

## Cuidado com a velocidade de congelamento de alimentos em *freezer* doméstico

### Be careful with the speed of freezing food in a domestic freezer

DOI:10.34119/bjhrv4n1-212

Recebimento dos originais: 12/01/2021

Aceitação para publicação: 10/02/2021

#### Maíra de Paula Gonçalves

Mestra em Engenharia de Alimentos

Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Rua Monteiro Lobato, 80 – CEP 13083-862, Cidade Universitária "Zeferino Vaz",  
Barão Geraldo, Campinas - SP  
maira\_pg@hotmail.com

#### Vivaldo Silveira Junior

Professor Titular em Engenharia de Alimentos

Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Rua Monteiro Lobato, 80 – CEP 13083-862, Cidade Universitária "Zeferino Vaz",  
Barão Geraldo, Campinas - SP  
vivaldo@unicamp.br

#### RESUMO

A qualidade dos alimentos congelados depende do tamanho e distribuição dos cristais de gelo formados: quanto maior a taxa de congelamento, menores são os cristais, melhor é sua distribuição e melhor é a qualidade do produto. É considerado congelamento comercial aquele cuja taxa se encontra entre 10 e 50 °C h<sup>-1</sup>. Visando avaliar a viabilidade da realização de um congelamento comercial de alimentos em um cenário doméstico, amostras de solução modelo de polpa de frutas em saches de 100 g foram congeladas, em *freezer* doméstico vertical, com convecção natural e com convecção forçada de ar (promovida por uma ventoinha instalada no interior do gabinete), em bateladas de 9 e 12 saches. Foram medidas velocidades do ar no gabinete e temperaturas nas superfícies das amostras ao longo do congelamento e foram determinadas suas taxas de congelamento, considerando estas temperaturas próximas ao centro do produto. Os ensaios com convecção forçada apresentaram as maiores taxas de congelamento e os maiores desvios padrão entre as amostras monitoradas, o que se explica pelo aumento não homogêneo da velocidade do ar. Apenas o ensaio com 9 amostras e convecção forçada se enquadrou na definição de congelamento comercial, ainda que próximo ao limite inferior da definição.

**Palavras-chave:** congelamento de alimentos, convecção forçada, transferência de calor, *freezer* doméstico.

#### ABSTRACT

The quality of frozen foods depends on the size and distribution of the ice crystals formed: the higher the freezing rate, the lower the crystals, the better their distribution and the better the product quality. Commercial freezing is defined as the rate between 10 and 50

$^{\circ}\text{C h}^{-1}$ . In order to evaluate the feasibility of carrying out a commercial freezing of food in a domestic setting, samples of a model solution of fruit pulp in 100 g sachets were frozen, in a vertical domestic freezer, with natural convection and forced air convection (promoted by fan installed inside the cabinet), in batches of 9 and 12 sachets. Air velocities in the cabinet and temperatures on the sample surfaces during freezing were measured and their freezing rates were determined, considering these temperatures close to the center of the product. Tests with forced convection showed the highest freezing rates and the largest standard deviations among the monitored samples, which is explained by the non-homogeneous increase in air velocity. Only the test with 9 samples and forced convection fit the definition of commercial freezing, although close to the lower limit of the definition.

**Keywords:** freezing food, forced convection, heat transfer, domestic freezer.

## 1 INTRODUÇÃO

O congelamento é um importante processo de conservação de alimentos, baseado na remoção de calor de um produto, devido à redução de sua temperatura abaixo de seu ponto de congelamento. Tal processo promove a mudança do estado físico da água presente no alimento, formando cristais de gelo e resultando na redução do teor de água livre no produto, o que, juntamente com a baixa temperatura reduz ou inibe as reações de deterioração. O processo de congelamento pode ser aplicado em uma grande variedade de alimentos, pois, quando realizado corretamente, não acarreta degradação de nutrientes ou grandes alterações em sabor e textura, como acontece com produtos submetidos a aquecimento ou tratamento químico (MUTHUKUMARAPPAN; MARELLA, 2007).

A qualidade dos alimentos congelados está relacionada ao tamanho e distribuição dos cristais de gelo formados, que, por sua vez, dependem da taxa de congelamento: quanto maior a taxa, menores são os cristais, melhor é sua distribuição e melhor é a qualidade do produto. A taxa de congelamento depende de fatores como condutividade e geometria do produto e das condições operacionais, como diferença de temperatura entre produto e meio, e velocidade do meio de contato – que afeta o coeficiente convectivo de transferência de calor (FELLOWS, 2006).

O congelamento de alimentos pode ser classificado, quanto à taxa de congelamento, considerando o tempo decorrido do início da etapa de congelamento até a redução da temperatura do produto em  $10^{\circ}\text{C}$ , como: lento (até  $10^{\circ}\text{C h}^{-1}$ ), comercial (entre  $10$  e  $50^{\circ}\text{C h}^{-1}$ ) e rápido (acima de  $50^{\circ}\text{C h}^{-1}$ ). Processos classificados como congelamento comercial ou congelamento rápido resultam em produtos de alta qualidade (BROWN, 1991; CHEVALIER; BAIL; GHOUL, 2000).

Levando em conta a importância da taxa de congelamento na qualidade de um alimento congelado, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade de uso de um *freezer* doméstico para congelar alimentos quanto a sua qualidade final.

## 2 METODOLOGIA

Foi preparada uma solução modelo a 16 °Brix, composta de 15 % sacarose, 0,5 % ácido cítrico e 0,05 % carboximetilcelulose, em massa, aproximando a composição de polpa de morango.

A solução modelo foi envasada em saches de polietileno com dimensões de 10 cm x 12 cm x 0,8 cm, sendo que em cada sache foi colocado 100 g de solução. Os saches prontos foram acondicionados em câmara de estabilização a 5 °C.

Os ensaios de congelamento foram realizados em um *freezer* doméstico vertical (BVR28GBBNA, *Brastemp/Whirpool*, 220 V ~ 60 Hz, 121 W, 228 L) com convecção natural. Uma ventoinha de 12 V DC (Sensflow WFC1212B, *Delta Electronics*) foi instalada na porção central do gabinete, com sentido da ventilação descendente, visando promover convecção forçada de ar.

Os saches de solução modelo foram dispostos em tela aramada de 30 cm x 40 cm, com espaçamento de 5 cm x 5 cm, centralizada horizontalmente, 20 cm abaixo da ventoinha. Foi realizada a medição da velocidade do ar impulsionado pela ventoinha sobre cada sache, utilizando um anemômetro de fio quente (TA300, *Trotec*).

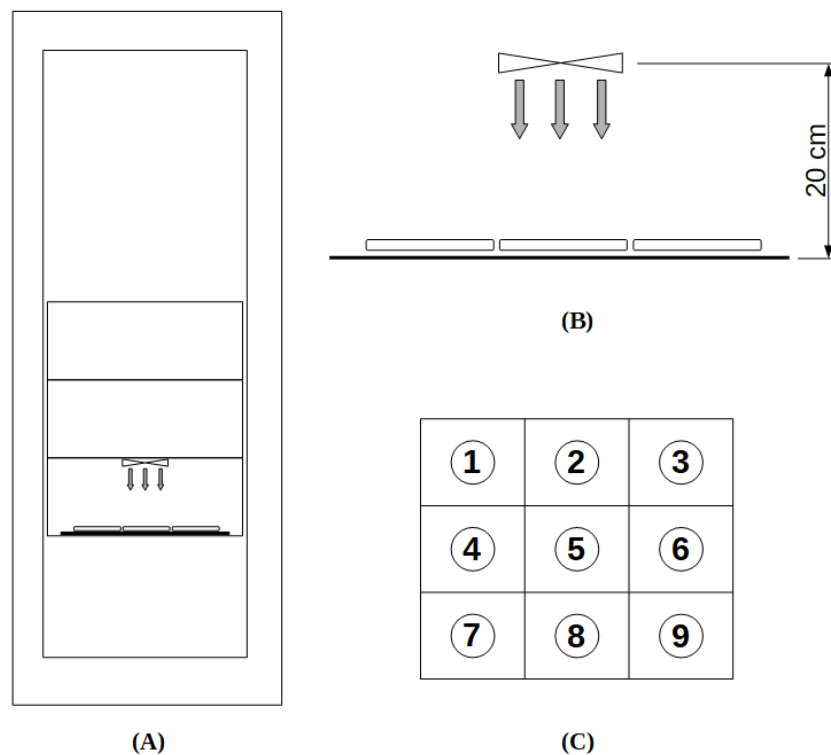
A razão das velocidades do ar ( $R_v$ ) na mesma posição medida, com a ventoinha ligada e desligada, foi calculada conforme a Equação 1.

$$R_v = \frac{v_f}{v_n} \quad (1)$$

onde  $v_f$  e  $v_n$  [ $\text{m s}^{-1}$ ] são, respectivamente, as velocidades do ar sob convecção forçada (ventoinha ligada) e sob convecção natural (ventoinha desligada).

A disposição das amostras e ventoinha no interior do gabinete, e os pontos de medição da velocidade do ar, são apresentados na Figura 1.

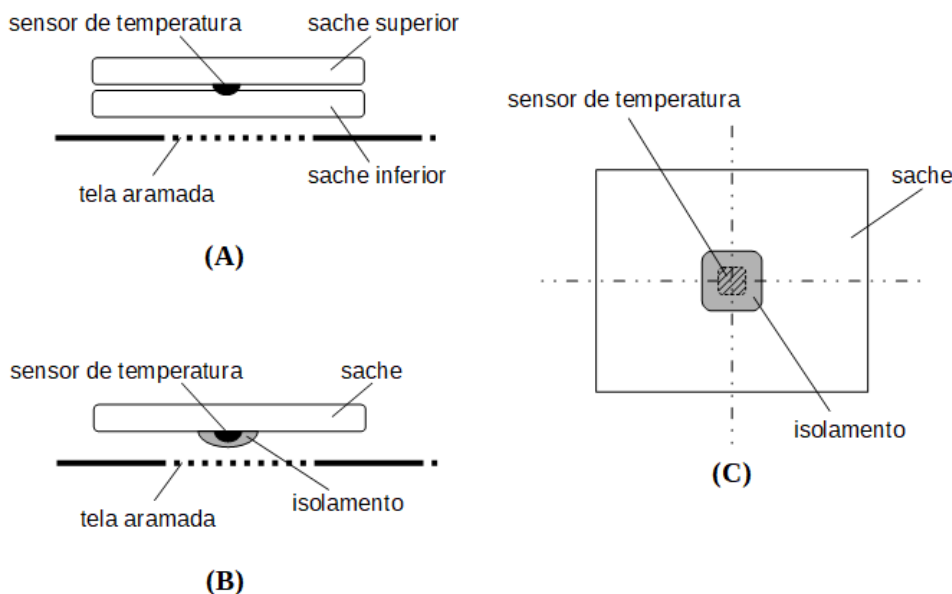
Figura 1. Posicionamento da ventoinha no gabinete (A), detalhamento do distanciamento das amostras e sentido da ventilação (B) e pontos de medição da velocidade do ar sobre as amostras (C).



A temperatura de todas as amostras ao longo do processo de congelamento foi monitorada, utilizando sensores de temperatura do tipo DS18B20, conectados a uma placa Arduino Mega 2560. Os dados coletados foram gravados em cartão micro SD por meio de um Módulo Adaptador Micro SD Catalex.

Foram testadas bateladas de doze e nove saches. A batelada de doze saches foi posicionada, na tela aramada, em duas camadas de seis saches cada (3 x 2 saches), com seis sensores de temperatura entre as camadas; a batelada de nove saches foi posicionada em uma camada de 3 x 3 saches, com nove sensores de temperatura na superfície inferior de cada sache e isolados do ar, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Montagem de um sensor de temperatura na batelada de doze amostras (A). Montagem de um sensor e isolamento na batelada de nove amostras: vista frontal (B) e vista inferior (C).



Foram realizados ensaios de congelamento das bateladas de nove e doze saches (900 e 1200 g, respectivamente), sob convecção natural (ventoinha desligada) e sob convecção forçada (ventoinha ligada). A temperatura do ar no freezer antes do posicionamento das amostras foi de  $-20 \pm 2$  °C. A temperatura inicial das amostras foi de 5 °C. Os saches permaneceram no freezer até que todos os sensores de temperatura da superfície das amostras indicassem  $-18$  °C ou menos.

Para cada amostra, foi calculada a taxa de congelamento (*FR*) conforme a Equação 2 (CHEVALIER; BAIL; GHOUL, 2000).

$$FR = \left| \frac{T_f - T_i}{t} \right| \quad (2)$$

onde  $T_i$  e  $T_f$  [°C] são, respectivamente, as temperaturas de início e término da etapa avaliada – do início da formação e crescimento de cristais de gelo até a redução da temperatura em 10 °C, conforme a recomendação do *International Institute of Refrigeration* (CHEVALIER; BAIL; GHOUL, 2000) –, e  $t$  [h] é o tempo decorrido nesta etapa.

### 3 RESULTADOS

As velocidades do ar médias e desvios padrão para os ensaios com convecção natural e forçada, nas nove posições medidas (Figura 1.C), bem como a razão das velocidades do ar com e sem ventilação, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Velocidades do ar em cada posição das nove amostras no freezer doméstico com e sem ventilação forçada.

Posição	Velocidade do ar [ $m\ s^{-1}$ ]		Razão das velocidades com e sem ventilação [-]
	Convecção natural	Convecção forçada	
1	0,100 ± 0,000	0,620 ± 0,129	6,2
2	0,093 ± 0,015	1,949 ± 0,275	20,9
3	0,100 ± 0,010	0,423 ± 0,178	4,2
4	0,100 ± 0,010	1,625 ± 0,475	16,3
5	0,103 ± 0,006	0,779 ± 0,185	7,5
6	0,090 ± 0,000	1,191 ± 0,335	13,2
7	0,093 ± 0,006	0,617 ± 0,138	6,6
8	0,100 ± 0,000	2,152 ± 0,349	21,5
9	0,097 ± 0,006	0,669 ± 0,114	6,9
Média	0,097 ± 0,004	1,114 ± 0,644	11,4

Observou-se que o ventilador instalado no interior do gabinete promoveu velocidade do ar não-homogênea sobre as amostras. As maiores velocidades foram observadas nas posições 8 e 2. A posição central (5) e as extremidades (1, 3, 7 e 9) apresentaram os menores aumentos de velocidade.

As taxas de congelamento obtidas para as bateladas de doze e nove saches, sob convecção natural e forçada, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Taxas de congelamento nos ensaios com convecção natural e forçada.

Quantidade amostras	Mecanismo de transferência de calor	Taxa de congelamento [ $^{\circ}C\ h^{-1}$ ]
12	Convecção natural	3,33 ± 0,15
9	Convecção natural	5,99 ± 0,47
12	Convecção forçada	5,95 ± 1,10
9	Convecção forçada	11,92 ± 1,99

A partir dos resultados obtidos, observou-se que ambos os ensaios com convecção forçada apresentaram as maiores taxas de congelamento e os maiores desvios padrão entre os saches, o que se explica pelo aumento não homogêneo da velocidade do ar. Na comparação entre os ensaios, verifica-se que apenas o ensaio com nove amostras e convecção forçada se enquadrou na definição de congelamento comercial, ainda que próximo ao limite inferior da definição,  $10\ ^{\circ}C\ h^{-1}$  (BROWN, 1991).

Nos ensaios com convecção natural, por sua vez, os desvios padrão foram menores, evidenciando a maior homogeneidade entre as velocidades do ar nesses ensaios, uma vez que neles não há qualquer agitação mecânica do ar. A taxa de congelamento observada no ensaio com doze amostras e convecção natural foi a menor de todas,

enquanto o ensaio com nove amostras e convecção natural apresentou uma taxa de congelamento reduzida, porém similar àquela obtida no ensaio com doze amostras e convecção forçada. Assim, nenhum dos ensaios com convecção natural atingiu uma taxa suficiente para ser considerado congelamento comercial.

Bulut et al. (2018) avaliaram os efeitos da taxa de congelamento na qualidade de morangos congelados em *freezer* doméstico a  $-23$  e  $-27$  °C, sob convecção natural, obtendo taxas de congelamento entre  $3,95$  e  $6,98$  °C h<sup>-1</sup>, se enquadrando na definição de congelamento lento. Os autores constataram que tais condições de processo resultaram em degradação dos tecidos celulares do morango, devido a formação de grandes cristais de gelo.

Dessa forma, pode-se considerar que, sem ventilação forçada, o *freezer* doméstico é inadequado para o congelamento de alimentos. Mesmo com ventilação forçada, o equipamento é capaz de atingir apenas o limite inferior da velocidade de congelamento comercial, ainda não sendo adequado para o congelamento de alimentos.

Com base neste resultado, porém, é possível pensar em formas de aprimorar a instalação e o processo, visando aumentar a velocidade do ar e a homogeneidade tanto da temperatura do ar quanto da temperatura do produto, de forma a aumentar a taxa de congelamento e minimizar variações entre as amostras.

#### 4 CONCLUSÃO

O *freezer* doméstico, embora suficiente para a conservação de produtos já congelados, é capaz de promover apenas congelamentos lentos, não sendo adequado para congelar alimentos com constituição celular. A instalação do ventilador interno para promoção de convecção forçada possibilitou apenas pequeno aumento da taxa de congelamento dos saches com solução modelo para atingir os requisitos de congelamento comercial em comparação a convecção natural.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – número do processo 140704/2017-5) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

BROWN, M. H. Microbiological aspects of frozen foods. In: BALD, W. B. (Ed.). Food Freezing: Today and Tomorrow. London: Springer-Verlag London Limited, 1991. p. 15–25.

BULUT, M; BAYER, Ö; KIRTIL, E; BAYINDIRLI, A. Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer. *International Journal of Refrigeration*, v. 88, p. 360-369, 2018.

CHEVALIER, D.; BAIL, A.L.; GHOUL, M. Freezing and ice crystals formed in a cylindrical food model: part I. Freezing at atmospheric pressure. *Journal of Food Engineering*, v. 46, p. 277-285, 2000.

FELLOWS, P. J. Congelamento. In: *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2a ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 429–451.

MUTHUKUMARAPPAN, K.; MARELLA, C. Food freezing technology. In: KURTZ, M. (Ed.). *Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery*. Norwich: William Andrew, Inc., 2007. p. 341–365.