



**WHITE PAPER**

# ***A proeza do frio: como escolher a tecnologia de congelação certa para a sua linha de produção***

**Dr Chris Kennedy**

Independent consultant in the food industry,  
Member of the Institute of Refrigeration,  
The Institute of Food Science and Technology  
and the Institute of Physics

## 1. Introdução

A refrigeração e a congelação já são aspectos essenciais de muitos processos de produção e de distribuição de alimentos. Tendências óbvias na indústria de alimentos indicam que o crescimento no pedido de alimentos refrigerados ou congelados continuará, e por isso cada vez mais fabricantes estão a melhorar e a ampliar os seus equipamentos de refrigeração e de congelação.

Mas isto não é tão fácil de fazer como era dantes. A tecnologia de congelação desenvolveu-se e os congeladores mecânicos tradicionais, os quais constituem a maioria dos sistemas ainda usados, são agora colocados ao lado das novas tecnologias que prometem maiores vantagens em relação aos seus antecedentes.

Portanto, quais são os sistemas de congelação disponíveis para os processadores de alimentos da actualidade? Quais são as vantagens e desvantagens desses sistemas e como é que os fabricantes podem seleccionar a melhor solução para os seus negócios?

## 2. Comparação das tecnologias de congelação

Na actualidade, existem três categorias de congeladores

- Congeladores Mecânicos que usam um refrigerante em circulação para reduzir a temperatura por meio de troca de calor entre o ar e os alimentos.
- Congeladores Criogénicos que reduzem a temperatura mediante a aplicação directa de azoto líquido a  $-196^{\circ}\text{C}$  ou dióxido de carbono nos próprios alimentos.
- Congeladores de Impacto os quais dirigem jactos de ar de alta velocidade directamente ao produto alimentar.

Dentro destas categorias existem vários esquemas de congelador, incluindo o túnel de espiral, de IQF (Congelação Individual e Rápida) e sistemas de leito fluido. O sistema óptimo dependerá de vários factores, como o tipo e tamanho do produto, a produtividade necessária e a disposição da fábrica.

As três tecnologias e todos os tipos de congeladores possuem vantagens, desvantagens e limitações. Neste documento comparamos as tecnologias de congelação mecânica, criogénica e de impacto mais que os sistemas específicos. A melhor tecnologia só pode ser seleccionada quando os processadores de alimentos analisarem as suas circunstâncias e requisitos específicos.

### Congelação Mecânica

Os congeladores mecânicos foram os primeiros a serem usados na indústria alimentar e são usados na vasta maioria de linhas de congelação/refrigeração. Os sistemas são normalmente de uso exclusivo, propriedade do processador alimentar e operados pelo próprio.

Estes funcionam fazendo circular um refrigerante, normalmente amoníaco, pelo sistema, o que retira o calor do produto alimentar. Este calor é então transferido para um condensador e dissipado no ar ou em água. O próprio refrigerante, agora um líquido quente a alta pressão, é dirigido para um evaporador. Ao passar por uma válvula de expansão, refrigera-se e vaporiza-se para o estado gasoso. Tendo sido transformado de novo num gás de baixa pressão e baixa temperatura, pode ser reintroduzido no sistema.

### Congelação Criogénica

Os congeladores criogénicos são um desenvolvimento mais recente e são usados com sucesso por fabricantes de alimentos em todo o mundo. Normalmente, estes sistemas são alugados e não pertencem ao fabricante de alimentos.

O equipamento criogénico usa gases a temperaturas muito baixas, normalmente azoto líquido ou dióxido de carbono sólido, os quais são aplicados directamente no produto alimentar.

### Congelação de Impacto

Os congeladores mecânicos de impacto foram desenvolvidos nos últimos dez anos. Normalmente, o produto é colocado num tapete, ao qual são dirigidos jactos de ar a alta pressão. O ar acumula-se num difusor por cima e por vezes por baixo do congelador, o qual é então canalizado por meio de ranhuras, orifícios ou tubos curtos até aos alimentos.

Este processo resulta numa congelação mais rápida do que os congeladores mecânicos tradicionais, porque quebra a camada limite da superfície e melhora a transferência térmica.

A seguir mostra-se um resumo das diferenças principais entre as três tecnologias de congelação:

Características	Congeladores Mecânicos	Congeladores Criogénicos	Congeladores de Impacto
Propriedade	Normalmente pertencem ao produtor de alimentos	Normalmente são alugados ao fornecedor, (que também fornece o refrigerante)	Normalmente pertencem ao produtor de alimentos
Estrutura de custos	Elevado investimento inicial de capital, custos de produção mais baixos	Baixo investimento inicial de capital, custos subsequentes mais altos e variáveis	Alto investimento inicial de custos capital, custos de produção mais baixos do que os dos sistemas criogénicos mas mais altos do que os dos congeladores mecânicos tradicionais
Localização na Fábrica	Fixos, normalmente situados numa base em cimento. A situação é limitada pelo espaço disponível	Flexível, a situação é mais fácil devido a ocuparem menos espaço do que a dos congeladores mecânicos	Mais flexíveis do que os congeladores mecânicos tradicionais
Refrigerante	Normalmente usa-se amoníaco, R22 ...	Azoto líquido (LIN) ou dióxido de carbono sólido (CO <sub>2</sub> )	Normalmente usa-se amoníaco, R22 ...
Taxa de transferência térmica/ velocidade de congelação	Mais lenta devido à temperatura relativamente alta do refrigerante	Mais rápida devido à grande diferença de temperatura entre a superfície do produto e o refrigerante	Mais rápida, desde que o produto seja plano e com altura inferior a 20 mm

### 3. Factores que influenciam a escolha da tecnologia de congelação

Os fabricantes de alimentos devem considerar vários factores quando decidem qual é as tecnologias que irão instalar nas suas linhas de produção. Em geral, estes pertencem a quatro categorias: qualidade do produto e requisitos de produção, requisitos de gestão fabril, considerações financeiras e factores ambientais.

#### 3.1 Qualidade do Produto

##### Perda de humidade e teor de humidade

Todos os métodos de congelação causam um certo grau de perda de humidade durante o próprio processo de congelação (perda de peso por evaporação) e/ou durante a descongelação (perda de líquido).

- A perda de peso por evaporação, reduz o peso e, portanto, o valor do produto, especialmente no caso de carnes, aves, peixe e mariscos. Ao mesmo tempo, a desidratação da superfície causa impacto na textura, cor e tempo de cozedura do produto. A perda de peso por evaporação reduz a condutividade térmica da camada superficial, aumentando assim o tempo de cozedura. Isto é particularmente importante em aplicações onde o tempo de cozedura é limitado, tais como hambúrgueres para estabelecimentos de comida rápida. Na maioria das aplicações, a melhor maneira de diminuir a perda por evaporação é reduzir a temperatura o mais rapidamente possível. A redução rápida de temperatura baixa a pressão do vapor da água livre da superfície do alimento, reduzindo assim a desidratação.
- A perda por líquido ocorre durante a descongelação se o produto alimentar sofrer danos celulares causados pela formação de cristais grandes de gelo durante um processo de congelação lento. Esta perda de humidade afecta a cor, o sabor e a qualidade nutritiva do produto descongelado, visto que os nutrientes e os pigmentos estão contidos na humidade perdida. Os danos estruturais também podem causar a degradação da textura ou redução da firmeza, particularmente em legumes e frutos. Este facto foi demonstrado no estudo realizado por Agnelli e Mascheroni em 2002 no qual foram evidenciados os efeitos dos danos de congelação quando mediram a textura de morangos congelados usando um teste de compressão. Este mostrou que os morangos mantinham uma maior firmeza quando eram congelados rapidamente por métodos criogénicos.

##### Cor

A cor da comida descongelada é afectada de duas maneiras. A primeira, explicada acima, é devida à perda de pigmentação causada pela perda por líquido. A segunda é causada pela formação de cristais de gelo durante a congelação, porque existe uma concentração dos solutos. Este aumento de concentração acelera os processos de oxidação e de escurecimento enzimático. Quanto mais tempo o produto permanece a uma temperatura perto do plano de congelação, isto é, quando mais lento for o processo de congelação, maiores serão os efeitos.

A investigação de Agnelli a Mascheroni mostrou os resultados de medidas de cor em hambúrgueres descongelados. Estas demonstram a importância da velocidade de congelação e os benefícios de uma taxa de congelação mais rápida:

- A perda por líquido e a drenagem de pigmentos são reduzidas
- O escurecimento da carne é minimizado e a cor dos hambúrgueres congelados criogénica e mecanicamente é mais idêntica à cor da carne original do que a dos que são congelados usando métodos puramente mecânicos.

##### Produtos delicados

Dado o seu esquema de sistema e das características de manipulação dos produtos, os congeladores criogénicos são considerados os mais adequados para manipular produtos frágeis ou delicados, incluindo muitos tipos de frutas macias.

##### Qualidade do produto: conclusões

A pesquisa e a experiência mostram que a congelação rápida reduz a perda de humidade e de rendimento e minimiza as alterações de textura, cor e sabor dos produtos. Portanto, qual é a tecnologia que conseguirá redução de temperatura mais rápida?

A taxa à qual os congeladores reduzem a temperatura é descrita como sendo a taxa térmica média de transferência (por unidade de área), ou  $h \times \Delta T$ . Quanto mais alta for a taxa térmica média de transferência, mais rapidamente a temperatura se baixará.

Consideremos uma temperatura média da superfície do produto durante o processo de congelação de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Um congelador em espiral mecânico com uma temperatura de ar de  $-30^{\circ}\text{C}$  e um coeficiente de transferência térmica de  $25 \text{ W/km}^2$  possui uma taxa térmica média de transferência específica de  $25 \times 20 = 500 \text{ W/km}^2$ .

Um túnel de congelação criogénico com uma temperatura de  $-80^{\circ}\text{C}$  e um coeficiente de transferência térmica de  $60 \text{ W/km}^2$  possui uma taxa térmica média de transferência específica de  $60 \times 70 = 4.200 \text{ W/km}^2$ .

Devido à sua taxa de congelação mais alta, os congeladores mecânicos de impacto e criogénicos são portanto as melhores tecnologias para fornecer uma qualidade de produto óptima. Contudo, só em aplicações limitadas, tais como no caso de alimentos finos com superfícies planas e perpendiculares como os hambúrgueres, que os congeladores de impacto mecânico mostraram fornecer transferências térmicas semelhantes às dos sistemas criogénicos. A transferência térmica altamente dependente da direcção do fluxo de ar, pelo que no caso de produtos de maior volume ou desiguais, a congelação de impacto pode ser consideravelmente menos desejável.

#### 3.2 Gestão Fabril

Cada fábrica de processamento alimentar é única, e este factor deve ser considerado quando se escolhe uma tecnologia de congelação. Os factores que devem ser considerados incluem o espaço disponível, o nível de flexibilidade requerido e a higiene, a limpeza e a manutenção.

##### Área ocupada/espaço disponível

Em quase todos os casos, os congeladores criogénicos ocupam menos espaço do que os mecânicos, assumindo níveis semelhantes de produtividade. Alguns sistemas mecânicos de impacto agora são fornecidos em formato modular e também ocupam uma área pequena. Isto pode ser demonstrado comparando os valores de dois congeladores normais, usados para a congelação de hambúrgueres.

Produtividade	Congelador Mecânico	Congelador Criogénico
2.000kg/hora	área de 9,5 x 6,5m, altura mínima necessária de 3,7m. <b>Área total de 62m<sup>2</sup></b>	área de 12 x 1,6m, altura máxima de 1,75 m. <b>Área total de: 19m<sup>2</sup></b>
500kg/hora	6,5 x 3m (total de 19,5m <sup>2</sup> )	4 x 1,6m (total de 6,4m <sup>2</sup> )



### ***Volumes de vendas***

O pedido flutuante dos consumidores pode causar repentinos aumentos e decréscimos frequentemente inesperados em volumes de vendas. Os gestores das fábricas estão dependentes de muitas variáveis fora do seu controlo, incluindo a aceitação do produto pelo consumidor e o seu ciclo de vida útil.

Por esse motivo é imperativo que se preveja, tão precisamente quanto possível, o volume provável de vendas durante o período de amortização do equipamento de congelação. No caso dos congeladores mecânicos, este pode atingir vários anos. As previsões demasiado optimistas reduzem a eficiência, enquanto que as previsões pessimistas podem resultar uma capacidade de congelação insuficiente.

Enquanto os congeladores mecânicos têm uma produção máxima fixa para qualquer produto específico, os congeladores criogénicos e mecânicos podem adaptar-se, (aumentando a longitude do túnel, por exemplo) para responder rapidamente às mudanças em volumes de negócio. Há que ter em conta, que dado que os congeladores criogénicos são normalmente alugados, essas mudanças não requerem o uso de capital adicional significativo por parte do fabricante.

Deve-se destacar que a tecnologia de congelação mecânica de impacto resolveu muitos dos problemas de flexibilidade dos sistemas mecânicos tradicionais, particularmente em termos de peso e de área ocupada. Por outro lado, a congelação por impacto mecânico é menos flexível do que os processos mecânicos tradicionais por causa de ser útil apenas para produtos planos com uma altura inferior a 20 mm. Tanto os sistemas criogénicos como os mecânicos tradicionais são melhor adaptados para as linhas de produção que por vezes, ou quase sempre, manuseiam produtos mais altos ou desiguais.

### ***Configuração da linha de produção***

Na indústria actual alimentar de mudanças rápidas, os fabricantes frequentemente necessitam de alterar a disposição das suas instalações. Isto é especialmente importante para o caso da fabricação de contrato. Os grandes congeladores mecânicos em espiral são equipamentos muito grandes cujo peso precisa frequentemente de ser suportado por uma base em cimento. A reconfiguração do posicionamento de um túnel criogénico ou mecânico de impacto nem sempre é fácil mas raramente requer alterações na estrutura do edifício.

### ***Alterações de produtos***

Especialmente para os produtores de alimentos mais pequenos é importante a capacidade de congelar uma gama de diferentes produtos. Tanto o período de congelação como os tempos mortos influenciam a capacidade que o fabricante tem de mudar de produto. Quando se muda de produto, o ideal é que o primeiro produto deve sair do congelador antes do segundo produto lá entrar. Isto é devido às diferenças em períodos de congelação, os quais determinam o “período de residência” e a velocidade do tapete necessários para um determinado produto. Quanto mais longo for o período de residência, maior será o tempo morto entre os dois produtos.

Se for necessário fazer limpeza quando se trocam produtos, o que é frequente no caso de produtos com coberturas ou quando a troca é entre alimentos crus e cozinhados, os fabricantes também precisam de ter em conta as características de limpeza, conforme se descreve a seguir.

Se o fabricante processa apenas um tipo de produto a velocidades muito altas, diariamente, por um longo período de tempo, a congelação mecânica pode ser a tecnologia mais adequada para as suas necessidades. Mas isto depende, é claro, de ter espaço suficiente, disponibilidade de capital, recrutamento de pessoal especializado, etc..

### ***Manutenção, higiene e limpeza***

Estes processos devem ser tão rápidos e simples quanto possível, para maximizar o tempo de produção e otimizar a eficiência da linha. Por exemplo, a acumulação de humidade e de gelo nos evaporadores dos congeladores mecânicos pode prolongar os tempos de produção e reduzir o rendimento.

A higiene e limpeza regulares e completas são, obviamente, essenciais na indústria alimentar, mas também devem ter um impacto mínimo na produtividade. Os congeladores mais pequenos e de esquema simples são evidentemente de limpeza mais rápida e barata. Menos peças internas complexas, altura reduzida e capacidade de acesso optimizada reduzem o tempo necessário para os processos de limpeza e tornam-nos mais eficazes.

Os congeladores de impacto mecânico possuem frequentemente um esquema menor e um acesso mais fácil, semelhantes aos dos sistemas criogénicos. Contudo, as suas estruturas continuam a ser complexas e difíceis de drenar, pelo que a limpeza é complicada e apresentam maiores problemas de higiene.

### ***Gestão fabril: conclusões***

Tendo em conta os problemas que os gestores fabris consideram, pode-se concluir que os congeladores criogénicos são frequentemente a tecnologia preferível para muitos processadores de alimentos, devido aos seguintes factores:

- Menor espaço ocupado
- Adaptação às alterações em volumes de vendas
- Flexibilidade na manipulação de produtos diferentes
- Esquema mais simples e mais acessível
- Menor custo de capital inicial.

## ***3.3 Considerações financeiras***

A instalação ou o aumento do equipamento de congelação incorre custos em várias áreas, como no investimento de capital, custos de produção e custos de mão-de-obra, durante o funcionamento e a manutenção.

### ***Custos de capital e custos de produção***

Existe uma diferença distinta entre a congelação criogénica e mecânica quando se trata de custos. Embora a congelação mecânica requer um custo de capital inicial maior, os custos de produção são superiores com o equipamento criogénico. Esta diferença depende de um grande número de factores mas, em qualquer linha de produtos, existirá um ponto onde o custo acumulativo da congelação criogénica começa a exceder o custo da congelação mecânica.

Contudo, deve-se notar que o clima económico actual está a tornar os compromissos financeiros mais difíceis. Os fabricantes que não podem ou não querem fazer um investimento de capital significativo, podem portanto beneficiar dos sistemas de congelação criogénica.

### ***Custos laborais***

Devido ao seu tamanho e complexidade, os congeladores mecânicos tendem a necessitar de maior mão-de-obra em termos de limpeza. Os pedidos de manutenção também são maiores para os sistemas mecânicos, assim como é necessário um nível mais alto de operadores de manutenção. A importância relativa destes factores dependerá do modelo do congelador e do custo da mão-de-obra local.

### ***Qualidade do produto***

Conforme se mencionou anteriormente, a minimização da perda de humidade é essencial para maximizar a qualidade e o valor do produto, particularmente em produtos de alto valor. A escolha do sistema de congelação possui portanto implicações financeiras e qualitativas para os fabricantes.

### **Considerações Financeiras: Conclusões**

É imperativo que todos os factores financeiros sejam tomados em consideração quando se decide escolher entre a congelação criogénica ou mecânica. Os fabricantes devem considerar os custos durante um período específico e definir o custo total da utilização de cada tecnologia. Os fornecedores de congeladores podem ajudar a fazer este estudo mas a tecnologia de impacto mecânico é quase sempre mais cara do que a de congelação mecânica tradicional devido ao custo de gerar ar a alta velocidade. As decisões podem ser fortemente influenciadas pela disponibilidade de capital de investimento.

### **3.4 Factores Meio Ambientais**

A conscientização crescente em termos de uso e desperdício de energia e o impacto da fabricação nas emissões de carbono e os desenvolvimentos em legislação, fazem com que os produtores de alimentos necessitam de considerar o impacto meio ambiental das suas tecnologias de congelação.

A Food and Drink Federation e Carbon Trust calcula que a fabricação alimentar representa apenas 10% das emissões relacionadas com energia na cadeia alimentar. A maioria desta percentagem, cerca de 60%, é devida à refrigeração e congelação por parte de grandes processadores de alimentos congelados. Os congeladores mecânicos requerem menos energia do que aquela que é necessária para a produção de azoto líquido mas, no sistema total de produção de alimentos, ambas as tecnologias contribuem apenas com uma pequena percentagem de emissões.

## **4. Conclusões**

O que é que a análise nos diz? É óbvio que seleccionar uma tecnologia de congelação não é simples e que nenhuma tecnologia é perfeita para todos os fabricantes.

Antes de escolher o congelador específico, os utilizadores precisam de considerar a disponibilidade financeira, o produto em questão que se vai manipular, a disposição, a gestão da fábrica e os requisitos de flexibilidade.

Os sistemas de congelação criogénica fornecem grandes benefícios em termos da taxa de congelação numa grande gama de alimentos, resultando em produtos de mais alta qualidade. O baixo investimento de capital, a flexibilidade e a facilidade de limpeza também são atraentes para muitos dos fabricantes de alimentos.

Os sistemas mecânicos possuem um maior investimento de capital mas podem fornecer benefícios financeiros a longo prazo. Os avanços na tecnologia de congelação de impacto estão a diminuir a separação entre os sistemas mecânicos e criogénicos em determinada medida, mas os benefícios são limitados a um tipo específico de produto. Aconselhamos aos fabricantes que consultem fornecedores de congeladores para identificar a tecnologia que melhor se adapte às suas necessidades e o equipamento mais apropriado para as suas linhas de produção.

## **5. Tell me more**

### **Acerca do autor:**

O Dr. Chris Kennedy é um consultor independente respeitado no sector alimentar.

Em 2009, analisou as considerações principais para a escolha de um novo equipamento de congelação. O estudo validou ou desafiou as opiniões existentes sobre os benefícios de várias tecnologias de congelação, com referência, sempre que possível, a dados publicados. Este artigo resume os pontos essenciais da pesquisa.

O Dr. Kennedy é um dos membros do Institute of Refrigeration, do Institute of Food Science and Technology e o Institute of Physics. Possui 15 anos de experiência em proporcionar serviços de consultoria para o sector alimentar.

### **For more information**

Para falar sobre a melhor tecnologia de congelação para as suas instalações de produção ou para obter uma revisão grátis do seu processo de congelação actual, por favor marque uma visita com um dos especialistas da Air Products:

Tel 00 351 22 9998313

Fax 00 351 22 9998301

Email [TORRESPA@gasin.com](mailto:TORRESPA@gasin.com)

**tell me more**  
**[www.airproducts.pt](http://www.airproducts.pt)**