consistência interna do balanço proposto.

A principal restrição química não é a disponibilidade, mas a estabilidade oxidativa. As múltiplas insaturações do EPA e do DHA tornam o óleo suscetível à formação de hidroperóxidos e de compostos secundários responsáveis pelo *off-flavor* característico, processo acelerado por temperatura, luz, oxigênio, enquanto a lipase endógena remanescente no tecido pode promover a hidrólise de triacilgliceróis, aumentando a formação de ácidos graxos livres e contribuindo para a deterioração da matéria-prima. Esse dado condiciona a escolha da rota: processos térmicos convencionais podem elevar o rendimento, mas, dependendo das condições de temperatura e tempo de exposição, podem favorecer a degradação dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), enquanto rotas brandas tendem a preservar o perfil de ácidos graxos. A hidrólise de cabeças de S. salar com proteases comerciais recupera cerca de 17 % de óleo em 2 h, valor próximo dos 20 % obtidos por extração química e equivalente a uma recuperação relativa da ordem de 85 % em condições brandas (GBOGOURI et al., 2006). O pré-tratamento por alta pressão associado à hidrólise permite modular o rendimento, mas pode induzir oxidação lipídica, de modo que rendimento e qualidade do óleo precisam ser otimizados conjuntamente (KOTSONI et al., 2024). A extração com CO_2 supercrítico constitui uma alternativa de menor impacto ambiental para a recuperação de lipídios neutros e compostos apolares, operando em condições brandas e gerando extrato isento de solvente, mas apresenta elevado investimento inicial (CAPEX) e baixa aderência a um resíduo descentralizado (AHMADKELAYEH; HAWBOLDT, 2020). Entre as alternativas identificadas na literatura, a hidrólise enzimática aquosa em condições brandas (Alcalase, Protamex) destaca-se como uma rota particularmente promissora para esse contexto, por combinar recuperação lipídica com a possibilidade de obtenção simultânea de hidrolisados proteicos de maior valor agregado (VÁZQUEZ et al., 2019).

Esse último ponto reorienta a lógica de destinação. Tratar a cabeça exclusivamente como fonte de óleo captura apenas parte do seu valor: após a desengorduração, o resíduo ainda fornece hidrolisados com atividade antioxidante e inibitória da enzima conversora de angiotensina (PIRES et al., 2024) e uma fração mineral rica em cálcio e hidroxiapatita. Esses resultados sustentam uma abordagem de valorização em cascata, na qual a cabeça deixa de ser considerada exclusivamente uma fonte de óleo e passa a ser tratada como matéria-prima de uma biorrefinaria marinha: inicialmente para recuperação da fração lipídica rica em EPA e DHA, seguida pela obtenção de hidrolisados proteicos e, posteriormente, pelo aproveitamento da fração mineral. Essa abordagem amplia o aproveitamento da biomassa e reduz a geração de resíduos secundários. A estabilização deve ser co-projetada com a extração, e não tratada como etapa posterior: a microencapsulação por *spray-drying* constitui uma estratégia para proteção de compostos lipídicos durante a armazenagem e incorporação em alimentos (DURMUS et al., 2023).

Um dos principais gargalos para a aplicação prática da rota é de natureza logística e regulatória. Diferentemente do resíduo industrial, o material aqui considerado é gerado de forma pulverizada, em pequenos volumes por estabelecimento e sob cadeia fria variável — condição que exige uma rede de coleta refrigerada de alta frequência, em modelo análogo ao já consolidado para

óleo de fritura residual em municípios brasileiros. Além dos desafios químicos, a viabilidade do aproveitamento depende da estruturação de uma cadeia de coleta refrigerada, de rastreabilidade e da definição das condições sanitárias aplicáveis à destinação pretendida. A geração descentralizada em restaurantes constitui, portanto, uma restrição logística que deverá ser incorporada à futura avaliação de viabilidade técnico-econômica da cadeia.

Assim, o principal resultado desta prospecção não é apenas a estimativa de uma massa potencialmente recuperável de EPA e DHA, mas a identificação de um fluxo descentralizado de biomassa marinha ainda não integrado a estratégias sistemáticas de valorização no Brasil.

Como toda modelagem prospectiva, os valores obtidos devem ser interpretados como estimativas condicionadas às premissas adotadas. A principal fonte de incerteza é fHON, uma vez que a repartição nacional entre peixe inteiro e filé importado não é reportada de forma desagregada. Além disso, Cn-3 foi derivado de salmão cultivado na Europa e pode diferir do material chileno em função da dieta, estação e condições de criação, enquanto a taxa efetiva de captura do resíduo nos estabelecimentos ainda não foi mensurada. Esses três parâmetros constituem a agenda experimental prioritária: caracterização físico-química (umidade, lipídios totais, perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), índices de peróxido e de acidez) de cabeças coletadas em restaurantes brasileiros e levantamento primário de geração por estabelecimento.

Conclusões

O balanço de massa indica que as cabeças de salmão descartadas pelo *food service* brasileiro podem representar um fluxo potencial de aproximadamente 8 a 12 mil toneladas anuais, contendo de 122 a 183 toneladas de EPA + DHA. Considerando os cenários de recuperação adotados, estima-se que entre 91 e 164 toneladas anuais desses ácidos graxos possam ser tecnicamente recuperáveis, correspondendo, em termos teóricos, à ingestão de referência anual de aproximadamente 1,0 a 1,8 milhão de adultos.

A magnitude desse potencial justifica o avanço de estudos voltados à valorização da cabeça de salmão como coproduto de interesse químico e tecnológico. Entre as alternativas descritas na literatura, a hidrólise enzimática aquosa em condições brandas mostra-se particularmente promissora, sobretudo quando inserida em uma estratégia de valorização em cascata das frações lipídica, proteica e mineral. A validação experimental da composição de cabeças provenientes do mercado brasileiro, associada à quantificação primária da geração desse resíduo e à avaliação de sua estabilidade oxidativa, constitui o próximo passo para converter o potencial teórico identificado em uma rota efetiva de valorização.

Agradecimentos

À UFCSPA e ao Departamento de Nutrição pelo apoio institucional a esta pesquisa.

Referências

AHMADKELAYEH, S.; HAWBOLDT, K. Extraction of lipids and astaxanthin from crustacean by-products: a review on supercritical CO2 extraction. **Trends in Food Science & Technology**, 103, 94-108, 2020.

DURMUS, M.; ÖZOGUL, Y.; OZYURT, G.; UCAR, Y.; KOSKER, A. R.; YAZGAN, H.; IBRAHIM, S. A.; ÖZOGUL, F. Effects of citrus essential oils on the oxidative stability of microencapsulated fish oil by spray-drying. **Frontiers in Nutrition**, 9, 978130, 2023.

EFSA NDA PANEL. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, v. 8, n. 3, p. 1461, 2010. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1461.

GBOGOURI, G. A.; LINDER, M.; FANNI, J.; PARMENTIER, M. Analysis of lipids extracted from salmon (Salmo salar) heads by commercial proteolytic enzymes. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 108(9), 766-775, 2006.

KOTSONI, E.; DAUKŠAS, E.; AAS, G. H.; RUSTAD, T.; TIWARI, B. K.; CROPOTOVA, J. Quality assessment of fish oil obtained after enzymatic hydrolysis of a mixture of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and Atlantic salmon (Salmo salar) rest raw material pretreated by high pressure. **Marine Drugs**, 22(6), 261, 2024.

MALCORPS, W.; NEWTON, R. W.; SPRAGUE, M.; GLENCROSS, B. D.; LITTLE, D. C. Nutritional characterisation of European aquaculture processing by-products to facilitate strategic utilisation. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 5, 720595, 2021.

MONTEIRO, J. P.; SOUSA, T.; MELO, T.; PIRES, C.; MARQUES, A.; NUNES, M. L.; CALADO, R.; DOMINGUES, M. R. Unveiling the lipid features and valorization potential of Atlantic salmon (Salmo salar) heads. **Marine Drugs**, 22(11), 518, 2024.

PIRES, C.; LEITÃO, M.; SAPATINHA, M.; GONÇALVES, A.; OLIVEIRA, H.; NUNES, M. L.; TEIXEIRA, B.; MENDES, R.; CAMACHO, C.; MACHADO, M.; PINTADO, M.; RIBEIRO, A. R.; VIEIRA, E. F.; DELERUE-MATOS, C.; LOURENÇO, H. M.; MARQUES, A. Protein hydrolysates from salmon heads and Cape hake by-products: comparing enzymatic method with subcritical water extraction on bioactivity properties. **Foods**, 13(15), 2418, 2024.

SEAFOOD BRASIL. A combinação que faz o Brasil ser um mercado estratégico para o salmão. **Seafood Brasil**, 2025. Disponível em: https://www.seafoodbrasil.com.br/a-combinacao-que-faz-o-brasil-ser-um-mercado-estrategico-para-o-salmao. Acesso em: 20 ago. 2026.

VÁZQUEZ, J. A.; SOTELO, C. G.; SANZ, N.; PÉREZ-MARTÍN, R. I.; RODRÍGUEZ-AMADO, I.; VALCARCEL, J. Valorization of aquaculture by-products of salmonids to produce enzymatic hydrolysates: process optimization, chemical characterization and evaluation of bioactives. **Marine Drugs**, 17(12), 676, 2019.