



Consumo energético para desidratação de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em liofilizador vertical

Leonardo Balcewicz Junior¹, Pauliana Leão de Souza², Daniel da Silva Ladislau^{3,*}, Janaina Fernanda Rossetto⁴, Altevair Signor⁵



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p4131-4151>

Artigo recebido em 2 de Agosto e publicado em 2 de Outubro de 2025

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o consumo energético para desidratação de filés de tilápia do Nilo em um liofilizador vertical. O liofilizador vertical, ainda no estágio de protótipo, foi submetido a ensaios controlados dentro de câmara de ensaios durante o período de 432 horas. Para realização da avaliação do consumo energético, diferentes amostras de filés de tilápia de massas iniciais de 1,5 kg, 2,5 kg, 3,5 kg e 4,5 kg, totalizando 48kg, foram submetidas à desidratação. O processo consistiu, primeiramente, em submetê-las a um túnel de congelamento Blast Chiller 230L. Congeladas a -30°C as amostras, foram submetidas ao processo de liofilização com durações de 18, 24, 30 e 36 horas e medidas as massas finais (em porcentagem em relação às massas iniciais) e o consumo médio em W/h. Avaliou-se o consumo energético e o tempo necessário para atingir o nível considerado como ideal para desidratação dos filés de tilápia (30% de matéria seca). Comparou-se o consumo energético de um container e o consumo energético para massa equivalente no processo de liofilização. Na avaliação dos resultados do processo de liofilização, detectou-se a possibilidade de melhoras no equipamento. Melhoras estas que podem ser implantadas numa nova versão do liofilizador vertical e no processo de liofilização.

Palavras-chave: Consumo energético, Desidratação de alimentos, Desidratação de filés de tilápia, Liofilizador.



Energy consumption for dehydration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets in a vertical freeze dryer

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the energy consumption for dehydrating Nile Tilapia fillets in a vertical lyophilizer (freeze dryer vertical). The lyophilizer, still in the prototype stage, was subjected to controlled tests inside a test chamber over a period of 432 hours. To evaluate energy consumption, different samples of tilapia fillets with initial masses of 1.5 kg, 2.5 kg, 3.5 kg and 4.5 kg, totaling 48 kg, were subjected to dehydration. The process consisted, first, of subjecting them to a Blast Chiller 230L freezing tunnel. Once the samples were frozen (-30°C), they were subjected to the freeze-drying process lasting 18, 24, 30 and 36 hours and the final masses were measured (in percentage in relation to the initial masses) and the average consumption in W/h. Energy consumption and the time required to reach the level considered ideal for dehydrating tilapia fillets (30% dry matter) were evaluated. The energy consumption of a container was compared with the energy consumption for an equivalent mass in the freeze-drying process. When evaluating the results of the freeze-drying process, the possibility of improvements to the equipment was detected. These improvements can be implemented in a new version of the vertical lyophilizer and in the freeze drying process.

Keywords: Energy use in dehydration, Freeze dryer, Dehydrator Machine Food, Dehydration of Nile tilapia fillets, Lyophilizer.

Instituição afiliada:

^{1,5} Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável.

^{2,3,4,e 5} Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Campus Toledo, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

*Autor correspondente: danielladislaui@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

A piscicultura no Brasil tem experimentado crescimento contínuo ao longo das últimas décadas (VALENTI et al. 2021). E parte disto deve-se a intensa profissionalização do setor produtivo e do processamento do pescado, fatores que têm contribuído para seu desenvolvimento (FEIDEN et al. 2018). Mesmo enfrentando momentos de instabilidades, em 2024 a produção nacional de peixes de cultivo cresceu 9,2%, alcançando uma produção de 968.745 toneladas, gerando em torno de US\$ 59.016 mil em receitas para o país. Diante do potencial de crescimento do consumo e exportação de produtos derivados de peixes de cultivo, frigoríficos e cooperativas estão buscando aumentar sua capacidade de produção e processamento do pescado (PEIXE BR, 2025).

A energia elétrica tornou-se um recurso essencial para humanidade, impulsionou o estilo de vida atual e agindo de forma direta ou indireta nas mais variadas atividades do nosso cotidiano, seja ela industrial, doméstica ou de lazer (CURY et al. 2021; SILVA e PRAT 2020). Permitindo a criação de sistemas de refrigeração e congelamento, os quais são fundamentais para conservação de alimentos e bebidas, seja em ambientes residenciais, comerciais ou industriais (COSTA et al. 2021). Sistema que também é essencial para a conservação do pescado, principalmente *in natura*, por ser um alimento de rápida deterioração, quando conservado adequadamente, prolonga sua vida de prateleira por um período de 6 meses a 8 meses (OGAWA e MAIA 1999; OETTERER et al. 2012; FAO 2023). Na indústria do pescado, o maior consumo energético está associado aos equipamentos de refrigeração, levando as empresas do segmento a buscarem novas alternativas que proporcionem uma maior economia de energia (AHADI et al. 2021).

Entre os diferentes métodos de secagem de alimentos está a liofilização, processo no qual consiste na desidratação por sublimação de um produto congelado a -40°C em câmaras de alto vácuo, que devido à ausência de água líquida e às baixas temperaturas exigidas para o processo, a maior parte da deterioração e das reações microbiológicas são interrompidas (RATTI 2001; ADEYEYE 2019; NOWAK e JAKUBCZYK et al. 2020; BARROS et al. 2020; RYBAK et al. 2021). Além disso, reduz as perdas das características físicas do produto, como o sabor e aroma (OYINLOYE e YOON 2020; ZENG et al. 2024). Este processo favorece o transporte, pois reduz o volume e biomassa,



conservando o alimento por mais tempo, aumentando a vida de prateleira (AMÂNCIO *et al.* 2012; CELESTINO 2010).

Apesar de apresentar muitas vantagens, o processo de liofilização quando comparado a outros processos de desidratação apresentam custo elevado, o que têm desestimulado o interesse pelo emprego desse método pela indústria alimentícia (RATTI 2001). Portanto, Torna-se necessário a realização de novos estudos que visem o aprimoramento deste método e viabilizem seu uso pela indústria de alimentos, especialmente o segmento pesqueiro, através estratégias modernas que possibilitem maiores períodos de armazenamento do pescado com menores custos.

Diante disso, o objetivo do presente estudo esteve em analisar o consumo energético durante o processo de liofilização de filés de tilápia, no intuito de conhecer sua empregabilidade na indústria alimentícia e a cadeia produtiva de piscicultura na região do Oeste do Paraná. Especificamente, procurou-se responder aos seguintes questionamentos: a) Qual o consumo energético de um protótipo de liofilizador vertical durante a liofilização de filés de tilápia? b) Qual a eficiência do protótipo de liofilizador vertical? Além disso, também estimamos o consumo energético de um *container* de refrigeração utilizado para o transporte de filés de tilápia.

METODOLOGIA

Local do Experimento e Matéria-Prima

O experimento foi realizado em uma câmara de ensaios controlados (Figura 01 A), cedida pela empresa Zero Grau, localizada na cidade de Nova Santa Rosa, Paraná. A câmara de ensaios era detentora de isolamento térmico, no intuito de minimizar interferências externas e manter a estabilidade da temperatura, permitindo assim o monitoramento efetivo do equipamento e do experimento. O liofilizador vertical foi submetido a testes controlados dentro da câmara de ensaios durante o período de 432 horas.

Figura 1. A) Câmara de ensaios controlados; B) Bandejas de acomodação dos filés no Blast Chiller 230L.



Fonte: Autores, 2025.

Os filés foram obtidos por meio de doações de frigoríficos da região Oeste do Paraná, totalizando 60 kg de filés sem espinhas e sem couro, com amostras pesando em torno de 100 g a 300 g. Todos os filés foram transportados em caixas térmicas até o local do experimento.

Os filés de tilápia foram acomodados separadamente fora das embalagens, em bandejas de aço Inox AISI 304 em um túnel de congelamento Blast Chiller 230L (Figura 1 B) e congelados em bateladas. No intuito de simular as mesmas características de congelamento para todas as bateladas, manteve-se a temperatura da câmara de teste sob controle e monitoramento.

Ao todo, foram utilizados 20 kg de filés de tilápia por batelada, os quais foram dispostos em bandejas, congelados separadamente para facilitar a acomodação, e posteriormente separadas de forma que a circulação de ar atingisse todos os filés, alcançando uma temperatura de -40°C . Com auxílio de uma sonda espeto foi possível aferir a temperatura do produto acondicionado dentro do túnel de congelamento, permitindo assim que os filés atingissem a temperatura interna de -30°C . Após congelados, os filés foram embalados em pacotes plásticos e armazenados a -18°C para liofilização.



Protótipo de Liofilizador

Para a realização do experimento foi utilizado um protótipo de liofilizador vertical (Patente de invenção BR 10 2020 010874 3), composto por seis compartimentos (Figura 2 A e B):

A) Câmara de liofilização: Compartimento em formato cilíndrico, composto de aço Inox AISI 304 com volume interno de 0,065 m³. Local onde o produto é acomodado para ser submetido à desidratação. Além disso, possui um sistema de aquecimento por condução para o aumento da temperatura do produto, favorecendo assim a sublimação;

B) Prateleiras: Estruturas formadas por estruturas circulares perfuradas e ajustáveis, permitindo alterar o espaço entre suas partes, evitando prejudicar o fluxo de vapor de água da sublimação. A temperatura nesse espaço é medida por sensores fixados na prateleira e no tubo que acomoda a resistência;

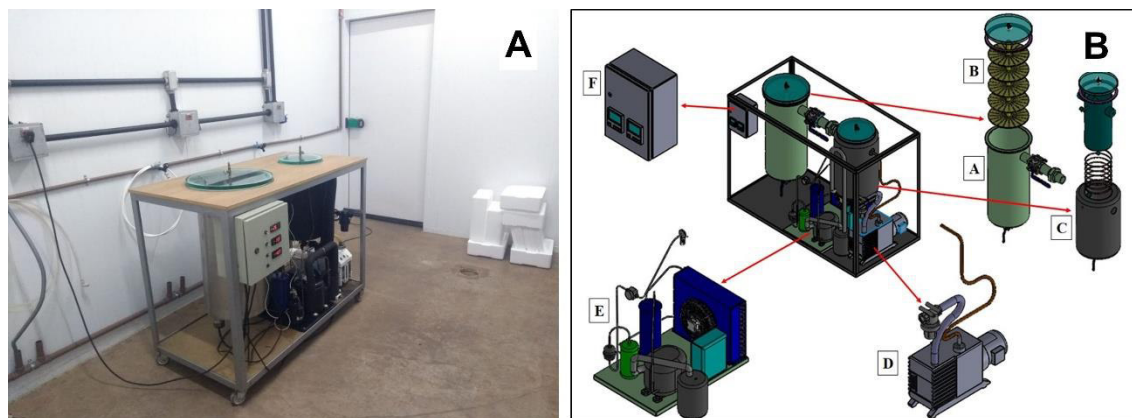
C) Câmara de sequestro de umidade: Estrutura em formato cilíndrico, composta por aço Inox AISI 304 com volume interno de 0,016 m³. Possui um sistema de refrigeração instalado, o qual opera com níveis de temperatura abaixo da temperatura do produto, no intuito de reter ao máximo a umidade da câmara de liofilização;

D) Bomba de duplo estágio: Bomba de vácuo, responsável pela remoção do oxigênio, da umidade e outros gases presentes na câmara de sequestro de umidade;

E) Unidade compressora e condensadora de ar e fluido para baixas temperaturas de evaporação: Unidade equipada com acessórios para operar em baixas temperaturas, com a função de sequestrar a umidade que se desprende do filé de tilápia durante a desidratação;

F) Quadro de comando para controle e operação do liofilizador: Dispositivo de proteção contra mau funcionamento e segurança da bomba de vácuo, controle de temperaturas interna nas prateleiras que acomodam o filé, monitoramento da temperatura ambiente e acionamento individualizado de cada sistema elétrico do liofilizador.

Figura 2. Protótipo de liofilizador; B) Representação esquemática dos principais compartimentos do protótipo de liofilizador: A) Câmara de liofilização, B) Prateleiras, C) Câmara de sequestro de umidade, D) Bomba de duplo estágio (vácuo), E) Unidade compressora e condensadora de ar e fluido para baixas temperaturas de evaporação e F) Quadro de comando e operação do liofilizador.



Fonte: Autores, 2025.

Processo de liofilização dos filés

Para o processo de liofilização foram estabelecidos quatro tempos e quatro processos com massa inicial para cada tempo (Figura 3). Os filés foram dispostos de forma aleatória nas prateleiras do liofilizador (Figura 2B - B) até atingir a massa determinada em balança, com precisão de 5 g, com capacidade máxima de 100 kg. Após acondicionamento dos filés nas prateleiras, dentro da câmara de liofilização (Figura 2B - A), foi realizado o controle de temperatura no interior da câmara de ensaios controlados (Figura 2B - A), para que o ciclo termodinâmico desenvolvido no sistema de refrigeração do liofilizador vertical, responsável pelo sequestro da umidade (Figura 2B - C), operasse de maneira estável, sem interferências do meio externo.

Figura 3. Representação esquemática das massas e tempos de liofilização dos filés de tilápia.



Fonte: Autores, 2025.

Para o presente experimento, foi estabelecido que a concentração de água presente nos filés de tilápia, antes do processo de liofilização, seria em torno de $77,98 \pm 2,94\%$ (FERRIGOLO et al. 2021). Além disso, também optou-se por um parâmetro de



referência de 30% de massa final para os filés de tilápia, como nível desejado para classificá-los como desidratados. Essa condição baseou-se na somatória de 22,02% de massa seca de um filé de tilápia mais os 8%, segundo Fellows (2006), da água possível de encontrarmos ainda no alimento desidratado.

Determinação do Consumo Energético do Protótipo de Liofilizador Vertical

O registro do consumo de energia do protótipo de liofilizador foi realizado através de um controlador eletrônico Energy LOG Plus da fabricante Full Gauge Controls (Figura 4), o qual possui um *data-logger* para registro das informações coletadas. O controlador eletrônico é detentor de um *software* que possibilita o monitoramento e indica a qualidade e consumo de energia elétrica. Além disso, conta com um relógio de tempo real que possui memória interna capaz de armazenar os valores medidos da rede elétrica em períodos de tempo determinados.

Figura 4. Controlador eletrônico Energy LOG Plus da fabricante Full Gauge Controls.



Fonte: <https://www.fullgauge.com.br/produto-energylog-plus>.

Os registros do consumo energético do equipamento foram realizados em intervalos de 1 minuto. Os dados do *logger* foram copiados para o computador para formação tanto dos gráficos de consumo energético, quanto do cálculo das médias de consumo energético. Durante as fases de execução do experimento, o equipamento não registrou interrupções da rede de energia na região.

Para realização das estimativas de consumo energético entre o armazenamento de filés liofilizados e congelados acondicionados em *container* a -18°C, utilizou-se o modelo empregado pela Cooperativa Copacol no transporte de filés de tilápia



produzidas na Região do Oeste do Paraná (Comunicação pessoal, 2023). Considerando que a capacidade de transporte da cooperativa gire em torno de 15.900,00 kg de filés de tilápia congelados, obedecendo as áreas de circulação de ar para garantir a troca térmica interna. Adotamos o seguinte modelo: um *container* padrão de mercado de 40 pés com espaço interno de 11.561 mm x 2.268 mm x 2.249 mm, com capacidade cúbica total de 58,9 m³ e consumo energético de 7,5 kW/h.

Análise dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão não linear simples (GUIMARÃES 2008), conforme a equação:

$$y = a * e^{(bx)} \quad (1)$$

Onde:

y= o tempo de processo de liofilização;

a= coeficiente de interceptação da curva exponencial;

x= percentual de perda de água dos filés de tilápia;

b= coeficiente de inclinação da curva exponencial.

O intuito da análise foi determinar a eficiência do processo de liofilização dos filés no decorrer das fases de desidratação primária (fase em que ocorre a remoção de água do tecido) e secundária (fase onde há remoção de água das células). Além disso, para melhor ajuste dos dados coletados ao modelo estatístico, foi empregada uma análise de potência, possibilitando assim a realização de uma prospecção dos resultados esperados. Todos os dados coletados foram tabulados e analisados utilizando as ferramentas estatísticas do programa Microsoft Excel 2016.

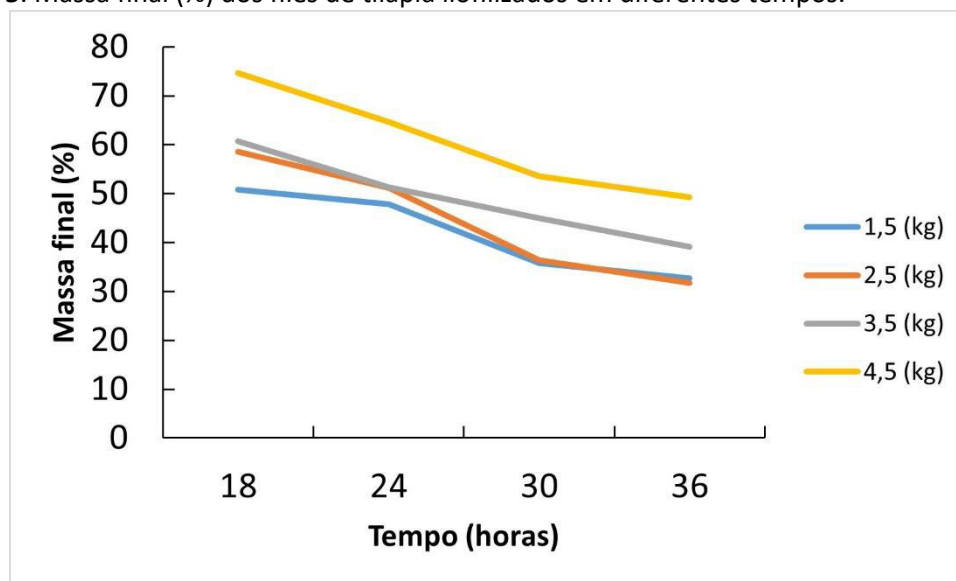
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do processo de liofilização dos filés de tilápia demonstraram que filés com 4,5 kg liofilizados por 18 h, obtiveram maior percentual de redução de massa final (74,7%) entre os tratamentos (Figura 5). Filés com os mesmos teores de massa



submetidos a tempos de processamento maiores (24 h), também demonstraram resultados significativos em relação à perda de massa (64,6%; Figura 5). A perda de água nesta etapa (sublimação) do processo era esperada, pois a água não está ligada a estrutura molecular do alimento, resultando assim em maiores taxas de desidratação do material (DUAN et al. 2016; DAL-BÓ et al. 2019). Por exemplo, no estudo conduzido por Alhamid et al. (2012), os pesquisadores observaram que durante o processo de liofilização de água-viva (*Schypomedusae*) a perda de massa ocorre principalmente nas etapas iniciais, mediante ao congelamento a vácuo. Os maiores percentuais de perda de massa (em relação à massa inicial) foram registrados para os filés de 1,5 kg (32,7%) e 2,5 kg (31,7%) processados por 36 h (Figura 5).

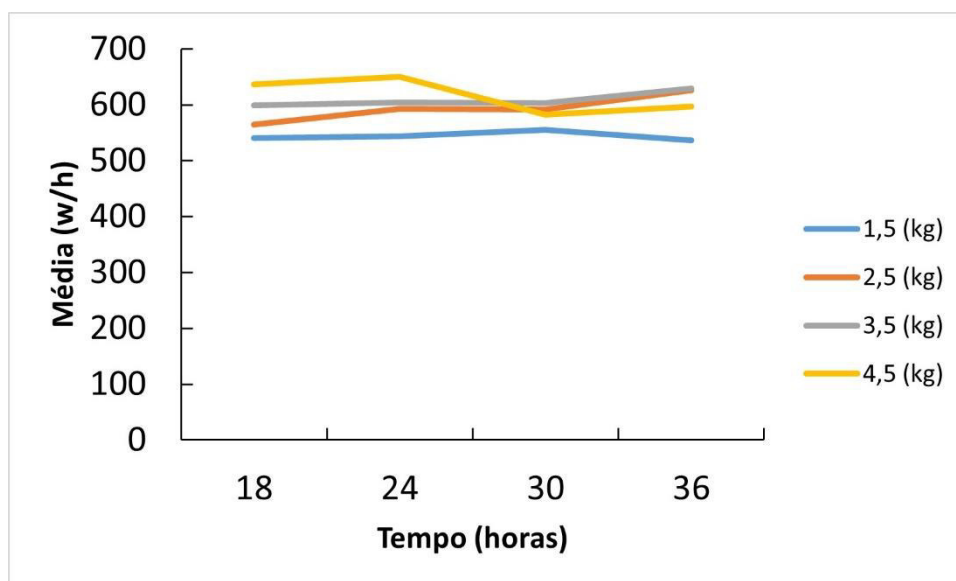
Figura 5. Massa final (%) dos filés de tilápia liofilizados em diferentes tempos.



Fonte: Autores, 2025.

Em relação ao consumo energético do liofilizador, observou-se que o consumo energético médio foi de 590 W/h (Figura 6). O maior pico de consumo energético foi registrado durante a liofilização de filés de 4,5 kg em um período de 24 horas (650,33 W/h; Figura 6).

Figura 6. Média de consumo energético do liofilizador durante a liofilização de filés de tilápia.



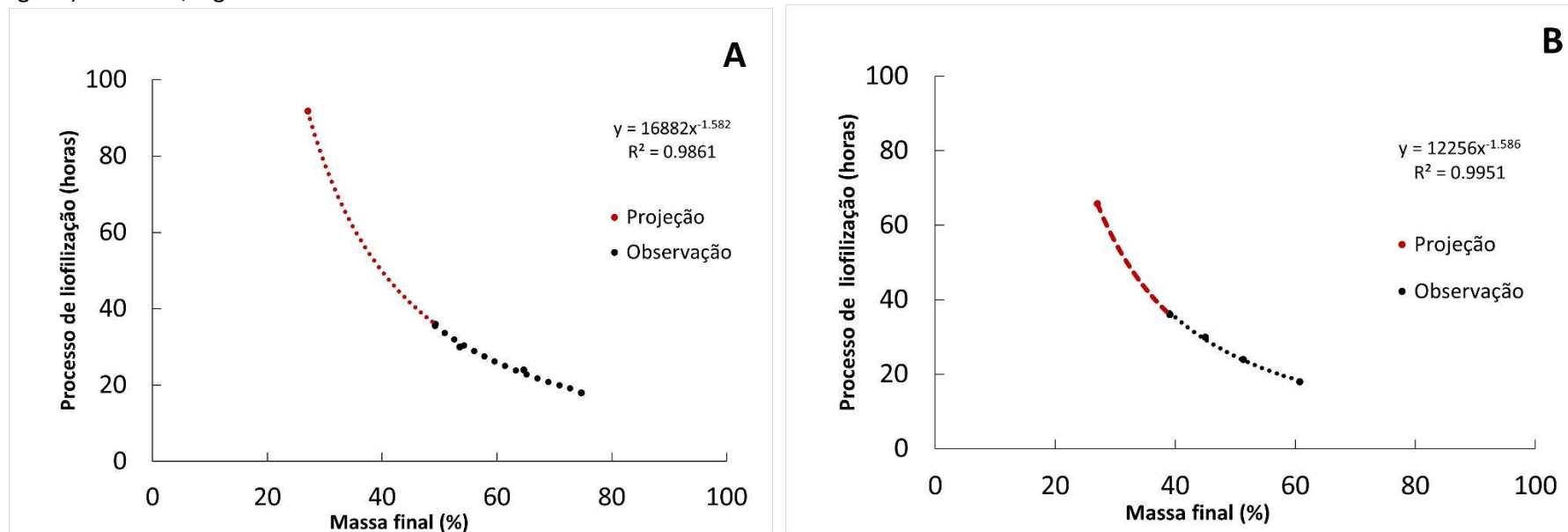
Fonte: Autores, 2025.

Entre as etapas do processo de liofilização, a sublimação é tida como responsável por metade do consumo de energia (DUAN et al. 2016). Os autores Liu et al. (2008), observaram que as perdas exergéticas totais durante o processo de liofilização concentram-se principalmente nas fases de secagem primária (35,69%) e condensação de vapor (31,76%). Entre as etapas, a com menor gastos foi a realizada por 36 horas com filés de 1,5 kg (536,18 W/h; Figura 6).

Mediante aplicação da análise de regressão não linear simples, percebe-se que a velocidade do processo de secagem dos filés apresentou um padrão não linear em todos os tratamentos (Figura 7). A melhor condição foi observada entre as variáveis para os filés com 2,5 kg de massa inicial (menor tempo estimado, em torno de 37,8 horas, para atingir a menor porcentagem de massa final), havendo uma forte relação entre as variantes ($R^2=0.9951$), consistindo assim no melhor ajuste do modelo (Figura 7 B). Além disso, os resultados da análise de consumo energético demonstraram que o tempo necessário para atingir o nível considerado como ideal para desidratação dos filés de tilápia (30 % de matéria seca), foi em torno de 77,7 horas de processo em termos absolutos (ver a Figura 7 D).



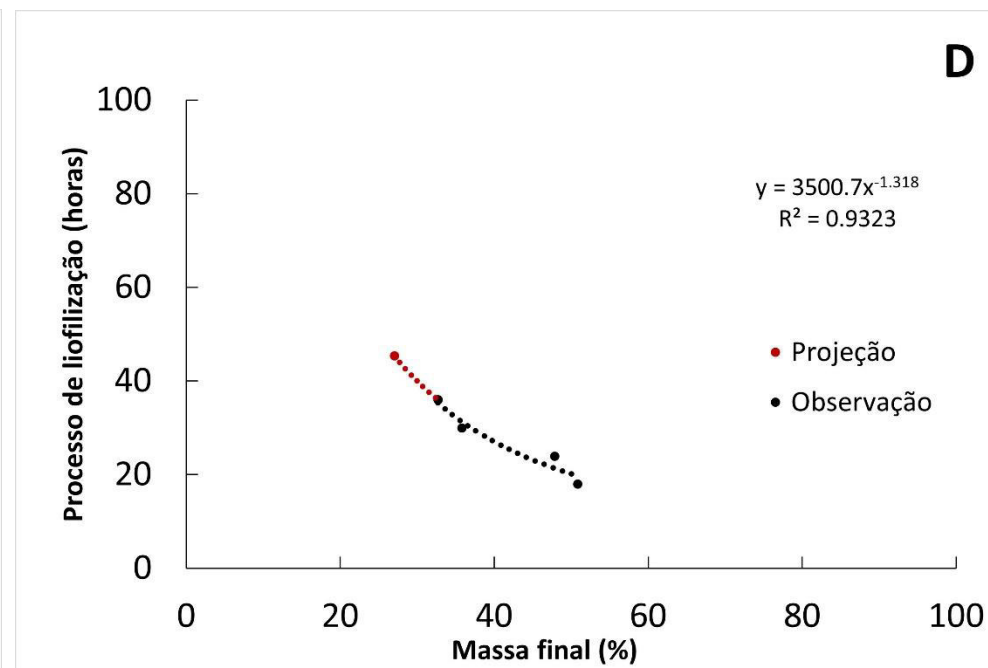
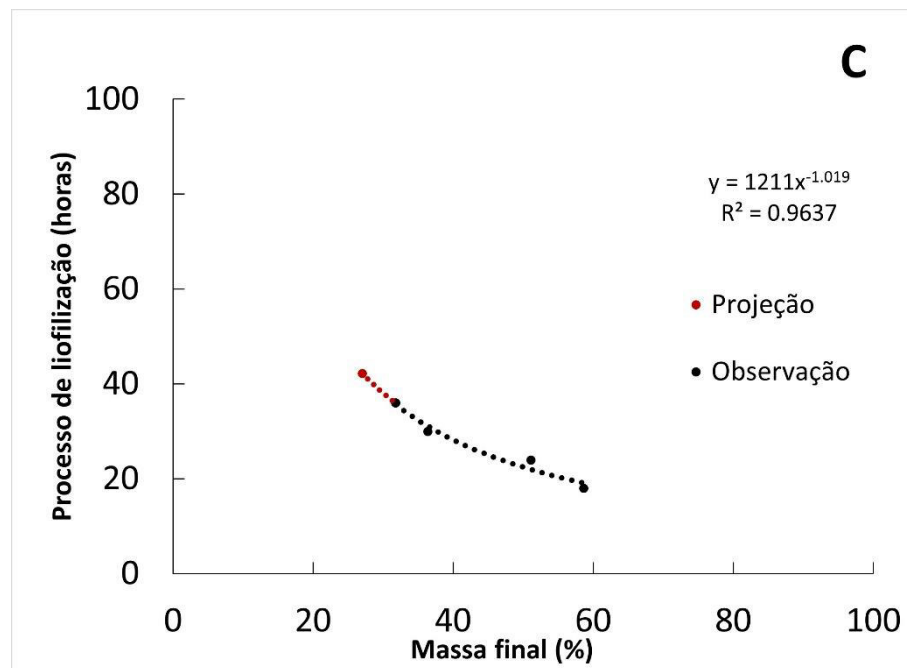
Figura 7. Relação entre a perda de massa final (%) dos filés de tilápia durante o processo de liofilização (horas). A) Filés de 1,5kg, B) Filés de 2,5kg, C) Filés de 3,5kg e D) Filés de 4,5kg.





**Consumo energético para desidratação de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)
em liofilizador vertical**

Balcewicz et. al.



Fonte: Autores, 2025.



Notou-se que a redução da massa a ser liofilizada contribuiu para diminuir o consumo energético do liofilizador, durante as etapas de desidratação à frio. Exemplo disso, foi que o melhor tempo estimado entre os tratamentos foi para filés de tilápia com 2,5 kg de massa inicial, liofilizados por 37,8 horas, o que resultou em um gasto energético de 8,92 (kW/kg) (Tabela 1). Além disso, observou-se que o tempo para liofilização de filés de tilápia com 1,5 kg de massa inicial foi praticamente equivalente ao mesmo tempo necessário para a massa de filés de 2,5 kg de massa inicial (Tabela1).

Tabela 1. Consumo energético e tempo estimado do experimento para atingir 30% da massa final.

Massa inicial das amostras (kg) (a)	Tempo estimado de liofilização em horas (h) (b)	Consumo energético estimado para liofilizar as amostras (kW/h) (c)	Consumo energético médio estimado para liofilizar as amostras (kW/h/kg) (d)	Consumo energético estimado para liofilizar 15.900 kg de um <i>container</i> de filé de Tilápia (kW/h) (e)	Tempo de funcionamento estimado do <i>container</i> (dias) (f)
4,5	77,7	45,84	10,18	161862	899
3,5	55,7	32,86	9,38	149142	828
2,5	37,8	22,33	8,92	141828	787
1,5	39,5	2,31	15,53	246927	1371

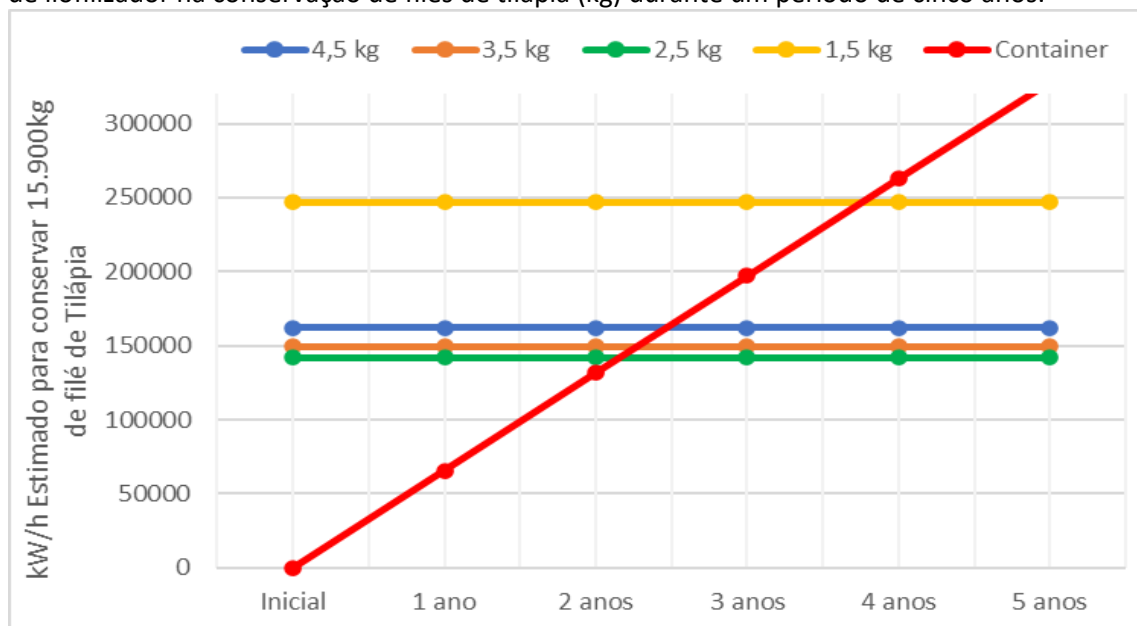
Notas: (a) Obtido da Figura 5, (b) Obtido da Figura 7, (c) Calculado através da relação de consumo médio de 590 W/h (0,59 kW/h) e tempo estimado de liofilização em horas da coluna (b), (d) Calculado através da relação entre colunas (c) e (a), (e) Calculado através do consumo da coluna (d) e a massa de 15.900kg, (f) Dados obtidos da Figura 8 (anos estimados convertidos para dias). Exemplo: interpolação entre as retas de massa de 4,5 kg e reta de consumo do *container*. Fonte: Autores, 2025.

A simulação de consumo energético entre o *container* refrigerador e o método de liofilização, demonstrou que o *container* necessita de um fornecimento energético contínuo e ininterrupto para manter a temperatura dos filés de tilápia. Por outro lado, o liofilizador tem um consumo pontual e significativo durante o processo de secagem (Figura 8). Após o processo de liofilização não há necessidade de manter um sistema de refrigeração contínuo. Conforme Filina-Dawidowicz e Filin (2019), o consumo médio de um *container* refrigerado ou congelado, pode variar entre 6 e 9 kW/h, não levando em consideração nesse caso, vários fatores que interferem no tempo de funcionamento do equipamento como: características construtivas, clima da região, condições do local, estado de conservação e qualidade da energia elétrica fornecida. No presente experimento, utilizou-se o valor médio de 7,5 kW/horas para um período de 5 anos



(Figura 8).

Figura 8. Simulação do consumo energético (kW/h) entre *container* de refrigeração e protótipo de liofilizador na conservação de filés de tilápia (kg) durante um período de cinco anos.



Fonte: Autores, 2025.

Notou-se que o consumo energético do processo de liofilização dos filés de tilápia permanece o mesmo durante o período analisado. Uma vez realizada a liofilização, não haverá mais consumo energético. Em contrapartida, o *container* exigirá um consumo contínuo para conservação dos filés de tilápia (Figura 8). Em termos de consumo energético, o liofilizador demonstram vantagem em relação ao *container* para a conservação dos filés de tilápia. Diferenças significativas são relativas mediante a complexidade do processo de liofilização e a necessidade de equipamentos específicos (exemplo, protótipo de liofilizador). Na presente simulação, deve ser levada em consideração também ausência de um liofilizador adequado para a massa de 15.900 kg suportada por um *container*.

Os experimentos com massas iniciais de 2,5 kg, 3,5 kg e 4,5 kg, demonstraram uma melhora gradativa com a diminuição no consumo de energia por quilograma de filé (Figura 8). Já para a massa de 1,5 kg observamos um aumento significativo no consumo de energia por quilograma, comparado com o tempo de uso do *container*. Assim, não houve uma melhora no tempo de processo, com relação à massa inicial de 2,5 kg.

De acordo com Fellows (2006), a condição ideal de desidratação é quando o



alimento apresenta 8% de água, podendo ser considerado um produto liofilizado. Nos testes realizados este resultado não foi alcançado nas amostras. Possivelmente, esse cenário foi influenciado pelos ganhos entre água superficial e a que se encontrava ligada aos filés, os quais eram diferentes em termos dimensionais e pequenas variações de massa inicial. Conforme se constatou durante o processo de secagem do filé de tilápia, ocorreram dois fenômenos distintos, relacionados à água superficial e à água ligada ao tecido, resultando assim em uma taxa de secagem não linear.

A remoção da umidade aparente é bem significativa no primeiro momento, mas chegando a uma condição em que não houve alteração no período de liofilização nas massas iniciais de 2,5 kg e 1,5 kg. Diante disto, acreditamos que a desidratação secundária ou água ligada precisa de um tempo maior e que esta situação impacta na capacidade de deslocamento volumétrico da bomba de vácuo e no aumento do tempo de funcionamento do liofilizador como um todo.

Os resultados dos testes indicam a necessidade na melhorar do uso de energia, assim como em encontrar uma faixa de massa mais adequada para obter resultados eficientes no processo de desidratação. Com o dispêndio de energia de 8,93 kW/kg obtivemos o melhor resultado com 2,5 kg e com 15,54 kW/kg, na menor amostra, com 1,5 kg. Isto ocorreu devido ao fato que o tempo para desidratação das duas amostras foi praticamente o mesmo, mas a amostra com massa menor, indica que o equipamento poderia ter melhor resultado sem necessitar de mais energia.

Diferentes métodos têm sido empregados visando alcançar melhores índices de economia energética na liofilização de alimentos (DUAN et al. 2016). Durante a liofilização de pimentões vermelhos após pré-tratamentos, pesquisadores notaram que a redução do tempo de processo em virtude do emprego dos pré-tratamentos diminuíram o consumo de energia durante o processo (RYBAK et al. 2021). Liu et al. (2008) sugere que o aumento da temperatura da fonte de resfriamento no condensador de vapor, pode favorecer a redução das perdas exergéticas totais do sistema, diminuindo o desperdício de energia e dispêndios durante o processo de liofilização.

Os resultados do teste de simulação, demonstraram que o consumo de energia, mesmo nas melhores condições do experimento, no caso da liofilização de 15.900 kg de filés de tilápia, seriam necessários 2,16 anos (788 dias) de funcionamento do *container* para equivaler à mesma energia gasta na melhor condição desse processo. Deve-se



ressaltar também que para manter os filés de tilápia conservados, garantindo a segurança alimentar do produto, o gasto em energia elétrica de 141828 kW do *container*, na melhor situação de consumo energético não leva em consideração a manutenção do equipamento e o monitoramento constante para certificar-se que o produto seja mantido com temperatura inferior a -18°C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o emprego da liofilização em filés de tilápia, por meio de um liofilizador vertical, pode ser um método alternativo à conservação do pescado, podendo até mesmo substituir os métodos convencionais de refrigeração, visto que mediante a ajustes e adequações do processo e seleção dos filés, conforme as necessidades da linha de filetagem, é possível alcançar ótimos índices de desidratação. Além disso, o emprego do método pode aumentar o tempo de conservação dos filés, além do tempo de estocagem padrão de seis meses. No entanto, ainda são necessários a realização de estudos comparativos envolvendo os custos energéticos e eficácia do processo, visando atender as recomendações legais vigentes e a qualidade final do produto.

No presente caso, o custo da implantação da liofilização com uso do protótipo de liofilizador vertical na conservação de filés de tilápia é oneroso e complexo. Sendo sugerida a criação de associações de pequenos produtores de peixes para viabilizar o uso coletivo do equipamento. Por fim, o presente estudo não compara diretamente os custos logísticos e operacionais (transporte, combustível e deslocamento) da liofilização com os métodos tradicionais (*containers* de refrigeração), tornando-se necessário mais pesquisas que busquem o desenvolvimento tecnológico do protótipo de liofilizador e novas estratégias de conservação.

REFERÊNCIAS

ADEYEYE, S. A. O. An overview of fish drying kinetics. *Nutrition & Food Science*, v. 49, p. 886-902, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2018-0296>. Acesso em: 24 set. 2025.



- ALHAMID, M. I.; YULIANTO, M.; NASRUDDIN; KOSASIH, E. A. Development of a compact vacuum freeze drying for jelly fish (Schypomedusae). *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, v. 58, p. 25-32, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.11113/jt.v58.1543>. Acesso em: 24 set. 2025.
- AMÂNCIO, L. M.; SILVA, W. L. C. P.; SANTOS, V. M. L. Liofilização: perspectivas para um novo mercado na região do Vale do São Francisco. *Revista Semiárido De Visu*, v. 2, p. 326-337, 2012.
- AHADI, K.; SETIADANU, G. T.; GUNAWAN, Y.; NAFIS, S.; SUNTORO, D. Energy consumption analysis in *Katsuwonus pelamis* sp. freezing and storing process. *E3S Web of Conferences*, v. 232, p. 03017, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51/e3sconf/202123203017>. Acesso em: 24 set. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA – PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2023. São Paulo: PEIXE BR, 2025. p. 12-15. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/>. Acesso em: 24 set. 2025.
- BARROS, D. M. et al. Principais técnicas de conservação dos alimentos. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 806-821, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-056>. Acesso em: 24 set. 2025.
- CELESTINO, S. M. C. Princípio da secagem de alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.
- COSTA, L. R. C.; FERREIRA, M. M. J.; BARBOSA, R. F. G.; MELO, M. M. Estudo da faixa de trabalho de um refrigerador visando a redução de consumo de energia elétrica. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, p. 10267-10275, 2021.
- CURY, I. L. R.; FILHO, R. P.; GARCIA, V. Geração de energia elétrica: reflexões para um diálogo interdisciplinar. *Ensino, Pesquisa e Extensão*, p. 8-27, 2021.
- DAL-BÓ, V.; ALTINO, H. O. N.; FREIRE, J. T. Adaptação de um liofilizador em escala laboratorial para obtenção das curvas de cinética de secagem da polpa de abacate (*Persea americana*). In: SIMPÓSIO COMEMORATIVO DOS 40 ANOS: ÁREAS DE SISTEMAS PARTICULADOS DO DEQ/UFSCar, 2019, São Carlos. *Aplicações Técnicas – Secagem*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2019. p. 693-705.
- DUAN, X.; YANG, X.; REN, G.; PANG, Y.; LIU, L.; LIU, Y. Technical aspects in freeze-drying of foods. *Drying Technology*, v. 34, p. 1271-1285, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1099545>. Acesso em: 24 set. 2025.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2023: towards blue transformation. Roma: FAO, 2023.
- FEIDEN, A.; RAMOS, M. J.; CHIDICHIMA, A. C.; SCHMIDT, C. M.; FIORESE, M. L.; COLDEBELLA, A. A cadeia produtiva da tilápia no oeste do Paraná: uma análise sobre a formação de um arranjo produtivo local. *Redes – Santa Cruz do Sul*, v. 23, n. 2, p. 238-



263, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17058/redes.v22i2.8992>. Acesso em: 24 set. 2025.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 4. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2006. 944 p.

FERRIGOLO, F. R. G.; ROSA, G. M.; AGUIAR, R. S.; DIAS, K. C.; VILLANOVA, J. C. V.; MARTINS, G. B.; PRETTO, A. Qualidade físico-química e sensorial de filés de peixes de água doce. In: CORDEIRO, C. A. M. (Org.). *Ciência e tecnologia do pescado: uma análise pluralista*. v. 3., Guarujá-SP: Científica Digital, 2021. p. 166-176.

FILINA-DAWIDOWICZ, L.; FILIN, S. Innovative energy-saving technology in refrigerated containers transportation. *Springer Nature Link*, v. 12, p. 1151-1165, 2019.

GUIMARÃES, P. R. B. Métodos quantitativos estatísticos. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. 245 p.

LIU, Y.; ZHAO, Y.; FENG, X. Exergy analysis for a freeze-drying process. *Applied Thermal Engineering*, v. 28, p. 675-690, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.06.004>. Acesso em: 24 set. 2025.

NOWAK, D.; JAKUBCZYK, E. Liofilização de alimentos: características do processo e efeito de seus parâmetros nas propriedades físicas dos materiais alimentares. *Journal Foods*, v. 9, 27 p., 2020.

OETTERER, M.; SAVAY-DA-SILVA, L. K.; GALVÃO, J. A. Tecnologias emergentes prolongam características do pescado in natura. *Visão Agrícola*, p. 142-144, 2012.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. Química do pescado. In: OGAWA, M.; MAIA, E. L. *Manual de pesca: ciência e tecnologia do pescado*. v. 1. São Paulo: Livraria Varela, 1999. p. 29-71.

OYINLOYE, T. M.; YOON, W. B. Effect of freezer-drying on quality and grinding process of food produce: a review. *Processes*, v. 8, p. 354, 2020.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 311-319, 2001.

RYBAK, K.; PARNIAKOV, O.; SAMBORSKA, K.; WIKTOR, A.; WITROWA-RAJCHERT, D.; NOWACKA, M. Energy and quality aspects of freeze-drying preceded by traditional and novel pre-treatment methods as exemplified by red bell pepper. *Sustainability*, v. 13, p. 2035, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13042035>. Acesso em: 24 set. 2025.

SILVA, F. T. C.; PRAT, B. V. Sistemas de refrigeração sem utilização de energia elétrica: uma análise da produção científica sobre dispositivos Pot in Pot. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo de Conhecimento*, v. 5, p. 21-42, 2020.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAIS-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. Aquicultura no Brasil: passado, presente e futuro. *Aquaculture Reports*, v. 19, p. 18, 2021.



ZENG, J.; SONG, Y.; CONG, P.; YUNRUICAO, J. X.; CHAGHUXUE. A systematic review of drying in aquatic products. *Reviews in Aquaculture*, v. 16, p. 47-65, 2024.