

FÓRMULA PRÁTICA PARA CALCULAR A QUANTIDADE DE GELO NO TRANSPORTE DE PEIXES VIVOS

MELO, J.S.C.

Centro de Pesquisa e Treinamento em Aqüicultura - CEPTA/IBAMA

RESUMO

Neste trabalho foi obtida uma equação que permite calcular a quantidade de gelo a ser usada no transporte de peixes vivos. A fórmula matemática resultante, $m_g = m_a (t_1 - t_f) / (80 + t_f)$, permite calcular a quantidade de gelo necessária para abaixar, até um valor desejado, a temperatura da água de transporte de peixes vivos em sacos de polietileno, acondicionados em caixas de isopor com tampa lacrada.

Palavras-chave: Gelo; transporte; peixe vivo; termologia; temperatura.

ABSTRACT

Practical formula for computing ice amount on live fish transportation

In this work an equation to compute the amount of ice for use in the transportation of live fish was obtained. The equation $m_g = m_a (t_1 - t_f) / (80 + t_f)$, allows to compute the necessary amount ice to reduce water temperature to a desired value for transporting live fish in polyethylene bags placed in into styrofoam box with a sealed lid.

Key words: Ice; transport; live fish; thermology; temperature.

INTRODUÇÃO

O transporte de peixes tropicais vivos para longas distâncias exige procedimentos que possam diminuir o estresse nos animais. No transporte de peixes vivos, utilizam-se oxigênio, anestésicos e o abaixamento de temperatura (Phillips & Brockway, 1954; Clark, 1959; Martin & Scott, 1959; Wohlfarth *et al.*, 1961; Rodman, 1963; Gebhards, 1965; Ruth & Mortimer, 1965; Norris *et al.*, 1966; Huet, 1978; Vollmann-Schipper, 1978; Amend *et al.*, 1982; Fröse, 1985; Berka, 1986; Sampson & Macintosh, 1986; Pinheiro & Silva, 1988; Teo *et al.*, 1989; Bocek, 1990; Bromage *et al.*, 1992; Harrel, 1992). O gelo pode ser usado para regular a temperatura da água de transporte. No entanto não existem informações sobre como calcular a quantidade de gelo necessária para abaixar a temperatura de uma certa quantidade de água com peixes.

Berka (1986) informa que o gelo natural (de água) é usado para esfriar a água, enquanto o gelo seco (de ácido carbônico) deve ser evitado, e sugere que 25 kg de gelo esfriarão 1.000 litros de água em 2°C.

O transporte de peixes vivos desempenha papel de grande importância na piscicultura, e todos os cuidados devem ser dispensados nessa operação (Pinheiro & Silva, 1988). Segundo Winkler (1987), condições estressantes durante a viagem podem levar ao aumento da mortalidade.

O emprego de gelo durante o transporte não somente reduz o consumo de oxigênio pelo abaixamento do metabolismo, mas também a excreção de substâncias tóxicas (Phillips & Brockway, 1954; Rodman, 1963; Gebhards, 1965; Vollmann-Schipper, 1978; Berka, 1986).

O controle da temperatura tem sido realizado quase universalmente por meio de gelo e material de isolamento térmico (Norris *et al.*, 1966). Segundo Rodman (1963), o gelo é comumente usado para esfriamento e as temperaturas da água são reguladas por adição periódica de mais gelo ou água quente. Entretanto, quando baixas temperaturas são usadas como anestésico durante o transporte aéreo de peixes vivos, cuidados especiais devem ser tomados: o gelo não pode ser usado em grandes quantidades, por causa de seu peso, volume e taxa de decomposição.

Sendo o peixe um animal pecilotermo, pode-se diminuir a resposta do animal à carga estressora durante a viagem através da redução de seu metabolismo, promovendo-se a diminuição gradativa da temperatura do sistema de transporte até atingir uma temperatura desejada, adequada ao objetivo em vista.

O objetivo deste trabalho é obter uma equação que permita calcular qual a quantidade de gelo necessária para abaixar a temperatura de uma quantidade de água com peixes, de um valor conhecido para outro desejado.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Embasamento Teórico

Foram utilizados, como base teórica, os conhecimentos de domínio público universal da Física Clássica referentes a Termologia, com ênfase em mudança de estado, trocas de calor e equilíbrio térmico, conforme síntese apresentada por Chiquetto (1987).

a) Mudança de estado

A quantidade de substância que muda de estado é proporcional à quantidade de calor recebido (ou cedido).

Sejam ΔQ a quantidade de calor, m a massa que muda de estado, e L o calor latente de fusão (ou vaporização) da substância; então:

$$\Delta Q = m \cdot L \quad \text{ou} \quad L = \Delta Q / m \quad (1)$$

Quando o calor é expresso em caloria e a massa em gramas, L é expresso em cal/g.

Se um corpo absorver calor ΔQ para fundir-se, ele cede o mesmo ΔQ

para solidificar-se.

Para a água, o calor latente de fusão (L) é igual a 80 cal/g; 1 cal é a quantidade de calor que eleva em 1°C a temperatura de 1,0 g de água no estado líquido.

Quando um corpo recebe (ou fornece) calor, sua temperatura aumenta (ou diminui), desde que não esteja em mudança de estado. A quantidade de calor transferida é diretamente proporcional à variação de temperatura:

$$\Delta Q = C \cdot (t_f - t_i) \quad (2)$$

onde C é a capacidade térmica do corpo, expressa em cal/°C, t_f é a temperatura final, e t_i é a temperatura inicial. A capacidade térmica é proporcional à massa do corpo; assim:

$$C = c \cdot m \quad (3)$$

onde c é o calor específico do material (ou substância) e representa a quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de uma unidade de massa do material (ou da substância):

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \quad (4)$$

com c expresso em cal/g·°C. Quando a temperatura de um corpo varia, diz-se que o corpo recebeu (ou cedeu) calor sensível.

b) Trocas de calor

Deve-se considerar que a transferência de calor envolve dois ou mais corpos em um sistema termicamente isolado. Desde que no sistema não haja transformação de qualquer forma de energia em calor, o total de calor cedido dentro do sistema é igual ao total de calor recebido (princípio de conservação da energia).

Por convenção, calor recebido pelo corpo tem $\Delta Q > 0$, e calor cedido pelo corpo, $\Delta Q < 0$.

Se um corpo A e um corpo B são colocados em contato dentro de um sistema termicamente isolado, e a temperatura inicial de A é maior que a de B, então $\Delta Q_A < 0$ e $\Delta Q_B > 0$. Aplicando o princípio de conservação da energia:

$$\Delta Q_A + \Delta Q_B = 0 \quad (5)$$

Assim,

1) se ocorrer variação de temperatura, tem-se:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \quad (6)$$

onde t_f é a temperatura final, e t_i é a temperatura inicial;

2) se ocorrer mudança de estado, tem-se:

$$\Delta Q = + m \cdot L \quad (\text{em caso de fusão}) \quad (7)$$

ou

$$\Delta Q = -m \cdot L \text{ (em caso de condensação ou solidificação)} \quad (8)$$

c) Equilíbrio térmico

Aplicando-se as expressões (6) e (7) na equação (5), obtém-se uma equação que descreve o comportamento do sistema todo.

O procedimento pode ser generalizado para um número n qualquer de corpos, com temperaturas iniciais, t_1, t_2, \dots, t_n . Calculando-se o conjunto em um recipiente termicamente isolado (recipiente adiabático), cada corpo vai perder ou receber uma certa quantidade de calor, até que o sistema atinja o equilíbrio térmico, de modo que:

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \dots + \Delta Q_n = 0 \quad (9)$$

2. Obtenção da Equação

Adotando-se esses conhecimentos para o transporte de peixes em caixas de isopor com tampa lacrada, é possível obter uma equação que permita calcular a quantidade de gelo necessária para abaixar a temperatura do sistema, ou seja, da água do saco de plástico onde estão os peixes e portanto do próprio peixe, que é um organismo pecilotermo.

A massa de gelo se fundirá ao receber calor e a água mais o peixe dentro do saco de plástico terão perdido calor quando o sistema atingir o equilíbrio térmico.

Como o gelo (g) vai sofrer mudança de estado, e em seguida se aquecer, tem-se:

$$\Delta Q_g = m_g \cdot L_F + m_g \cdot c_g \cdot (t_f - 0) \quad (10)$$

onde ΔQ_g é a quantidade de calor a ser absorvida pelo gelo (em cal), m_g é a massa de gelo (em g), L_F é o calor latente de fusão do gelo (em cal/g), m_g é a massa de gelo (em g), c_g é o calor específico da água (em cal/g $^{\circ}$ C) e t_f é a temperatura final desejada (em $^{\circ}$ C).

Segundo Clucas & Sutcliffe (1981), o calor específico do peixe é 0,96 cal/g $^{\circ}$ C. Como esse valor não difere muito do da água que é 1,0 cal/g $^{\circ}$ C, e a massa de peixe geralmente não passa de 25% da massa de água, pode-se assumir, com a finalidade de simplificar os cálculos, que o calor específico do peixe é igual ao da água.

A água e o peixe (a) dentro do saco de plástico vão ceder calor (esfriar) de t_i até t_f sem mudança de estado; assumindo que o calor específico do peixe é igual ao da água, tem-se:

$$\Delta Q_a = m_a \cdot c_a \cdot (t_f - t_i) \quad (11)$$

onde ΔQ_a quantidade de calor cedida pela água mais peixes (em cal), m_a é a massa de peixes mais água de transporte na embalagem, c_a é o calor específico da água (cal/g $^{\circ}$ C), t_f é a temperatura final desejada e t_i é a temperatura inicial da água de transporte.

Como a caixa de isopor com tampa lacrada pode ser considerada um recipiente adiabático para fenômenos de curta duração (Chiquetto, 1987),

obtém-se:

$$\Delta Q_g + \Delta Q_a = 0 \quad (12)$$

Substituindo-se (10) e (11) na equação (12), obtém-se:

$$m_g \cdot L_F + m_g \cdot c_g \cdot (t_f - 0) + m_a \cdot c_a \cdot (t_f - t_i) = 0 \quad (13)$$

Isolando-se a massa de gelo necessária para abaixar a temperatura da água mais peixe dentro do saco de plástico, tem-se:

$$m_g \cdot L_F + m_g \cdot c_g \cdot (t_f - 0) = - m_a \cdot c_a \cdot (t_f - t_i) \quad (14)$$

$$m_g \cdot [L_F + c_g \cdot (t_f - 0)] = - m_a \cdot c_a \cdot (t_f - t_i) \quad (15)$$

$$m_g = - m_a \cdot c_a \cdot (t_f - t_i) / [L_F + c_g \cdot (t_f - 0)] \quad (16)$$

onde $c_a = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
 $c_g = c_a = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ (após fusão)
 $L_F = 80 \text{ cal/g}$

Simplificando-se a equação (16), obtém-se:

$$m_g = - m_a \cdot (t_f - t_i) / (80 + t_f) \quad (17)$$

ou

$$m_g = m_a \cdot (t_i - t_f) / (80 + t_f) \quad (18)$$

onde m_g = massa de gelo necessária;

m_a = massa de água + massa de peixe no saco de plástico;
 t_f = temperatura final desejada;
 t_i = temperatura inicial da água dentro do saco plástico;
 80 = constante relacionada ao calor latente de fusão do gelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura de certa massa de água mais peixe existente em uma caixa de isopor com tampa lacrada pode ser abaixada se certa massa de gelo for colocada no interior da caixa. Nessas condições, conhecendo-se a massa de água mais a massa de peixe (1 litro de água corresponde a 1 kg de água), calcula-se a massa de gelo através da equação:

$$m_g = m_a \cdot (t_i - t_f) / (80 + t_f)$$

onde m_g é a massa de gelo (kg), m_a é a massa de água + massa de peixe (kg), t_f é a temperatura final desejada ($^\circ\text{C}$), na qual espera-se ocorrer o equilíbrio térmico, t_i é a temperatura inicial da água onde estão os peixes ($^\circ\text{C}$), e 80 é uma constante.

O gelo deve ser colocado sobre o fundo da caixa de isopor, sob o fundo do saco de plástico, e nunca em contato direto com o peixe (Berka, 1986). A faixa de temperatura entre 18°C e 25°C é adequada para transporte de peixes, mas a temperatura ideal é de 21°C a 25°C, sendo que a diferença de temperatura total não deve ser maior que 12°C (Bocek, 1990).

AGRADECIMENTOS

Aos Pesquisadores Eva Chabalin, Geraldo Magela de Figueiredo, José Augusto Senhorini e Osmar Ângelo Cantelmo pelas críticas e sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMEND, D.F., CROY, T.R., GOVEN, B.A. *et al.* Transportation of fish in closed systems: methods to control ammonia, carbon dioxide, pH, and bacterial growth. Trans. Am. Fish. Soc., v.111, p.603-611, 1982.
- BERKA, R. The transport of live fish: a review. EIFAC Tech. Pap., n.48, p. 1 - 52, 1986.
- BOCEK, A. Transporting fish. Auburn: Auburn University, 1990. 19p.
- BROMAGE, N., SHEPHERD, J., ROBERTS, J. Farming systems and husbandry practice. In: SHEPHERD, J. BROMAGE, N. (eds.) Intensive fish farming. London: Blackwell Scientific Publications, 1992. p.87-92.
- CHIQUETTO, M.J. Física na escola de hoje: terminologia, ótica, ondas e oscilações. São Paulo: Scipione, 1987. v.2, 344 p.
- CLARK, C.F. Experiments in the transportation of live fish in polyethylene bags. Prog. Fish-Cult., v.21, n.4, p.177-182, 1959.
- CLUCAS, I.J., SUTCLIFFE, P.J. An introduction to fish handling and processing. London: Tropical Products Institute, 1981.86p.
- FRÖSE, R. Improved fish transport in plastic bags. ICLARM Newsletter, v.8, n.4, p.8-9, 1985.
- GEBHARDS, S.V. Transport of juvenile trout in sealed containers. Prog. Fish-Cult., v.27, n.1, p.31-36, 1965.
- HARRELL, R.M. Stress mitigation by use of salt and anesthetic for wild striped bass captured for brood stock. Prog. Fish-Cult., v.54, n.4, p.228-233, 1992.
- HUET, M. Tratado de piscicultura. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1978. 745 p.

- MARTIN, N.V., SCOTT, D.C. Use of tricaine methanesulfonate (M.S. 222) in the transport of live fish without water. Prog. Fish-Cult., v.21, n.4, p.183-184, 1959.
- NORRIS, K.S., BROCATO, F., CALANDRINO, F. A survey of fish transportation methods and equipment. California Fish and Game, v.46, n.5, p.5-33, 1966.
- PHILLIPS JR, A.M., BROCKWAY, D.R. Effect of starvation, water temperature, and sodium amytal on the metabolic rate of brook trout. Prog. Fish-Cult., v.16, p.65-68, 1954.
- PINHEIRO, J.L.P., SILVA, M.C.N. Alevinos larvas: transporte. Brasília: CODEVASF, 1988. 19 p.
- RODMAN, D.J. Anesthetizing and air-transporting young white sturgeons. Prog. Fish-Cult., v.25, n.2, p.71-78, 1963.
- RUTH, D.J., MORTIMER, M.A.E. The transport of live fish in Northern Rhodesia. Prog. Fish-Cult., v.27, n.3, p.121-128, 1965.
- SAMPSON, D.R.T., MACINTOSH, D.J. Transportation of live carp fry in sealed polythene bags. Aquaculture, v.54, n.1/2, p.123-127, 1986.
- TEO, L.H., CHEN, T.W., LEE, B.H. Packaging of the guppy, *Poecilia reticulata*, for air transport in a closed system. Aquaculture, v.78, n.3/4, p.321-332, 1989.
- VOLLMANN-SCHIPPER, F. Transporte de peces vivos. Zaragoza: Editorial Acribia, 1978. 90p.
- WINKLER, P.A. A method to minimize stress during fish transport. Prog. Fish-Cult., v.49, n.2, p.154-155, 1987.
- WOHLFARTH, G., LAHMAN, M., MOAV, R. Transporting live carp in polyethylene bags. Bamidgeh, v.13, n.3/4, p.74-75, 1961.