

TECNOLOGIAS DE CONSERVAÇÃO APLICADAS À SEGURANÇA DE ALIMENTOS

OPAS



Organização
Pan-Americana
da Saúde



Organização
Mundial da Saúde
ESCRITÓRIO REGIONAL PARA AS Américas

PANAFTOSA

Centro Pan-Americano de Febre Aftosa
e Saúde Pública Veterinária





TECNOLOGIAS DE CONSERVAÇÃO APLICADAS À SEGURANÇA DE ALIMENTOS

OPAS



Organização
Pan-Americana
da Saúde



Organização
Mundial da Saúde
ESCRITÓRIO REGIONAL PARA AS Américas

PANAFTOSA

Centro Pan-Americano de Febre Aftosa
e Saúde Pública Veterinária

Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos

ISBN: 978-92-75-72103-2

eISBN: 978-92-75-72104-9

© **Organização Pan-Americana da Saúde 2019**

Todos os direitos reservados. As publicações da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) estão disponíveis em seu website em (www.paho.org). As solicitações de autorização para reproduzir ou traduzir, integralmente ou em parte, alguma de suas publicações, deverão se dirigir ao Programa de Publicações através de seu website (www.paho.org/permissions).

Citação sugerida. Organização Pan-Americana da Saúde. *Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos*. Washington, D.C.: OPAS; 2019.

Dados da catalogação na fonte (CIP). Os dados da CIP estão disponíveis em <http://iris.paho.org>

As publicações da Organização Pan-Americana da Saúde contam com a proteção de direitos autorais segundo os dispositivos do Protocolo 2 da Convenção Universal de Direitos Autorais.

As designações empregadas e a apresentação do material na presente publicação não implicam a expressão de uma opinião por parte da Organização Pan-Americana da Saúde no que se refere à situação de um país, território, cidade ou área ou de suas autoridades ou no que se refere à delimitação de seus limites ou fronteiras.

A menção de companhias específicas ou dos produtos de determinados fabricantes não significa que sejam apoiados ou recomendados pela Organização Pan-Americana da Saúde em detrimento de outros de natureza semelhante que não tenham sido mencionados. Salvo erros e omissões, o nome dos produtos patenteados é distinguido pela inicial maiúscula.

Todas as precauções razoáveis foram tomadas pela Organização Pan-Americana da Saúde para confirmar as informações contidas na presente publicação. No entanto, o material publicado é distribuído sem garantias de qualquer tipo, sejam elas explícitas ou implícitas. A responsabilidade pela interpretação e uso do material cabe ao leitor. Em nenhuma hipótese a Organização Pan-Americana da Saúde deverá ser responsabilizada por danos resultantes do uso do referido material.

DESIGN GRÁFICO:

SB Comunicação

FOTOS:

Arquivo OPAS / freepik.com / istockphoto.com / pixabay.com

SUMÁRIO

Apresentação	5
1. Métodos de conservação de alimentos: importância e princípios	7
2. Métodos convencionais de conservação de alimentos	13
2.1 Processamento por aplicação de calor	15
Branqueamento	17
Pasteurização	19
Esterilização	21
Evaporação e destilação	26
Desidratação	28
Fritura	32
2.2 Processamento por remoção de calor	34
Resfriamento	35
Sistema de cozimento-resfriamento (<i>cook-chill</i>)	41
Congelamento	42
2.3 Utilização de conservantes	45
2.4 Armazenagem e embalagem em atmosfera modificada	48
2.5 Fermentação	50
2.6 Salga	51
2.7 Defumação	54

3. Novos métodos de conservação de alimentos	57
3.1 Tecnologias emergentes baseadas em efeitos térmicos	59
3.2 Métodos não-térmicos para conservação	60
Alta pressão hidrostática	61
Irradiação	64
Luz ultravioleta	67
Campo elétrico pulsado	68
Ultrassom	70
Ozônio	71
4. Métodos combinados de conservação de alimentos	73
Referências	77

APRESENTAÇÃO

A tecnologia de alimentos vem mostrando-se uma importante ferramenta na segurança e disponibilidade de alimentos desde a descoberta e comprovação da existência de bactérias na produção de cervejas e vinhos no século XIX por Louis Pasteur, até os dias atuais.

Essa ferramenta pode ser empregada tanto em processos simples, como em um tratamento térmico de cozimento, realizado na cozinha de uma casa, durante o preparo, quanto em processos industriais mais complexos como a nanotecnologia aplicada à produção de alimentos.

Os atuais sistemas de auditorias baseadas em risco, na área de segurança de alimentos, requerem conhecimento mais avançado de auditores e de inspetores, especialmente no que se refere às tecnologias aplicadas na sua produção e seus impactos no controle de perigos relacionados aos mesmos.

São muitas as tecnologias disponíveis para produção de alimentos, com objetivos e resultados muito variados. O objetivo desta publicação é apresentar as principais tecnologias existentes e como elas impactam na segurança dos alimentos. O primeiro capítulo aborda a conservação e os princípios e fatores que determinam a eficiência dos processos. No segundo capítulo, são tratadas as tecnologias convencionais de processamento de alimentos e seu impacto na segurança do produto final. No terceiro capítulo, são apresentadas as tecnologias mais modernas que começam a ser aplicadas em processamento de alimentos. Finalmente, o quarto capítulo trata da combinação de tecnologias aplicadas em processos de produção de alimentos.

Esperamos que estes conhecimentos sejam de ampla utilização por serviços de inspeção oficial de alimentos, como material auxiliar e de consulta durante o relevante trabalho realizado em cada país.

1

MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS:

IMPORTÂNCIA
E PRINCÍPIOS



Alimento é considerado uma matriz complexa que geralmente contém nutrientes suficientes para favorecer o desenvolvimento microbiano. Sua composição físico-química, somada às condições ambientais, influencia na multiplicação microbiana.

Os processos de conservação de alimentos baseiam-se na inativação total/parcial dos micro-organismos e enzimas capazes de alterar um alimento ou na modificação/eliminação de um ou mais fatores que são essenciais para a sua multiplicação, de modo que o alimento não se torne propício ao desenvolvimento microbiano.

São vários os fatores que podem inibir ou favorecer a multiplicação microbiana em alimentos, sendo que esses parâmetros são divididos em dois grupos: intrínsecos e extrínsecos (Tabela 1). Cabe destacar que, dentre os fatores, a temperatura, a atividade de água e o pH afetam fortemente a multiplicação dos micro-organismos nos alimentos.

Parâmetros intrínsecos	Parâmetros extrínsecos
<ul style="list-style-type: none">• Atividade de água• Disponibilidade de oxigênio• pH / Acidez• Nutrientes disponíveis• Fatores antimicrobianos naturais• Presença e características de microbiota natural	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura• Umidade relativa• Composição atmosférica• Embalagem

TABELA 1 – Parâmetros intrínsecos e extrínsecos que afetam a multiplicação microbiana.



POR EXEMPLO...

Alguns alimentos apresentam parâmetros intrínsecos muito favoráveis ao crescimento de micro-organismos. É o caso de produtos *in natura* como leite, carnes e pescados, que têm alta atividade de água, pH próximo ao neutro e alta concentração de nutrientes. Por sua vez, outros alimentos, mesmo que menos suscetíveis à deterioração rápida, também estão sujeitos a alterações específicas que caracterizam a deterioração.



O entendimento dos fatores que afetam o desenvolvimento microbiano é essencial para selecionar os métodos de conservação mais adequados para serem aplicados nos diversos tipos de alimentos. De um modo geral, a aplicação de métodos de conservação está associada ao controle do crescimento microbiano, visando eliminar riscos à saúde do consumidor, bem como prevenir ou retardar o surgimento de alterações indesejáveis dos alimentos.

Os métodos são baseados em princípios ou fatores conservantes, como por exemplo, uso de temperaturas elevadas ou baixas, uso de conservantes químicos, remoção parcial do conteúdo de água, diminuição ou remoção do oxigênio na embalagem, entre outros (Tabela 2).

Efeitos nos micro-organismos	Fatores conservantes	Métodos de atuação
Redução ou inibição da multiplicação	Baixa temperatura	Estocagem sob refrigeração e congelamento
	Baixa atividade de água	Secagem, cura e conservação por adição de açúcar ou de substâncias antiulectantes
	Restrição da disponibilidade de nutrientes	Compartimentalização em emulsões água-óleo
	Baixo nível de oxigênio	Embalagem a vácuo ou com nitrogênio
	Aumento de dióxido de carbono	Embalagem em atmosfera modificada
	Acidificação	Adição de ácidos, fermentação
	Fermentação alcoólica	Produção de cerveja, vinho
	Utilização de conservantes	Adição de conservantes inorgânicos (sulfitos, nitritos); orgânicos (propionato, sorbato, benzoato, parabenzeno)
Inativação de micro-organismos	Aquecimento	Pasteurização e esterilização
	Irradiação	Irradiação ionizante
	Alta pressão	Aplicação de alta pressão hidrostática

TABELA 2 – Alguns exemplos de métodos de conservação e seus efeitos nos micro-organismos.

FONTE: FORSYTHE, 2013.

Os métodos de resfriamento, congelamento, secagem, cura, processos de conserva, embalagens a vácuo, embalagens com atmosfera modificada, acidificação, fermentação e adição de conservantes são caracterizados pela capacidade de prevenir ou inibir o desenvolvimento microbiano. A pasteurização e a esterilização são exemplos de métodos caracterizados pela destruição de micro-organismos.



FIGURA 1 – Exemplos de métodos de conservação aplicados em alimentos.

Os métodos convencionais de conservação de alimentos, de um modo geral, têm utilizado o aquecimento para a eliminação de micro-organismos, porém, podem apresentar, como desvantagem, alterações sensoriais e nutricionais no produto, além dos impactos positivos ou negativos que podem ter na segurança do alimento. A crescente demanda dos consumidores por produtos “frescos” tem estimulado o desenvolvimento de novos métodos que sejam capazes de preservar, ao máximo, a qualidade sensorial e nutricional do produto “*in natura*”. Como exemplos de novos métodos de conservação, estão a alta pressão hidrostática, ultrassom, irradiação, pulsos elétricos, etc. Entretanto, é fundamental que estes novos métodos considerem a componente “segurança” do alimento e não apenas os aspectos sensoriais e nutricionais.

Por isso, na escolha do método de conservação a ser aplicado em um determinado alimento, é importante analisar, dentre outros, os seguintes aspectos:

- a. Fatores como pH e atividade de água do alimento – produtos de baixa acidez e/ou alta atividade de água são considerados mais suscetíveis à deterioração;
- b. Parâmetros críticos para manter a qualidade e a segurança do alimento – como por exemplo, alto teor de lipídios insaturados; alto teor de vitaminas e/ou pigmentos fotossensíveis; presença de condições favoráveis ao crescimento de micro-organismos patogênicos e/ou deterioradores etc;
- c. Condições de estocagem e distribuição a que o produto será exposto;
- d. Perfil do consumidor.

★ QUAL É O PERFIL DO CONSUMIDOR?

A escolha do método de conservação também deve considerar o perfil do público que consumirá os alimentos. Os requisitos nutricionais, os aspectos microbiológicos e as restrições alimentares aplicam-se de forma diferente aos diversos grupos populacionais. Para qualquer indivíduo, uma intoxicação ou infecção alimentar é preocupante, no entanto, lactantes, grávidas, bebês, idosos e aqueles com sistema imunológico deprimido, são considerados grupos de maior risco. Portanto, os processos a serem aplicados para a conservação de alimentos destinados para esses grupos especiais devem atender às exigências específicas. Como exemplo, cita-se o caso da *Listeria monocytogenes*, que não afeta a maioria dos indivíduos saudáveis, mas que pode ser extremamente severa neste grupo de consumidores, podendo até mesmo ocasionar aborto em mulheres grávidas. Este exemplo ilustra como é importante considerar o perfil do público consumidor de um tipo de alimento na escolha do método de conservação, de modo que a segurança do produto seja garantida.



Nos próximos capítulos, serão apresentados mais detalhes sobre as tecnologias convencionais ou tradicionais e, também, sobre os novos métodos para a conservação de alimentos que já começam a ser utilizados pelas indústrias.

2

MÉTODOS CONVENCIONAIS

DE CONSERVAÇÃO
DE ALIMENTOS





21

PROCESSAMENTO POR APLICAÇÃO DE CALOR

O tratamento térmico continua sendo um dos métodos mais importantes utilizados no processamento de alimentos. Além de conferir efeitos desejáveis na qualidade sensorial, a aplicação do calor também tem efeito de conservação dos alimentos por meio da inativação de enzimas, destruição de micro-organismos, insetos e parasitas. Adicionalmente, o processamento térmico proporciona também os seguintes benefícios:

- Capacidade de fabricação de alimentos com maior vida útil e que, em alguns casos, não necessitam de refrigeração;
- Facilidade no controle das condições de processamento;
- Branqueamento, com a possibilidade de inativação de enzimas responsáveis pelo escurecimento, de fixação da cor, aroma e sabor de frutas, de eliminação de ar dos tecidos, de evitar oxidações, de conferir consistência de fruta firme e tenra, com redução da carga microbiana superficial e com aumento da vida útil;
- Destruição de fatores antinutricionais (por exemplo: inibidores de tripsina em algumas leguminosas);
- Aumento da disponibilidade de alguns nutrientes (por exemplo: aumento da digestibilidade de proteínas, gelatinização de amidos e liberação de niacina ligada).

No entanto, a aplicação do calor também destrói componentes dos alimentos responsáveis pelo seu sabor, cor ou textura e, como resultado característico, eles são, muitas vezes, percebidos como de menor qualidade ou valor. Felizmente, é possível minimizar os efeitos indesejáveis, ao mesmo tempo que os efeitos desejáveis são potencializados, com a utilização de combinações de temperaturas mais elevadas e tempos menores no processamento térmico. Processamentos com altas temperaturas e tempos curtos (em inglês, *high temperature short time*: HTST) podem ser utilizados para produzir o mesmo nível de destruição de micro-organismos ou enzimas em temperaturas mais baixas durante períodos maiores, mas com uma maior manutenção das características sensoriais e do valor nutricional dos alimentos. Novos estudos acerca de processos como o branqueamento, pasteurização, esterilização pelo calor, evaporação e desidratação objetivam identificar melhores condições operacionais para a obtenção de produtos de melhor qualidade. Diversos processos, como extrusão, tratamento térmico dielétrico e ôhmico, são dimensionados para causar o menor dano

possível à qualidade dos alimentos. Outros processos térmicos mais severos, como assamento, tostagem ou fritura, pretendem alterar as características sensoriais do produto, sendo que a conservação é obtida por processamentos posteriores (como por exemplo, resfriamento ou congelamento) ou pela seleção de sistemas de embalagens adequados.

Outro efeito importante do aquecimento é a remoção seletiva de componentes voláteis do alimento. Na evaporação e na desidratação, a remoção da água inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, aumentando, assim, a vida útil do alimento. Na destilação, tanto o álcool é removido seletivamente para produzir bebidas mais concentradas, como os componentes do sabor são recuperados e adicionados novamente aos alimentos para melhorar suas características sensoriais.

Os tratamentos térmicos podem ser agrupados em:

TRATAMENTO TÉRMICO UTILIZANDO VAPOR OU ÁGUA

Exemplos: branqueamento, pasteurização, esterilização pelo calor, evaporação e destilação e extrusão.

TRATAMENTO TÉRMICO UTILIZANDO AR QUENTE

Exemplos: desidratação, forneamento e assamento.

TRATAMENTO TÉRMICO UTILIZANDO ÓLEO QUENTE

Exemplo: fritura.

TRATAMENTO TÉRMICO COM ENERGIA DIRETA E RADIANTE

Exemplo: aquecimento dielétrico, ôhmico e infravermelho

Para que se possa estabelecer um processamento térmico adequado para a destruição dos micro-organismos presentes no alimento, é necessário conhecer a resistência térmica dos micro-organismos-alvo. Essa resistência é influenciada por diferentes fatores como por exemplo, número de células vegetativas ou esporos, espécie, fase do crescimento e das características do meio (pH, composição do alimento, presença de substâncias inibidoras etc).

Existem várias expressões utilizadas para descrever a morte ou destruição microbiana:

- **Valor D:** o tempo de redução decimal (valor D) é definido como o período para que, em uma dada temperatura, haja redução de 90% (= 1 log) da viabilidade efetiva de uma população bacteriana.
- **Valor Z:** é definido como o aumento de temperatura necessário para aumentar a taxa de mortalidade em 10 vezes ou, em outras palavras, reduzir o valor D em 10 vezes.
- **Valor F:** esse valor é o tempo equivalente, em minutos, a 121°C, de todo o calor considerado com relação à sua capacidade de destruir endósporos ou células vegetativas de um organismo em particular.

A seguir, serão apresentados mais detalhes dos principais processamentos térmicos que aplicam calor.

BRANQUEAMENTO

O branqueamento, também conhecido pelo seu termo em inglês, *blanching*, é um tipo de tratamento térmico aplicado em frutas e hortaliças, com a finalidade de inativar enzimas que poderiam causar reações não desejáveis, como o escurecimento enzimático. O processo utiliza como fonte de calor, água quente ou vapor d'água, a uma temperatura de 70°C a 80°C, por um período de tempo que pode variar de 2 a 10 minutos, dependendo da consistência e do tamanho do material. Este tratamento térmico é empregado, normalmente, para produtos que serão posteriormente enlatados, congelados ou desidratados, sendo uma operação importante do ponto de vista da preparação do produto, mesmo que não seja realizada, necessariamente, em todos os processos.

De um modo geral, o branqueamento tem os seguintes objetivos:

- Inativação de enzimas responsáveis pelo escurecimento superficial em frutas, como pêssego, maçã e manga;
- Eliminação dos gases oclusos no pedaço da fruta, ou seja, remoção do ar do interior dos tecidos, proporcionando uma melhoria na obtenção do vácuo. Neste caso, evita-se uma sobrepresão interior nos recipientes durante o tratamento térmico. Estes gases prejudicam a obtenção do vácuo necessário no interior das conservas, podem oxidar o produto e atacar o material das embalagens (folha de flandres, no caso das latas).
- Amolecimento dos pedaços de fruta, antes de serem acondicionadas, reduzindo o volume dos mesmos e propiciando um enchimento completo das latas;
- Facilita o descascamento, amolecendo a pele e auxiliando a sua remoção (quando o branqueamento é aplicado antes da operação de descascamento);
- Destruição parcial dos micro-organismos;
- Manutenção da cor e da textura dos alimentos.

★ DESTAQUE

O branqueamento é considerado um tratamento térmico brando, pois são aplicadas temperaturas menores do que aquelas utilizadas em outros processos, como a pasteurização e esterilização. Assim, o efeito esperado com o branqueamento é uma redução parcial dos micro-organismos presentes em um alimento. De um modo geral, elimina bactérias vegetativas, mofos e leveduras. Portanto, do ponto de vista da segurança do alimento, ele é utilizado em combinação com algum outro método de conservação, como exemplo, no caso de vegetais em conserva, quando utiliza-se o branqueamento seguido do congelamento ou do enlatamento.



Os dois métodos comerciais mais comuns de branqueamento envolvem a passagem do alimento através de uma atmosfera de vapor ou um banho de água quente. Ambos os tipos de equipamentos são relativamente simples e econômicos.

No branqueamento com água, o equipamento mantém o alimento em água quente, por um período de tempo específico, removendo-o posteriormente para uma seção de remoção da água e resfriamento. Existem os branqueadores rotatórios e tubulares.

O equipamento para realizar o branqueamento a vapor, consiste, de forma simplificada, em uma esteira transportadora, que leva o alimento através de uma atmosfera de vapor dentro de um túnel. O tempo de residência do alimento é controlado pela velocidade da esteira e pelo comprimento do túnel.

A Tabela 3 apresenta as vantagens e desvantagens destes dois tipos de branqueadores.



Tipo	Vantagens	Desvantagens
Branqueador a água	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformidade de tratamento, já que o produto é rodeado de água por todos os lados; • Economia considerável de vapor, já que o mesmo, quando utilizado para aquecer a água, causa uma perda menor do que se for usado para aquecer o produto diretamente; • Menor custo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perigo de desenvolvimento de micro-organismos ao redor do tanque, principalmente na parte inferior, onde há umidade e resíduos orgânicos e a temperatura situa-se ao redor de 50-60°C (desenvolvimento de termófilos); • Perda de nutrientes que se dissolvem em água e perda de características organolépticas.
Branqueador a vapor	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das perdas em função da ação dissolvente da água, já que para uma inativação enzimática eficiente, necessita-se de tempo prolongado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de sabor amargo no produto.

TABELA 3 – Vantagens e desvantagens dos equipamentos utilizados para o branqueamento.

Fonte: FELLOWS, 2006.

A escolha do melhor meio de aquecimento para realizar o branqueamento (água ou vapor) deve levar em consideração o objetivo desejado. Utiliza-se vapor quando é necessário e interessante conservar as características sensoriais do produto. Se o objetivo é exclusivamente econômico, aplica-se água, que é mais barato. Além disso, deve-se considerar que o vapor pode também produzir um sabor amargo no produto e a água é mais eficiente para a eliminação dos gases oclusos.

PASTEURIZAÇÃO

A pasteurização consiste em um tratamento térmico, relativamente brando, no qual o alimento é aquecido a temperaturas inferiores a 100°C, com o objetivo de destruir parcialmente as formas vegetativas dos micro-organismos presentes nos alimentos, eliminando, no entanto, os micro-organismos patogênicos. Na pasteurização, os esporos não são destruídos. Considerando que alguns micro-organismos deteriorantes sobrevivem à pasteurização, em geral, um método complementar de conservação é associado, como por exemplo, a refrigeração, adição de conservantes ou acondicionamento em embalagem com atmosfera modificada. Portanto, a vida útil final de um alimento pasteurizado, depende do tratamento térmico aplicado (tempo e temperatura), do método de conservação complementar (quando houver) e das condições de armazenamento.

Em alimentos de baixa acidez (pH > 4,5, como o leite), a pasteurização é utilizada para minimizar possíveis riscos à saúde, devido à contaminação com micro-organismos patogênicos e para aumentar a vida útil de alimentos por diversos dias.



POR EXEMPLO...

Do ponto de vista tecnológico, nem sempre é possível aplicar as maiores temperaturas para o tratamento térmico de uma matéria-prima. Este é o caso da fabricação de queijos que utiliza como matéria-prima o leite pasteurizado e não o leite esterilizado. A pasteurização do leite, neste caso, possibilita a destruição dos micro-organismos patogênicos (mas pode não eliminar toda a carga microbiana presente), e preserva as características físico-químicas do leite, essenciais para a produção dos queijos. A esterilização do leite, por sua vez, teria um efeito mais severo na destruição da carga microbiana, porém, acarretaria na desnaturação das proteínas, interferindo no desenvolvimento dos queijos.



DICA

Para o estabelecimento do tratamento térmico a ser aplicado em um alimento, devem ser considerados os seguintes fatores:

- parâmetros cinéticos de resistência térmica do micro-organismo mais resistente, geralmente patogênico;
- sensibilidade ao calor dos atributos de qualidade do produto.

A partir destas informações e das características do alimento, as condições de processo (tempo e temperatura) são estabelecidas sendo que, de uma forma geral, há uma preferência pela utilização de processos com temperaturas mais elevadas aplicadas em curto espaço de tempo, associado ao envase asséptico.

Considerando que a pasteurização é um processo térmico relativamente brando, a vida útil dos alimentos pasteurizados é limitada e com elevada dependência das condições de estocagem, principalmente da temperatura.

Em alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,5$, como conserva de frutas), a pasteurização é utilizada para aumentar a vida útil por vários meses pela destruição de micro-organismos deteriorantes (fungos e leveduras) ou pela inativação de enzimas. Em ambos os tipos de alimentos, ocorrem pequenas alterações nas características sensoriais ou no valor nutricional.

Alguns alimentos líquidos são pasteurizados após serem embalados. Quando o alimento é embalado em vidro, geralmente se utiliza água quente para reduzir o risco de choque térmico na embalagem, o que poderia causar quebra pela mudança brusca de temperatura. As diferenças máximas de temperatura entre a embalagem e a água são de 20°C para o aquecimento e de 10°C para o resfriamento. Embalagens de plástico ou de metal são processadas utilizando misturas de ar e vapor ou água quente pelo menor risco de choque térmico. Em todos os casos, o alimento é resfriado até aproximadamente 40°C para evaporar a água da superfície e, portanto, minimizar a corrosão externa da embalagem e facilitar a colocação de rótulos adesivos.

Por tratar-se de um tratamento térmico mais brando, a pasteurização promove apenas pequenas mudanças nas características nutricionais e sensoriais da maioria dos alimentos. No entanto, a vida útil dos alimentos pasteurizados em geral é aumentada por poucos dias ou semanas, em comparação com os vários meses que se obtêm ao utilizar a esterilização térmica mais severa. Para assegurar uma vida útil adequada é essencial evitar a contaminação pós-processamento.



FIGURA 2 – Cerveja: exemplo de produto pasteurizado após o envase.

ESTERILIZAÇÃO

A esterilização pelo calor ocorre quando um alimento é aquecido a uma temperatura maior que 100°C, por um tempo suficiente e adequado para destruir a atividade microbiana e enzimática. Como resultado, os alimentos esterilizados alcançam uma vida útil maior do que aqueles pasteurizados e podem ser armazenados em temperatura ambiente. O tratamento térmico mais severo no processo convencional de esterilização na embalagem (enlatamento) pode produzir alterações substanciais na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Em função disso, o desenvolvimento das tecnologias de processamento busca a diminuição do dano aos componentes nutricionais e sensoriais, reduzindo o tempo de processamento nos vasilhames ou processando o alimento antes do envase (processamento asséptico).

O tempo necessário para obter a esterilização comercial de um alimento é influenciado pela:

- Resistência ao calor dos micro-organismos ou enzimas que podem estar presentes no alimento;
- Condições do aquecimento;
- Composição e pH do alimento;
- Quantidade de alimento;
- Tamanho e tipo do recipiente;
- Estado físico do alimento.

O tempo e a temperatura do processamento foram definidos, fundamentalmente, tendo em vista a resistência ao calor de esporos de *Cl. botulinum*. A destruição dos esporos desse micro-organismo é considerada, em geral, como o mínimo de processamento térmico para os alimentos apertizados. Em meio anaeróbio, em pH acima de 4,5, condições que são as mais favoráveis, a forma vegetativa de *Cl. botulinum* produz a toxina botulínica, que pode ser fatal. A toxina não é produzida pelos esporos. A toxina e a forma vegetativa da bactéria que a produz não são resistentes ao calor. Embora os esporos não produzam a toxina, sua destruição é importantíssima, pois em condições favoráveis, os esporos podem germinar e a forma vegetativa poderá produzir a toxina. A toxina é facilmente eliminada pelo calor, mas os esporos são mais resistentes.

DESTAQUE

A esterilização é, portanto, um tratamento térmico de maior intensidade do que a pasteurização e objetiva a completa destruição dos esporos dos micro-organismos patogênicos e daqueles micro-organismos deteriorantes com possibilidade de crescer durante a estocagem do produto. Algumas formas esporuladas mais resistentes podem sobreviver ao tratamento térmico, desde que não tenham condições de se desenvolver durante a estocagem do produto. Daí surge o termo "esterilidade comercial", que significa que um alimento pode até conter certo número de micro-organismos e esporos viáveis, porém, estes não possuem condições de se desenvolver durante o armazenamento, portanto, o produto é considerado seguro.

QUADRO COMPARATIVO:

Esterilização	Pasteurização
Destruição de micro-organismos termorresistentes (incluindo bactérias esporuladas) para a obtenção da esterilidade comercial.	Destruição de micro-organismos patogênicos não-esporulados.
Utilizam-se temperaturas* maiores que 100°C.	Utilizam-se temperaturas* nas faixas: <ul style="list-style-type: none">• 62°C a 68°C – LTH (<i>Low temperature holding</i>)• 72°C a 85°C – HTST (<i>High temperature, Short time</i>)

Para a definição dos parâmetros de tempo e temperatura (*) de processo, é imprescindível consultar a legislação aplicável ao produto. Veja o exemplo do sorvete no Brasil: a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) estabelece que a mistura para fabricação de gelados comestíveis elaborada com leite, constituintes do leite, produtos lácteos, ovos e/ou produtos de ovos, deve ser, obrigatoriamente, submetida à pasteurização. Sendo que a pasteurização deve atender às seguintes condições mínimas: no processo contínuo (HTST), 80°C por 25 segundos, ou no processo em batelada (*batch*), 70°C por 30 minutos.

Além da legislação, você pode consultar as recomendações estabelecidas por instituições como a FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), OMS (Organização Mundial da Saúde) e as publicações do *Codex Alimentarius*.

Visite o site: <http://www.fao.org>

Em alimentos com baixa acidez ($\text{pH} > 4,5$), o micro-organismo esporulante resistente ao calor *Cl. botulinum* é o patógeno mais perigoso que pode estar presente. Em condições anaeróbicas, em um vasilhame hermeticamente fechado, ele pode desenvolver-se e produzir uma toxina muito potente (chamada toxina botulínica), que pode causar a morte das pessoas afetadas. O *Cl. botulinum* pode estar presente no solo e é, portanto, provável que apareça em pequenas concentrações em matéria-prima que esteja em contato com ele. Devido ao alto perigo associado a essa toxina, a destruição do *Cl. botulinum* é um requisito mínimo para a esterilização térmica. Normalmente, os alimentos recebem mais do que esse tratamento mínimo, pois outras bactérias deteriorantes mais termorresistentes podem estar presentes. Em alimentos mais ácidos ($\text{pH} 4,5$ a $3,7$) outros micro-organismos (ex.: fungos e leveduras) ou enzimas termorre-



★ DESTAQUE

Para determinar os parâmetros de processo (tempo e temperatura) de um certo alimento é necessário possuir informações sobre a resistência dos micro-organismos, sobretudo dos esporos termicamente resistentes, das enzimas que podem estar presentes, além da taxa de penetração do calor no alimento.

sistentes são utilizados para determinar os tempos e as temperaturas do processo. Em alimentos ácidos ($\text{pH} < 3,7$), a inativação enzimática é a principal meta do processamento e as condições de aquecimento são menos drásticas.

O tratamento térmico de alimentos enlatados de baixa acidez a 121°C por 3 minutos ou equivalente eliminará os endósporos de *Cl. botulinum*. Essa bactéria não consegue multiplicar-se em alimentos ácidos ou acidificados com valores de pH menores que 4,6. O botulismo também tem sido associado ao preparo de salada de repolho picado e empacotado e a alho picado conservado em óleo. O metabolismo continuado dos vegetais em saladas empacotadas pode resultar em ambiente anaeróbico que favorece a multiplicação do *Cl. botulinum* e a produção de toxina. Portanto, a permeabilidade dos filmes utilizados para o empacotamento deve minimizar o possível desenvolvimento de condições anaeróbicas. Uma medida de controle adicional é a estocagem dos alimentos em temperaturas inferiores a 3°C .

Um tratamento térmico pode ser feito antes ou depois do acondicionamento do alimento em embalagem. O equipamento utilizado para o tratamento térmico de alimentos já embalados é denominado de autoclave. Já o tratamento dos alimentos antes do envase ocorre em equipamentos denominados trocadores de calor (Figura 3).

ATENÇÃO

O botulismo é associado com alimentos enlatados de baixa acidez (principalmente aqueles de produção caseira), vegetais, peixe e produtos cárneos. Também é associado com mel e, por isso, o mel não deve ser dado a crianças com menos de um ano de idade. O botulismo infantil é mais brando do que a versão adulta. Os endósporos germinam no trato intestinal e as bactérias produzem as toxinas causadoras da síndrome do “bebê mole”.

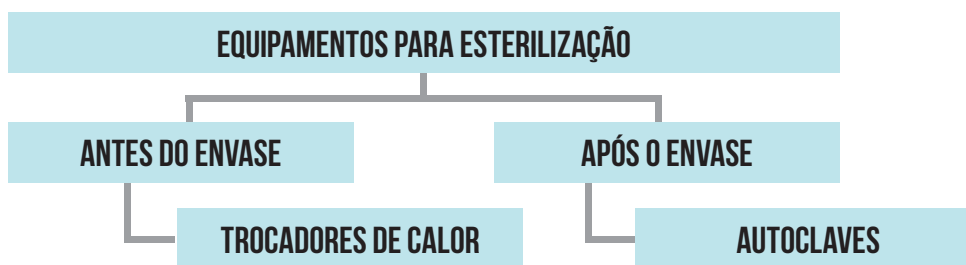


FIGURA 3 – Classificação dos equipamentos utilizados para esterilização.

Quando o calor é aplicado depois que o alimento já está embalado, o processo é em batelada (ou descontínuo). O calor é transmitido do vapor ou água pressurizada através do recipiente para o alimento. De um modo geral, a taxa de penetração do calor é influenciada pelos seguintes fatores:

- Tipo de produto
- Tamanho do recipiente
- Agitação do recipiente
- Temperatura da autoclave
- Forma do recipiente
- Tipo de recipiente

A transferência de calor é relativamente lenta, devido ao tempo requerido para penetração do calor nas embalagens (através do alimento), até atingir o ponto frio. Neste caso, as embalagens usadas devem ter boas propriedades de condução de calor e, ao mesmo tempo, alta resistência térmica. De um modo geral, as embalagens mais utilizadas são as metálicas (latas) ou as de vidro (Figura 4).



FIGURA 4 – Alguns exemplos de embalagens utilizadas nos processos de esterilização de alimentos.



SAIBA MAIS

MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A energia térmica pode ser transferida por condução, convecção e radiação. Para esterilização de alimentos, os mecanismos de condução e convecção são mais importantes. Na condução, as moléculas transmitem calor às vizinhas, estas às seguintes e, assim, sucessivamente. Não há circulação para misturar alimento quente com frio e, assim, a transmissão por condução é mais lenta. Já na convecção, há movimento da massa do alimento que está sendo aquecida. Assim, as correntes de convecção tendem a igualar com rapidez a temperatura no interior de uma lata.

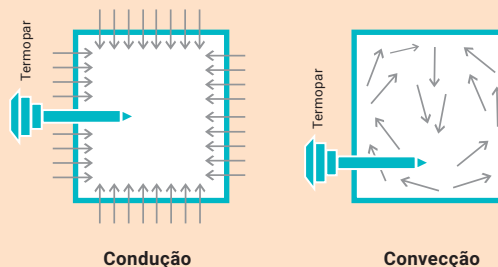
De um modo geral, em alimentos líquidos, o mecanismo de transferência de calor será uma combinação entre convecção (no alimento propriamente) e condução (através das paredes da lata). Já no caso de alimentos sólidos ou que são viscosos demais, a transferência de calor ocorrerá quase totalmente por condução.

É importante lembrar que, quando um tratamento térmico é aplicado em um alimento envasado, as partes do produto mais próximas às superfícies da embalagem atingirão a temperatura de esterilização antes do restante da massa do alimento. Sendo que a última porção a atingir a temperatura de esterilização é conhecida como “ponto frio”.

A localização do “ponto frio” dependerá do mecanismo predominante de transferência de calor. Veja o exemplo (FELLOWS, 2006):

Supondo uma lata de alimento sólido, aquecido por condução: o ponto frio está localizado no centro geométrico da lata. Agora, se o conteúdo da lata for um alimento líquido, neste caso, a transferência de calor predominante,

será por convecção e, assim, o “ponto frio” está localizado abaixo do centro geométrico. Portanto, para garantir a esterilidade comercial de um produto é essencial que o “ponto frio” tenha recebido o tratamento térmico adequado. Assim, o controle da temperatura neste ponto é muito importante e pode ser realizada por meio da inserção de termopares.



Após o aquecimento, o produto é imediatamente resfriado, geralmente por imersão em água gelada, para que seja interrompido o efeito da temperatura e evite a alteração sensorial do produto. É imprescindível que se assegure a integridade do sistema de fechamento, para se evitar a recontaminação do alimento, por exemplo, no caso de a água aproveitada no resfriamento estar contaminada e de haver microfuros no sistema de fechamento. Esse método ainda é aplicado com frequência para o tratamento de produtos sólidos, porém, tem sido pouco aplicado a alimentos fluidos (líquidos ou pastosos), a não ser em pequenas indústrias.

Para uma grande variedade de alimentos líquidos ou pastosos (ex.: suco, leite, molhos para salada, creme, iogurte etc) é possível utilizar temperaturas de processamento mais altas por tempos mais curtos, quando o produto é esterilizado antes de ser envasado em um ambiente estéril, em embalagens previamente esterilizadas (Figura 5). Esse processo é denominado sistema ultra alta temperatura (ou *ultra high temperature* - UHT) e também é conhecido como processamento asséptico. Num processo contínuo, os produtos são bombeados ao longo de um sistema de aquecimento direto (por injeção de vapor) ou indireto (em contato com uma superfície de transferência de calor, como tubos ou placas) e em seguida resfriados imediatamente, enquanto fluem pela linha de processamento (Tabela 4).

Uma das principais vantagens do processamento asséptico, quando comparado com o método convencional de esterilização de alimentos, refere-se a redução do binômio tempo/temperatura requerido no processo, graças à esterilização em fluxo contínuo, reduzindo os danos sensoriais e nutricionais ao produto. Além disso, o processamento asséptico evita a possibilidade de recontaminação do produto, ocasionada no envase após um determinado tratamento térmico.

Vários sistemas de embalagem adequam-se ao uso para acondicionamento asséptico, incluindo:

- Embalagens rígidas (latas, garrafas de vidro).
- Embalagens semirrígidas (garrafas e copos de plástico, embalagens cartonadas).
- Embalagens flexíveis (*pouches*, *bag-in-box*).

A escolha do sistema de embalagem depende do produto, da estabilidade requerida, do apelo mercadológico e do custo.

CLASSIFICAÇÃO DOS TROCADORES DE CALOR

Contato Direto	Contato Indireto
<ul style="list-style-type: none"> • Injeção de vapor • Infusão de vapor 	<ul style="list-style-type: none"> • Placas • Tubular • Superfície raspada • Casco e tubos

TABELA 4 - Classificação dos trocadores de calor

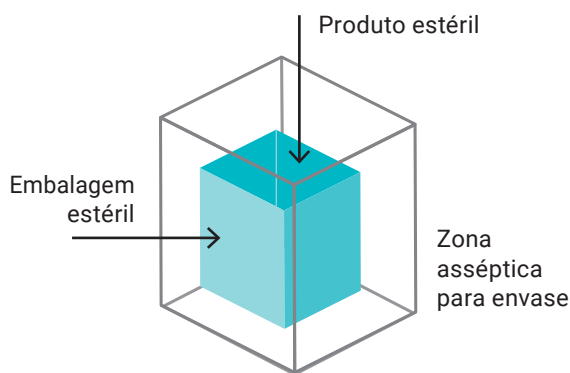


FIGURA 5 - Representação esquemática do princípio do acondicionamento asséptico.

FELLOWS, 2006

EVAPORAÇÃO E DESTILAÇÃO

A evaporação e a destilação são operações unitárias que objetivam a separação de componentes específicos para aumentar o valor do alimento. Nos dois tipos de operação, a separação é obtida aproveitando as diferenças na volatilidade dos componentes, usando calor para retirar um ou mais destes do alimento.

A evaporação ou concentração por ebulição refere-se à remoção parcial de água de alimentos líquidos, por meio de fervura e liberação do vapor d'água. Isso aumenta o índice de sólidos de um alimento, preservando-o por meio da redução da atividade de água. A evaporação é utilizada para pré-concentrar alimentos (ex.: sucos de frutas, leite e café) antes da secagem, congelamento ou esterilização e, assim, reduzir seu peso e volume. Essa estratégia economiza energia nas operações subsequentes e reduz os custos de armazenamento, transporte e distribuição. Dessa forma, também se acrescenta mais conveniência para o consumidor (ex.: bebidas de frutas para diluição, sopas concentradas, pastas de tomate, açúcar) ou para o fabricante (ex.: concentrados de frutas para uso em sorvetes ou produtos de panificação). Alterações na qualidade do alimento que resultam do tratamento de calor relativamente severo são minimizadas pelo projeto e pela operação do equipamento. A evaporação tem um maior consumo de energia que outros métodos de concentração (ex.: concentração por membrana e por congelamento), entretanto um maior grau de concentração por ser obtido.

A destilação é um processo aplicado para a produção de bebidas alcoólicas e para a separação de aromas voláteis e componentes aromáticos (ex.: produção de óleos essenciais). Quando um alimento que contém componentes de diferentes graus de volatilidade é aquecido, aqueles que têm maior pressão de vapor (mais componentes voláteis) são separados primeiro. Eles são denominados “destilados” e componentes que têm menor volatilidade são denominados “fundos” ou resíduos. Apesar da destilação em batelada continuar em uso em algumas destilarias de uísque e de outras bebidas, a maior parte das destilarias industriais em operação utilizam colunas de destilação contínuas, que são mais econômicas.

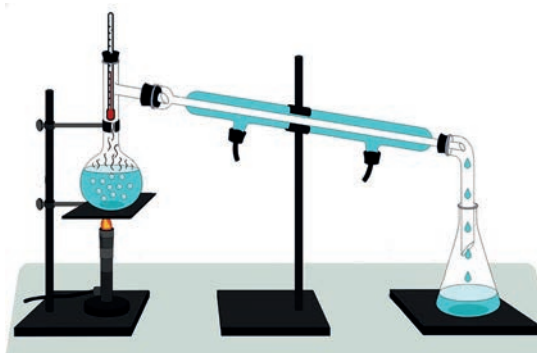


FIGURA 6 – Desenho esquemático de equipamento de destilação



DICA

A IMPORTÂNCIA DA ATIVIDADE DE ÁGUA EM ALIMENTOS

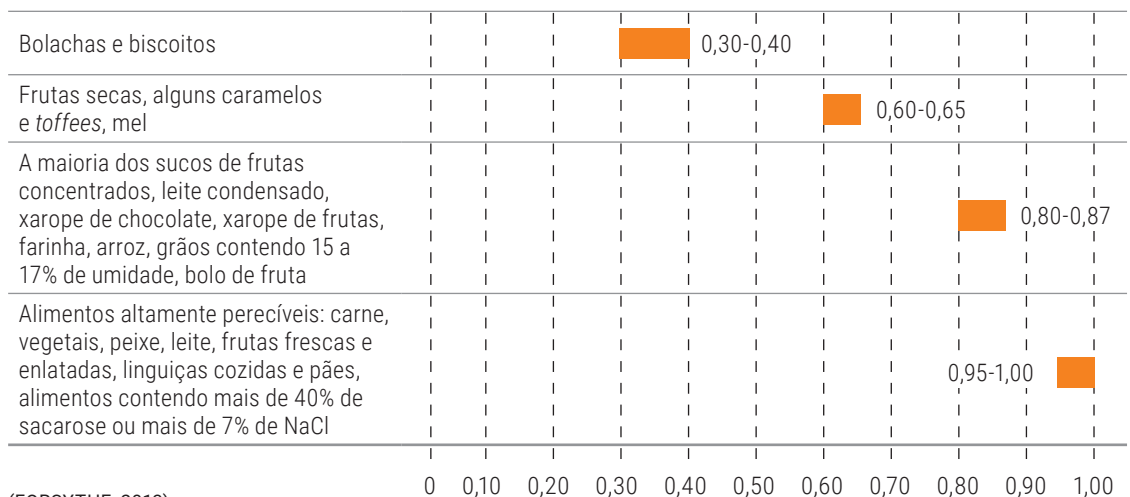
A atividade de água é a medida da água disponível em um alimento e é um parâmetro muito importante que interfere no desenvolvimento microbiano. Quando a atividade de água for mínima, a multiplicação da população bacteriana será mínima; a multiplicação aumentará sempre que aumentar o valor da atividade de água. Em valores mais baixos do que o mínimo, as bactérias não necessariamente morrerão, porém isso pode acontecer a algumas porções da população. As bactérias que sobreviverem poderão permanecer inativas, mas infecciosas.

A atividade de água de um alimento pode não ser um valor fixo; ela pode mudar com o passar do tempo ou variar consideravelmente quando são analisados alimentos similares, provenientes de diferentes fontes.

Veja o valor mínimo de atividade de água no qual alguns micro-organismos podem se desenvolver (FORSYTHE, 2013):

- *B. cereus*: 0,930
- *E. coli* 0,935
- *Cl. botulinum* tipos A e proteolíticos tipos B e F: 0,935
- *Saccharomyces* spp.: 0,85
- *S. aureus* 0,830

CONHEÇA A FAIXA DE ATIVIDADE DE ÁGUA DE ALGUNS ALIMENTOS



(FORSYTHE, 2013)

DESIDRATAÇÃO

A desidratação, também conhecida como secagem, consiste na aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maior parte da água normalmente presente em um alimento (ou, no caso da liofilização, por sublimação). É importante lembrar que o termo desidratação não se refere a todos os processos que removem água de alimentos. Os processos de fritura e torrefação, por exemplo, eliminam água do alimento, mas não se enquadram na categoria de processos de desidratação, já que são operações que fazem mais do que simplesmente remover água. Processos como concentração por membranas, evaporação e assamento também não se enquadram nesta definição, pois, em geral, removem uma menor quantidade de água quando comparados com a secagem.



QUAL A DIFERENÇA ENTRE SECAGEM E EVAPORAÇÃO?

SECAGEM – Remoção de líquido de um material sólido

EVAPORAÇÃO – Remoção de líquido de uma solução líquida

De um modo geral, a desidratação de alimentos refere-se à remoção quase completa de água sob condições controladas. Assim, o objetivo principal da secagem é prolongar a vida útil dos alimentos, por meio da redução da atividade de água. Isso inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, mas a temperatura de processamento costuma ser insuficiente para provocar sua inativação. Portanto, é preciso ter atenção durante a estocagem dos produtos desidratados, pois qualquer aumento no teor de umidade neste período poderá resultar em uma rápida deterioração. Uma vantagem deste método é a redução no peso e no volume do alimento, diminuindo assim os custos de transporte e armazenamento. Destaca-se também que, para alguns tipos de alimento, a desidratação oferece um produto conveniente para o consumidor ou ingredientes mais facilmente manuseados para os processadores de alimentos. Por outro lado, a secagem tem a desvantagem de causar uma deterioração, tanto na qualidade sensorial quanto no valor nutricional.



ATENÇÃO

A aplicação de calor durante a desidratação reduz a carga microbiana, que dependerá do tipo e quantidade de micro-organismos presentes no alimento e do método utilizado para desidratação. A desidratação, de um modo geral, destrói todas as leveduras e a maioria das bactérias, mas não destrói seus esporos ou mesmo algumas formas vegetativas de determinadas bactérias termorresistente, que podem sobreviver ao processo de desidratação. Se o processo de desidratação e as condições de armazenamento são adequadas, o desenvolvimento de micro-organismos não deverá ocorrer. Os micro-organismos termorresistentes são os que mais tarde podem desenvolver-se e comprometer a segurança dos alimentos desidratados. Como exemplo de resistência, destacam-se os esporos bacterianos e fúngicos.

EXEMPLOS DE ALIMENTOS DESIDRATADOS DE IMPORTÂNCIA COMERCIAL:

CAFÉ



MASSAS



LEITE



CACAU



COGUMELO



FARINHAS



FRUTAS



COCO RALADO SECO



EXEMPLOS DE INGREDIENTES DESIDRATADOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA:

- Ovo em pó
- Corante
- Sacarose
- Aromatizante
- Enzima
- Levedura

Dois importantes critérios de qualidade de alimentos desidratados são:

- Capacidade de reidratação, gerando produtos semelhantes aos alimentos que os originaram.
- Mínimas alterações nas características sensoriais do produto. Isso constitui grande desafio tecnológico, já que os níveis de umidade muito baixos, requeridos para se atingir boa estabilidade, dificilmente são obtidos com poucas alterações dos alimentos, a menos que a desidratação seja feita por liofilização. No entanto, a liofilização ainda se configura como um processo de alto custo.

Há uma diversidade de equipamentos de secagem (Figura 7) que pode operar em batelada ou em processo contínuo e que possui condições específicas de processo. Portanto, a escolha do equipamento deve ser baseada na aplicação e nos resultados esperados para o alimento.

A secagem ao sol ou natural (sem equipamento de secagem) é uma operação de processamento agrícola que pode ser aplicada em regiões com temperatura média de 35 a 40°C, com boa taxa de radiação solar, baixa umidade relativa do ar e baixo índice de poluição. É um processo de baixo custo, sendo necessário apenas o uso de bandejas para a disposição dos alimentos a serem desidratados e de redes protetoras contra insetos. Em geral, alimentos mais perecíveis, como frutas, hortaliças, ervas e carnes, devem apresentar essa proteção. Em casos como os do café e da ração animal, a secagem é feita com os grãos espalhados no chão, protegidos com uma cobertura plástica.

Métodos mais sofisticados (secadores solares) coletam a energia solar e aquecem o ar que é utilizado para a secagem.

Este tipo de secagem configura-se como um método bastante simples e de baixo custo, porém apresenta como desvantagem o baixo controle das condições higiênico-sanitárias de secagem (incluindo a possibilidade do acesso de pragas) e taxas de secagem menores do que aquelas obtidas em secadores artificiais. Assim, esse método resulta em produtos com menor qualidade e maior variabilidade.

Secadores a ar quente	Secadores de superfície aquecida (ou de contato)
<ul style="list-style-type: none">• Secadores de caixas• Secadores de bandeja• Secadores de esteira• Secadores de leito fluidizado• Secadores de forno• Secadores pneumáticos• Secadores rotatórios• Secadores em spray (<i>spray driers</i>)• Secagem solar e ao sol	<ul style="list-style-type: none">• Secadores de tambor (secadores de rolo)• Secadores de esteira ou câmara a vácuo

FIGURA 7 - Tipos de secadores

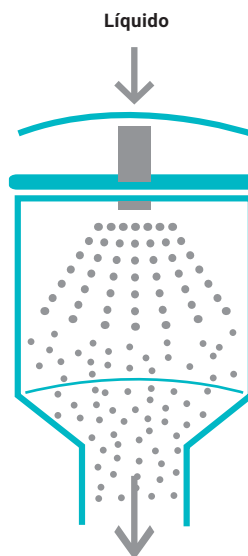


FIGURA 8 – Esquema simplificado de um atomizador (*spray drier*).

Todos os produtos sofrem mudanças durante a secagem, que reduzem a sua qualidade quando comparada com a do produto fresco. O objetivo de melhorar as tecnologias de secagem é minimizar essas mudanças e maximizar a eficiência do processo. As principais alterações nos alimentos desidratados são na textura e perdas no sabor ou aroma, mas as mudanças na cor e no valor nutricional são também significativas em alguns alimentos.

A água que é removida de um alimento durante a desidratação não pode ser recolocada da mesma forma quando o alimento é reidratado. A secagem provoca mudanças na estrutura do alimento e assim, portanto, modifica a capacidade de retenção de água. Então, o grau de reidratação pode ser utilizado como um indicativo da qualidade. Os alimentos que são desidratados em condições ótimas sofrem menos danos e reidratam-se mais rapidamente e de uma forma mais completa do que os desidratados em condições não adequadas (Figura 9).



FIGURA 9 – Exemplo simplificado de reidratação.

ATENÇÃO

É importante estar atento à qualidade da água utilizada na reidratação dos alimentos. Deve ser uma água que atenda aos padrões de potabilidade e, portanto, segura para ser utilizada na reidratação dos alimentos.

São vários os fatores que podem afetar a qualidade dos alimentos desidratados durante a reidratação. Podem-se citar o período de tempo de imersão, a temperatura da água e a razão entre a quantidade de água utilizada e a de produto. Pequenas quantidades de água diminuem a razão de absorção, em consequência da menor área superficial de contato e o excesso aumenta as perdas de nutrientes solúveis. Elevadas temperaturas da água aumentam a razão de absorção, reduzindo o tempo total necessário para ocorrer a reidratação, o que pode, entretanto, afetar negativamente a palatabilidade do produto. No entanto, a utilização de temperaturas da água menores pode favorecer o crescimento microbiano. Para se evitar tais problemas a reidratação deve ser realizada a uma temperatura entre 85°C a 100°C.

Além disso, alimentos reidratados devem ser mantidos sob refrigeração e consumidos em até 48h. Isso porque podem ocorrer recontaminação durante o manuseio ou esporos potencialmente patogênicos que estejam presentes no produto podem germinar e se multiplicar, tornando-o inseguro.

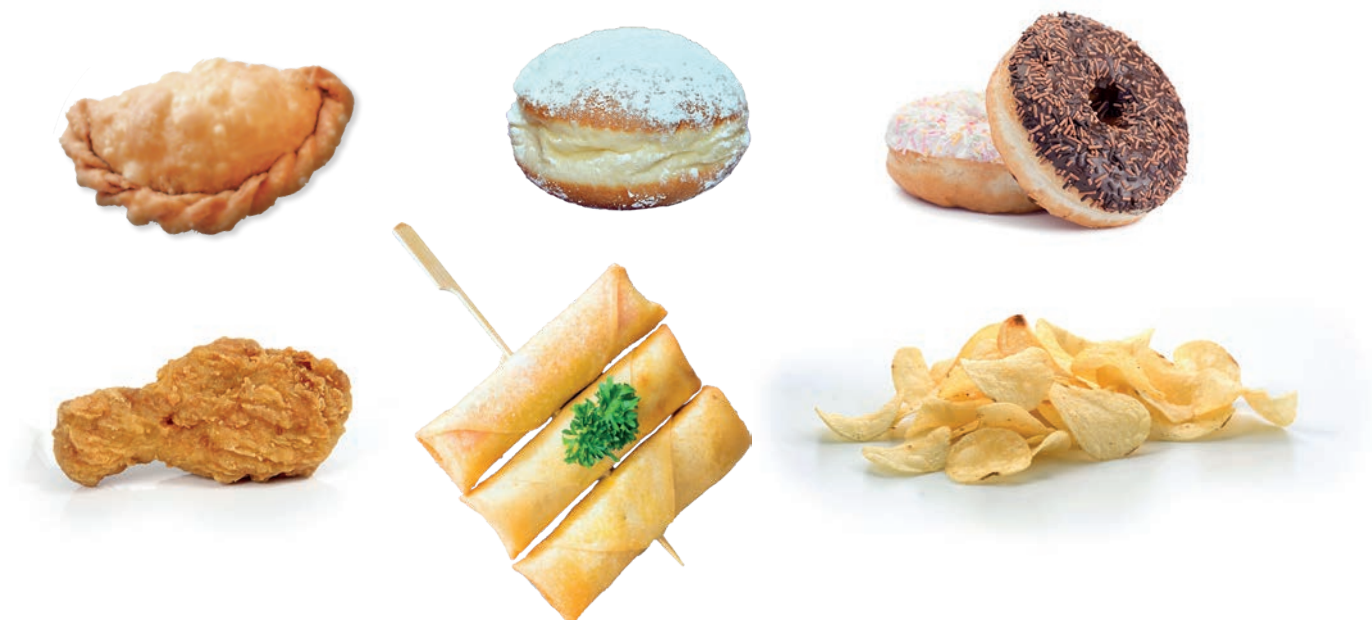
FRITURA

O processo de fritura é utilizado, principalmente para alterar as características sensoriais de um alimento. O efeito conservante é uma consideração secundária que resulta da destruição térmica de micro-organismos e enzimas, além de uma redução da atividade de água na superfície (se for o caso de frito em fatias) ou em todo alimento. A vida útil de alimentos fritos é determinada, acima de tudo, pelo teor de umidade após a fritura: alimentos que retêm umidade em seu interior (ex.: roscas de massa frita, peixe e produtos a base de carne de frango que também podem ser empanados com farinha de rosca ou de trigo) apresentam uma vida útil relativamente curta, devido à migração de umidade e óleo durante a estocagem. Em geral, esse tipo de alimento, produzido em escala comercial, é conservado pelo resfriamento e/ou por embalagem com gás para sua distribuição no varejo. Os alimentos que sofrem mais desidratação por meio da fritura, por exemplo, batata frita, salgadinhos de batata ou milho, apresentam vida útil de até doze meses em temperatura ambiente. Neste caso, a qualidade é mantida por condições adequadas de barreira dos materiais de embalagem e pelas condições de estocagem corretas.



FIGURA 10 – Exemplo do processo de fritura de batatas por imersão em óleo.

EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE FRITURA EM ALIMENTOS:



No processo de fritura, o alimento é submerso em óleo quente na presença de ar e, assim é exposto à oxidação interagindo com uma série de agentes (ar, água, alta temperatura e componentes dos alimentos que estão sendo fritos) que causam degradações em sua estrutura, especialmente quando utilizados por um longo período, gerando compostos responsáveis por odor e sabor desagradáveis, incluindo substâncias que podem causar riscos à saúde do consumidor, tais como irritação do trato gastrointestinal e diarreia, dentre outros.

A água proveniente do próprio alimento conduz alterações hidrolíticas, o oxigênio que entra em contato com o óleo a partir de sua superfície desencadeia alterações oxidativas e a temperatura em que o processo ocorre resulta em alterações térmicas que se enquadram também nas alterações oxidativas.

No processo de fritura contínua, utilizado pelas indústrias, ocorre a hidrólise, que é responsável pela formação de ácidos graxos livres. Já no processo de fritura descontínua, empregada por lanchonetes, restaurantes, pastelarias e no uso caseiro, dentre outros, ocorrem as reações de oxidação, hidrólise e polimerização. As substâncias advindas destas três reações são chamadas de compostos polares totais.

À medida em que o óleo alcança o estágio de degradação, as reações de oxidação estão avançadas e há produção de moléculas complexas e compostos voláteis que liberam aroma desagradável. Neste ponto, a fritura produz muita fumaça e, conseqüentemente, o alimento tem sua vida de prateleira diminuída, aroma, sabor e aspecto desagradáveis, excesso de óleo absorvido e o centro do alimento, às vezes, não totalmente cozido.

Por isso, recomenda-se o controle frequente da qualidade do óleo, por meio da realização de testes. Inclusive, vários testes rápidos foram desenvolvidos e estão sendo comercializados trazendo mais agilidade para o controle na reutilização do óleo de fritura.

Além dos testes rápidos, recomenda-se a filtração do óleo a cada término de uso. Durante a fritura dos alimentos, especialmente os empanados, podem ser liberadas partículas de sua superfície, sendo necessária a retirada dos resíduos visíveis no óleo com o auxílio de utensílio apropriado.

ATENÇÃO

Vários países já estabeleceram regulamentos técnicos para o controle da qualidade dos óleos e gorduras utilizados para fritura, fixando limites máximos para os compostos polares (de 24 a 27%) e, em alguns deles, também para acidez (de 1,0 a 4,5%, expressa em ácido oleico). No Brasil, a legislação estabelece apenas a temperatura máxima de 180°C durante a fritura e outras orientações para o manuseio do óleo de fritura estão disponíveis em um informe técnico.

DICAS

Caso a fritadeira/frigideira/tacho não esteja sendo utilizada, mas existe a necessidade de mantê-la ligada para um uso iminente, a mesma deve estar parcialmente tampada, assim se evita o contato do óleo quente com o oxigênio, pois o óleo muito quente absorve oxigênio em maior quantidade promovendo sua oxidação.

Em intervalos de uso, o óleo deve ser armazenado em recipientes tampados e protegidos da luz, para evitar o contato com os principais catalisadores de oxidação, oxigênio e luz. Se o intervalo entre usos for longo, além de tampado, o óleo deve ser armazenado em geladeira, para prolongar a sua vida útil.

22

PROCESSAMENTO POR REMOÇÃO DE CALOR

A temperatura é um dos parâmetros que mais influenciam nas alterações bioquímicas e microbiológicas que podem ocorrer nos alimentos durante a estocagem. Em geral, quanto menor a temperatura, menores as taxas de alterações. Enquanto a aplicação de calor baseia-se na inativação de micro-organismos, o uso de baixas temperaturas visa a retardar o crescimento microbiano e as reações químicas dos alimentos. A conservação pela diminuição da temperatura do alimento apresenta vantagens importantes na manutenção das características sensoriais e do valor nutricional dos alimentos.

Geralmente, quanto mais baixa a temperatura de armazenagem, mais tempo o alimento poderá ser estocado. Assim, o congelamento é um importante método de conservação, que possibilita a obtenção de produtos com uma vida útil bastante prolongada.

Micro-organismos e enzimas são inibidos a baixas temperaturas, mas, ao contrário do processamento térmico, eles não são destruídos. Por isso, qualquer aumento da temperatura pode possibilitar o crescimento dos micro-organismos ou aumentar a taxa de deterioração dos alimentos. Assim, é essencial controlar e manter a temperatura adequadamente baixa durante a estocagem. No preparo, os alimentos também devem ser manipulados e preparados o mais rápido possível, mantendo as condições higiênico-sanitárias para evitar contaminação e deterioração. As temperaturas de refrigeração ou de congelamento também devem ser mantidas durante o transporte e a distribuição. Portanto, é imprescindível respeitar e monitorar as baixas temperaturas durante toda a cadeia para garantir a segurança e a qualidades desses produtos.

RESFRIAMENTO

O resfriamento é um método de conservação no qual a temperatura do alimento é reduzida entre 0°C e 7°C. É utilizado para diminuir as taxas de variações biológicas e microbiológicas e, assim, prolongar a vida útil de alimentos frescos e processados. Esse método tem a vantagem de causar mínimas alterações nas características sensoriais e nas propriedades nutricionais dos alimentos. Consequentemente, os alimentos refrigerados tornam-se opções convenientes e práticas para os consumidores. O mercado de alimentos refrigerados continua em expansão e, atualmente, há uma oferta bastante variada de produtos (Figura 11), como por exemplo, sanduíches, sobremesas, refeições prontas, sucos, saladas preparadas, massas frescas etc.



FIGURA 11 - Representação da disponibilidade de alimentos refrigerados para a comercialização.

Esse método de conservação, quando comparado com outros, é considerado brando, por isso, seu impacto sobre o aumento da vida útil de alimentos é baixo. Por essa razão, normalmente, o resfriamento é utilizado em combinação com outras operações unitárias, por exemplo, a fermentação ou pasteurização. No caso do leite, a pasteurização é aplicada antes da estocagem refrigerada, para reduzir a carga microbiana inicial. O uso de embalagens a vácuo ou sob atmosfera modificada também pode ser utilizada em combinação com a refrigeração, pois retarda a deterioração microbiana.

Os produtos reagem de diferentes formas ao armazenamento refrigerado, havendo alguns casos em que há efeito negativo, como por exemplo, em banana e tomate verdes, os quais não completam o amadurecimento. Além disso, as variadas estruturas vegetais reagem de distintas formas às temperaturas de refrigeração, sendo possível a ocorrência de efeitos como:

- Murchamento de folhas;
- Lesões superficiais;
- Alterações de cor.

A estocagem sob refrigeração permite a transferência de compostos voláteis entre os alimentos. Alguns produtos liberam muitos voláteis, como alho, cebola, pescados e frutas, enquanto outros são muito suscetíveis a absorvê-los, como o leite e derivados. Outras alterações que podem ocorrer durante a estocagem sob refrigeração incluem:

- Perda de firmeza e crocância em frutas e hortaliças (Figura 12);
- Envelhecimento de produtos de panificação;
- Aglomeração de produtos em pó, entre outras.

ATENÇÃO

A temperatura e o tempo de exposição afetam o grau de danos e a capacidade de recuperação dos alimentos.



Figura 12
Exemplo do dano causado pelo frio (folhas murchas).

A taxa das alterações bioquímicas causadas pelos micro-organismos e pelas enzimas aumenta logaritmicamente com a temperatura. Assim, o resfriamento é capaz de reduzir as taxas de alterações microbiológicas e enzimáticas e retardar a respiração de alimentos frescos. Portanto, a vida útil de alimentos frescos estocados sob refrigeração depende dos seguintes fatores:

- Tipo do alimento e a variedade;
- Parte do vegetal selecionado – partes que crescem mais rápido têm as mais altas taxas metabólicas e menor vida útil;
- A condição do alimento durante a colheita (presença de danos mecânicos, contaminação microbiológica e o ponto de maturação);
- A temperatura da colheita, da armazenagem, da distribuição e da comercialização;
- A umidade relativa da atmosfera da estocagem, que influencia as perdas por desidratação.

Quando a temperatura é reduzida abaixo de um valor ideal para cada fruta ou hortaliça, podem ocorrer lesões pelo frio, resultando em efeitos indesejáveis como, por exemplo, escurecimento interno ou externo, amadurecimento irregular e manchas nas cascas.

O tempo de armazenagem de alguns alimentos frescos está apresentado na Tabela 5.

Nos tecidos animais, a respiração aeróbia diminui rapidamente quando o suprimento de sangue oxigenado é interrompido no abate.

O glicogênio é convertido em glicose e através da glicólise há formação de ácido pirúvico. Esse produto formado na glicólise entra no metabolismo anaeróbico láctico, a fim de obter ATP. Conseqüentemente, haverá formação de ácido láctico provocando a queda do pH da carne que, somado ao esgotamento do ATP, dará início do *rigor mortis*, no qual os tecidos musculares se tornam firmes e enrijecidos. O resfriamento durante a respiração anaeróbia é necessário para produzir a textura e a cor desejadas para a carne e também para reduzir a contaminação bacteriana. Alterações indesejadas proporcionadas pelo resfriamento da carne antes do *rigor mortis* são chamadas de enrijecimento pelo frio (*cold shortening*, em inglês).

Alimento	Temperatura	Umidade relativa (%)	Tempo de armazenagem (dias)
Damasco	-0,5 - 0	90	7 - 14
Banana	11 - 15,5	85 - 95	7 - 10
Feijão	7	90 - 95	7 - 10
Brócolis	0	95	10 - 14
Cenoura	0	98 - 100	28 - 42
Aipo	0	95	30 - 60
Cereja	-1	90 - 95	14 - 20
Pepino	10 - 15	90 - 95	10 - 14
Berinjela	7 - 10	90 - 95	7 - 10
Limão siciliano	10 - 14	85 - 90	30 - 180
Alface	0 - 1	95 - 100	14 - 20
Cogumelo	0	90	3 - 4
Pêssego	-0,5 - 0	90	14 - 30
Ameixa	-1 - 0	90 - 95	14 - 30
Batata	3 - 10	90 - 95	14 - 30
Espinafre	0	95	10 - 14
Morango	-0,5 - 0	90 - 95	5 - 7
Tomate	4 - 10	85 - 90	4 - 7
Melancia	4 - 10	80 - 90	14 - 20

TABELA 5 – Condições de estocagem refrigerada para alimentos frescos.

Fonte: FELLOW, 2006



DICA

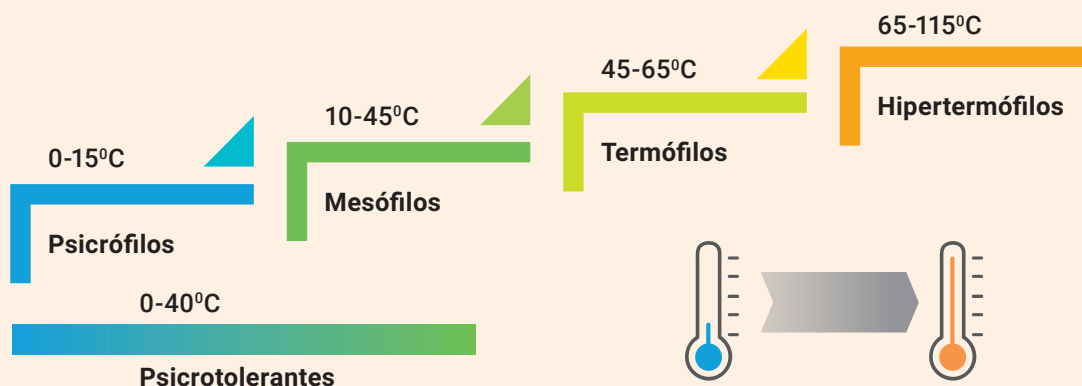
O enrijecimento pelo frio (*cold shortening*) aumenta a dureza da carne quando a carcaça é resfriada rapidamente, provocando um excessivo encurtamento do sarcômero. Esse processo pode ser minimizado quando as carcaças apresentam um bom acabamento de gordura, visto que a gordura subcutânea age como um isolante térmico, diminuindo a velocidade de resfriamento das carcaças.

A estimulação elétrica das carcaças acelera o aparecimento do *rigor mortis* e consiste na passagem de estímulos elétricos logo após o abate dos animais, ainda sob altas temperaturas. A estimulação elétrica causa violentas contrações e acelera a glicólise anaeróbica, devido ao consumo de energia química residual, fazendo com que haja queda do pH. Também é capaz de causar ruptura física das miofibrilas pela intensa contração e ativação precoce das enzimas proteolíticas pela acidificação do meio.

Este processo reduz o tempo de transformação do músculo em carne, permitindo o rápido resfriamento ou congelamento de carcaças, sem que haja encurtamento pelo frio, ampliando, assim, o tempo de vida de prateleira.

A diminuição na temperatura abaixo da mínima necessária para o crescimento microbiano aumenta o tempo de geração de micro-organismos. Assim, evita-se ou retarda-se o tempo de sua reprodução. Os micro-organismos são classificados em grupos, de acordo com a temperatura necessária e ideal para crescimento:

CLASSIFICAÇÃO DOS MICRO-ORGANISMOS DE ACORDO COM A SUA RESISTÊNCIA À AÇÃO DO FRIO



O resfriamento evita o crescimento de micro-organismos termofílicos e muitos dos mesofílicos. Porém, os micro-organismos psicrófilos e psicrotróficos multiplicam-se bem em alimentos refrigerados, sendo os principais agentes de deterioração de carnes, pescado, ovos, frangos e de outros alimentos.

Uma relação dos principais micro-organismos patogênicos e os respectivos alimentos típicos envolvidos com as infecções ou deteriorações está apresentada na Tabela 6.

ATENÇÃO

As funções vitais dos micro-organismos são mantidas mesmo a temperaturas consideradas mínimas para o crescimento. Muitos apenas cessam a multiplicação e sobrevivem com o metabolismo reduzido, estabelecendo-se um estado de equilíbrio. Se após determinado tempo a temperatura aumentar, tais micro-organismos reiniciam a multiplicação e o metabolismo normal é estabelecido. Por isso, a principal preocupação do ponto de vista microbiológico com alimentos resfriados é relacionada à quantidade de patógenos que podem crescer durante longos períodos de armazenagem refrigerada ou como resultado de qualquer aumento na temperatura (abuso de temperatura), provocando a contaminação do alimento.

Micro-organismo	Fonte	Temperatura mínima de crescimento (°C)	Tipo de infecção / deterioração e período de incubação	Alimentos típicos de alto risco
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Água fresca ou salgada	1 a 5	Diarreia, vômito e febre (12h a 36h)	Mais comumente água, mas também leite cru, frango, ovelha, queijos, crustáceos.
<i>Escherichia coli enteropatogênica</i>	Sistema intestinal de humanos e animais	4 a 7	Seis tipos de doenças, como hemorragia intestinal e reações tóxicas (6h a 36h)	Carne, frango, peixe, hortaliças, queijos <i>Brie</i> e <i>Camembert</i> , água, rabanete, brotos de alfafa.
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Águas marinhas	5 a 10	Gastroenterite, cólicas abdominais, náusea, febre, infecções em ferimentos (12h a 36h)	Peixes e crustáceos crus, malcozidos ou recontaminados, água.
<i>Bacillus cereus</i>	Terra, cereais, hortaliças e superfície de carnes	4 a 10	Dois tipos: diarreia ou náuseas eméticas e vômito (12h a 36h) Diarreia, febre, fortes dores abdominais, vômito, dores generalizadas (24h a 36h)	Produtos cárneos, pescado, leite, produtos amiláceos, arroz. Alimentos cozidos e após sua cocção, mantidos sem refrigeração apropriada durante várias horas antes de serem servidos.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Suínos	-1 a 7	Diarreia, febre, fortes dores abdominais, vômito, dores generalizadas (24h a 36h)	Ovelha, porco, frutos do mar, leite, tofu
<i>Campylobacter jejuni</i>	Água, leite, frango	20	Diarreia, dores musculares, dores de cabeça, vômito (48h a 120h)	Leite, laticínios, frutos do mar e água
<i>Salmonella enteritidis</i>	Frango, bovino, outros animais	5,2 a 6	Náusea, vômito, febre alta, dores abdominais (6h a 48h)	Ovos, frango, leite, carnes
<i>Clostridium botulinum</i>	Em todas as partes, especialmente água e terra		7 tipos de toxinas: visão turva, vômito, diarreia, dificuldade para engolir, falha respiratória. Fatal em até 70% dos casos (12h a 36h)	Vegetais enlatados e outros alimentos de baixa acidez, peixes defumados
Grupo I		10		
Grupo II		3,3		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bovino, outros animais, humanos (mucosas nasal e oral, pele)	6 10 (para toxinas)	Vômito, náusea, diarreia, dor de cabeça, desmaio, infecção de ferimentos (2h a 4h)	Leite, laticínios, carnes cozidas, frutos do mar
<i>Clostridium perfringens</i>	Solo, poeira, trato intestinal de animais	12	Diarreia aguda, náusea, febre baixa, vômito (8h a 24h)	Carnes e pescados crus Alimentos cozidos e mantidos sem aquecimento ou refrigeração adequada antes de servir
<i>Listeria monocytogenes</i>	Em todas as partes (solo, humanos ou animais saudáveis, sedimentos marinhos, água)	-0,4 a 3	Gastroenterite. Em mulheres grávidas pode causar aborto. Indivíduos com sistema imunológico comprometido são mais vulneráveis (24h a 96h)	Leite, frutos do mar, sanduíches e saladas prontas para o consumo, especialmente aquelas contendo carnes, queijos, pescados e vegetais crus.

TABELA 6 – Bactérias patogênicas em alimentos refrigerados de alto risco.

Fonte: Adaptado de FELLOWS, 2006

Assim como no caso de alimentos frescos, alguns fatores também influenciam a vida útil dos alimentos processados:

- Tipo de alimento;
- Grau de destruição microbiana ou inativação enzimática obtida no processamento;
- Higiene aplicada durante o processamento e a embalagem;
- Propriedades de barreiras da embalagem;
- Temperaturas durante o processamento, estocagem e distribuição.

A Tabela 7 apresenta uma visão geral da vida útil de diferentes produtos quando armazenado na temperatura recomendada para a refrigeração.

Produtos resfriados	Temperatura máxima recomendada	Prazo de validade (dias)
Pescados e seus produtos manipulados crus	2°C	3
Pescados pós-cozção	2°C	1
Alimentos pós-cozção, exceto pescados	4°C	3
Carnes bovina e suína, aves, entre outras, e seus produtos manipulados crus	4°C	3
Espetos mistos, bife rolê, carnes empanadas cruas e preparações com carne moída	4°C	2
Frios e embutidos, fatiados, picados ou moídos	4°C	3
Maionese e misturas de maionese com outros alimentos	4°C	2
Sobremesas e outras preparações com laticínios	4°C	3
Produtos de panificação e confeitaria com coberturas e recheios, prontos para o consumo	5°C	5
Frutas, verduras e legumes higienizados, fracionados ou descascados; sucos e polpas de frutas	5°C	3
Leite e derivados	7°C	5
Ovos	10°C	7

TABELA 7 – Temperaturas máximas recomendadas para estocagem de diferentes alimentos e os respectivos períodos de vida útil.

FONTE: CVS, 2013

Na estocagem refrigerada de alimentos frescos e processados, além da temperatura, é importante também considerar os seguintes parâmetros:

Umidade relativa:

A umidade do ar dentro da câmara de estocagem depende do alimento a ser armazenado e influenciará diretamente na qualidade do produto. Uma umidade relativamente baixa ocasionará perda de umidade do alimento, podendo ocorrer uma desidratação. Por outro lado, uma umidade relativamente alta facilitará o crescimento microbiano. Para a obtenção de melhores resultados, é fundamental consultar a umidade relativa ótima de cada alimento na literatura. Para períodos de armazenamento longo, recomenda-se o uso de embalagens apropriadas.

Circulação do ar:

A circulação do ar ajudará na distribuição do frio dentro da câmara, permitindo assim manter uma temperatura uniforme. A umidade relativa desse ar também deve ser adequadamente controlada. O ideal é que o ar da câmara seja renovado com frequência, principalmente por causa dos maus odores formados quando diferentes produtos são estocados na mesma câmara.

Atmosfera da estocagem:

No caso de frutas e vegetais, a respiração de um produto continua após a colheita. Assim, o oxigênio do ambiente de estocagem é consumido e há produção de gás carbônico. A diminuição na temperatura e no oxigênio disponível, aliado a um aumento do teor de gás carbônico irão afetar o ritmo da respiração e outros processos fisiológicos. A temperatura ótima, umidade relativa e composição da atmosfera variam para as diferentes frutas e vegetais e mesmo entre variedades da mesma fruta. Em linhas gerais, a composição de uma câmara de estocagem é constituída de 3% de oxigênio, 5% de gás carbônico e 92% de nitrogênio.



FIGURA 13 - Exemplo de câmara para refrigeração de alimentos.

SISTEMA DE COZIMENTO-RESFRIAMENTO (*COOK-CHILL*)

O sistema de cozimento-resfriamento, também conhecido pelo seu termo em inglês *cook-chill*, é uma técnica de produção bastante utilizada em serviços de alimentação. Consiste em submeter os alimentos já cozidos ao resfriamento rápido, de forma controlada, e armazená-los sob refrigeração até o momento da sua regeneração, quando será aquecido e distribuído. Um dos principais objetivos da técnica *cook-chill* é prolongar a vida útil de armazenamento dos alimentos, inibindo a multiplicação de micro-organismos e desacelerando reações enzimáticas e químicas.

De um modo geral, a técnica *cook-chill* é composta das seguintes etapas: cocção, resfriamento, armazenamento, regeneração e aquecimento dos pratos. Normalmente, na etapa de cocção são aplicados tratamentos térmicos menos intensos, com temperaturas inferiores a 100°C. A escolha do tempo e da temperatura de cozimento dependerá do tipo de alimento e dos micro-organismos patogênicos a serem inativados. É importante lembrar ainda que o tempo e a temperatura escolhidos devem ser suficientes para garantir a penetração do calor no centro geométrico do produto, resultando assim na destruição dos patogênicos.

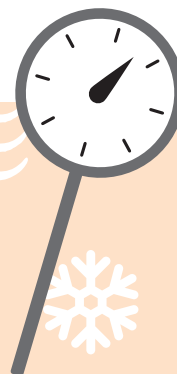
Imediatamente após o término da cocção, deve-se submeter o alimento à etapa de resfriamento. Em linhas gerais, o alimento deve ser resfriado até $\leq 3^{\circ}\text{C}$, num tempo total de 150 minutos. Após o seu resfriamento, o alimento deve ser conduzido imediatamente para a estocagem também refrigerada.

O resfriamento lento representa um risco ao alimento, pois se as condições de tempo e temperatura forem favoráveis, micro-organismos patogênicos podem se multiplicar, incluindo a formação de esporos e toxinas. A faixa de temperatura 5°C a 60°C é conhecida como “zona de perigo”, portanto, deve-se evitar a permanência dos alimentos neste intervalo. De um modo geral, a maior parte dos micro-organismos patogênicos não formadores de esporos não se multiplicará prontamente em temperaturas abaixo de 10°C. Porém, recomenda-se a utilização de temperatura igual ou inferior a 5°C para reduzir a multiplicação de micro-organismos deteriorantes e, assim, alcançar uma vida útil prolongada do alimento. No entanto, é importante ressaltar que algumas bactérias não-formadoras de esporos como, por exemplo, a *Listeria monocytogenes*,



DICA

A temperatura da cocção deve ser monitorada regularmente, com a utilização de um termômetro calibrado.



DICA

É imprescindível conferir os parâmetros de tempo e temperatura para o resfriamento exigidos pela legislação sanitária local.

é capaz de crescer em temperaturas abaixo de 5°C, durante o armazenamento prolongado. Assim, é recomendável que a estocagem final dos alimentos seja realizada a temperatura igual ou inferior a 3°C.

A regeneração é a etapa final do processo de *cook-chill*, onde os alimentos são retirados da estocagem refrigerada e são rapidamente aquecidos, respeitando os critérios de tempo e temperatura suficientes para garantir a segurança e as características sensoriais. Em linhas gerais, o centro do alimento deve atingir uma temperatura mínima de 70°C, por cerca de 2 minutos.

Após a regeneração, é essencial controlar o tempo e a temperatura de exposição do alimento ao consumidor, para que não haja recontaminação ou desenvolvimento de micro-organismos patogênicos, comprometendo a segurança dos produtos. No caso dos alimentos preparados e que devem ser conservados a quente, recomenda-se a sua manutenção em temperatura superior a 60°C, por, no máximo, 6 horas.

CONGELAMENTO

No congelamento, são utilizadas temperaturas mais baixas que aquelas aplicadas na refrigeração. Assim, o congelamento consiste na redução da temperatura de um alimento abaixo do seu ponto de congelamento. Isso provoca uma alteração no estado físico da água, com a formação de cristais de gelo. A imobilização da água em gelo e a concentração resultante dos solutos dissolvidos na água não congelada diminuem a atividade de água do alimento. Portanto, a conservação se dá pela combinação de temperaturas baixas, redução da atividade e, em alguns casos, aplicação de tratamento prévio (ex.: branqueamento, cozimento, etc).

O congelamento de alimentos começa a ocorrer entre -1°C e -3°C (Tabela 8), dependendo da concentração de solutos na fase aquosa. À medida em que a temperatura é reduzida abaixo do ponto no qual o congelamento se inicia, maiores frações de água são progressivamente congeladas.

▶ EXEMPLOS DE ALIMENTOS CONGELADOS



De uma forma ampla, um congelamento adequado utiliza temperaturas de, aproximadamente, -18°C ou inferiores. Enquanto a água pura congela a 0°C, a maioria dos alimentos somente congelará a -2°C ou a temperaturas mais baixas. A concentração de solutos na fase aquosa diminui o ponto de congelamento.

De uma maneira geral, quanto menor a temperatura da estocagem sob congelamento, menor é a taxa de alterações microbiológicas ou bioquímicas. No entanto, o congelamento e o armazenamento congelado não inativam as enzimas e têm efeito variável nos micro-organismos. Ou seja, os diferentes tipos de micro-organismos têm resistências diferentes quando estão a baixas temperaturas. Células vegetativas de leveduras, bolores e bactérias Gram-negativas (ex.: espécies de *Salmonella*) são mais facilmente destruídas. Bactérias Gram-positivas (ex.: *Staphylococcus aureus* etc) e esporos de fungos são mais resistentes e esporos de bactérias (sobretudo de espécies de *Bacillus* e *Clostridium*) não são afetados pelas baixas temperaturas.

Alimento	Conteúdo de água (%)	Ponto de congelamento (°C)
Hortaliças	78 - 92	-0,8 a -2,8
Frutas	87 - 95	-0,9 a -2,7
Carne	55 - 70	-1,7 a -2,2
Pescado	65 - 81	-0,6 a -2,0
Leite	87	-0,5
Ovos	74	-0,5

TABELA 9 – Conteúdo de água e ponto de congelamento de alguns alimentos.

FONTES: FELLOWS, 2006



POR EXEMPLO...

EFEITO DO CONGELAMENTO NA SEGURANÇA DE ALIMENTOS: O CASO DA HISTAMINA

A histamina é metabólito tóxico de origem microbiana. A intoxicação causada por histamina está relacionada com o consumo de pescados, principalmente da família *Scombridae* (atum e bonito). Sua produção se dá pela conversão da histidina na presença da enzima histidina descarboxilase produzida por algumas bactérias deteriorantes (*Morganella morganii*, *Hafnia*, *Klebsiella*, entre outras). Essas bactérias fazem parte da microbiota do ambiente marinho e do peixe e podem ser introduzidas após captura ou em qualquer fase de processamento.

A produção da toxina está relacionada com o binômio tempo/ temperatura (permanência do alimento em temperatura ambiente e por muito tempo), o que permite o crescimento das bactérias, com conseqüente produção da enzima histidina descarboxilase e desenvolvimento da toxina. O congelamento não inativa a toxina já desenvolvida no alimento. Por isso, a recomendação é armazenar o pescado em temperaturas baixas, máximo 4°C (ou até mesmo congelar), logo após a sua captura, impedindo o desenvolvimento bacteriano e mantê-lo nesta condição para que não haja formação da histamina.



O congelamento pode ser feito de modo lento ou rápido. No congelamento lento, com duração entre 3 a 12 horas, ocorre a formação de cristais grandes de gelo no interior da célula e, principalmente, nos espaços intercelulares. Estes cristais irão afetar fisicamente a célula, podendo causar reações indesejáveis. Por outro lado, no congelamento rápido (1 a 3 minutos), tem-se um abaixamento brusco da temperatura, ocasionando na formação de pequenos cristais de gelo, principalmente no interior da célula. Os métodos disponíveis para congelamento são:

- Congelamento por ar, que pode ser o ar sem movimento (geladeiras, freezer) ou ar insuflado (túneis de congelamento);
- Congelamento por contato indireto, realizado por meio de placas resfriadas por uma substância refrigerante;
- Congelamento por imersão, que pode ser por imersão direta do produto no meio refrigerante ou a pulverização do líquido sobre o produto. Emprega-se, geralmente, o nitrogênio (-195°C) e o CO₂ (-80°C).

ATENÇÃO:

O descongelamento deve ser feito de forma lenta, sob temperatura de refrigeração, para que os micro-organismos, especialmente aqueles que estarão na superfície do alimento, não se desenvolvam ou tenham multiplicação muito limitada. O forno micro-ondas também pode ser utilizado para descongelar os alimentos. Neste caso, os alimentos devem ser cozidos imediatamente após o descongelamento.

DICAS:

Orientações sobre a estocagem de alimentos resfriados e congelados:

- O local de armazenagem para alimentos resfriados e congelados deve ser dotado de equipamentos adequados à manutenção constante das condições de temperatura e umidade do ar necessárias à adequada conservação do alimento.
- O local deve ser dotado de instrumentos que permitam controle das condições de temperatura e umidade do ar. Os dados devem ser registrados.
- Frequentes checagens da temperatura devem ser conduzidas, preferencialmente com termógrafos ou dispositivos que monitorem continuamente a temperatura de estocagem.
- A velocidade do ar em câmaras frias deve ser adequada para que a temperatura dentro da câmara seja suficientemente uniforme.
- Os alimentos estocados devem ser acondicionados de modo a não impedir a circulação de ar.
- Deve-se estabelecer um programa de descongelamento, limpeza e manutenção de modo a evitar o acúmulo de gelo e a obstrução dos difusores de ar.

23

UTILIZAÇÃO DE CONSERVANTES

Muitas vezes a adição de conservantes é necessária para garantir a estabilidade dos alimentos durante a sua estocagem, de tal forma que permaneçam seguros e com as características nutricionais preservadas. Há uma variedade de conservantes que pode ser utilizada em diferentes produtos (Tabela 9).

Conservante	Exemplos de uso
Ácidos orgânicos fracos e ésteres	
Propionato	Pães, produtos de panificação, queijos
Sorbato	Queijos fresco e processado, produtos lácteos, produtos de panificação, xaropes, geleias, refrigerantes, margarinas, bolos, molhos para salada
Benzoato	Picles, refrigerantes, molhos para salada, polpas, margarinas
Ésteres do ácido benzoico (parabenos)	Produtos de peixe marinados
Ácidos orgânicos acidulantes	
Ácidos láctico, cítrico, málico e acético	Molhos de acompanhamento de baixo pH, maionese, molhos para salada, bebidas, sucos de fruta e concentrados, produtos de carne e vegetais
Ácidos inorgânicos	
Sulfitos	Frutas em pedaços, frutas secas, vinho, linguiça de carne
Nitrato e nitrito	Produtos de carne curados
Ácidos minerais acidulantes	
Ácidos fosfórico e clorídrico	Bebidas
Antibióticos	
Nisina	Queijos, produtos enlatados
Natamicina	Pequenas frutas sem caroço
Fumaça líquida	Peixes e carnes

TABELA 9 – Conservantes alimentares antimicrobianos

FONTE: Adaptado de FORSYTHE, 2013.

Os tipos de agentes antimicrobianos utilizados em larga escala são os ácidos orgânicos e seus sais, os sulfitos e os nitritos/nitratos.

Dentre os ácidos orgânicos, os mais comumente utilizados na conservação são o acético, láctico, benzoico e sórbico. Esses ácidos inibem a multiplicação de células bacterianas e fúngicas. Sendo que o ácido sórbico também inibe a germinação e o desenvolvimento de endósporos bacterianos.

Os sulfitos, além de sua ação antimicrobiana, também podem desempenhar atividade antioxidante e inibir o escurecimento enzimático e não enzimático em alimentos. A maior limitação ao uso dos sulfitos está relacionada com os efeitos adversos sobre a saúde.

O nitrito e o nitrato são tradicionais sais de cura utilizados em carnes e derivados. A adição também está associada à obtenção de cor, sabor e textura nestes produtos, além de servir como antioxidante. Reagem com o pigmento da carne, a mioglobina, para formar a cor característica da carne curada (nitromioglobina). Apesar do perigo de toxicidade pela formação da metahemoglobina e das nitrosaminas, nitratos e nitritos são muito importantes no preparo de produtos curados, pois ajudam a evitar o crescimento do *Cl. botulinum*. O nitrito não evita a germinação dos esporos (apenas concentrações muito altas a inibem), mas evita o crescimento dos esporos germinados, dificultando a multiplicação das células vegetativas.

A propriedade antimicrobiana, apresentada por algumas especiarias (Tabela 10), tem despertado o interesse para a aplicação em alimentos, pois configura-se como aditivos naturais e, portanto, tem maior aceitação pelos consumidores atuais.



Especiaria	Compostos antimicrobianos em destilado ou extrato	Concentração do agente antimicrobiano (ppm)	Micro-organismos
Pimenta-da-jamaica (<i>Pimenta dioica</i>)	• Eugenol	1.000	• Levedura • Acetobacter • <i>Clostridium botulinum</i> 67B
	• Metil eugenol	150	
Cássia ou canela chinesa (<i>Cinnamomum cassis</i>)	• Aldeído cinâmico	10 - 100	• Levedura • Acetobacter
	• Acetato cinamil		
Cravo (<i>Syzygium aromaticum</i>)	• Eugenol	1.000	• Levedura • <i>Clostridium botulinum</i> • <i>Vibrio parahaemolyticus</i>
	• Acetato de eugenol	150	
Canela em casca (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	• Aldeído cinâmico	10 - 1.000	• Levedura • <i>Acetobacter</i> • <i>Clostridium botulinum</i> 67B • <i>Listeria monocytogenes</i>
	• Eugenol		
Alho (<i>Allium sativum</i>)	• Alilsulfonil	10 - 100	• Levedura • <i>Clostridium botulinum</i> 67B • <i>Listeria monocytogenes</i>
	• Alilsulfito		
Mostarda (<i>Sinapis nigra</i>)	• Alilisotiocianato	22 - 100	• Levedura • <i>Acetobacter</i> • <i>Listeria monocytogenes</i>
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	• Timol	100	• <i>Clostridium botulinum</i> A, B, E • <i>Vibrio parahaemolyticus</i> • <i>Bacillus</i>
	• Carvacrol	100 - 200	
Páprica (<i>Capsicum annum</i>)	• Capsaicina	100	• <i>Bacillus</i>
Tomilho (<i>Thymus vulgaris</i>)	• Timol	100	• <i>Vibrio parahaemolyticus</i> • <i>Clostridium botulinum</i> 67B • <i>Aspergillus parasiticus</i> • <i>Aspergillus flavus</i> • Aflatoxina B1 e G1 • Bactéria gram-positiva
	• Carvacrol	100	

Tabela 10 – Compostos antimicrobianos presentes em especiarias.

FONTE: Adaptado de FORSYTHE, 2013

2.4

ARMAZENAGEM E EMBALAGEM EM ATMOSFERA MODIFICADA

A vida útil dos alimentos perecíveis conservados em atmosfera normal é limitada, principalmente, pelo efeito do oxigênio atmosférico e o crescimento de micro-organismos aeróbios produtores de alterações, que promovem mudanças de odor, sabor, cor e textura, conduzindo à perda da qualidade. Assim, a modificação da atmosfera prolonga significativamente a vida útil dos alimentos. Por exemplo, quando submetidos à refrigeração, podem aumentá-la três a quatro vezes.

O método de embalagem em atmosfera modificada consiste em substituir a atmosfera que rodeia o produto no momento da embalagem por outra (um gás ou mistura de gases), especialmente preparada para cada tipo de alimento, permitindo controlar melhor as reações químicas, enzimáticas e microbiológicas, evitando ou minimizando as principais degradações produzidas durante o período de armazenamento, ao mesmo tempo que impede o crescimento de micro-organismos.



POR EXEMPLO...

A embalagem a vácuo é um tipo de embalagem em atmosfera modificada e vem sendo empregada amplamente para produtos como cortes de carnes vermelhas frescas, curadas, queijos duros e café moído.



Geralmente são utilizados três gases para modificar a atmosfera de alimentos: O_2 , N_2 e CO_2 , sendo que cada gás apresenta uma função específica. A escolha da mistura de gases utilizada é influenciada pela microbiota capaz de crescer no produto, pela sensibilidade do produto ao O_2 e ao CO_2 e pela estabilidade da cor desejada (por exemplo: preservação da oximioglobina em carne fresca e nitrosomioglobina em produtos cárneos curados).

O N_2 é um gás inerte, com baixa solubilidade em água e em gordura. Assim, o N_2 é utilizado para substituir o oxigênio, inibindo a oxidação e o crescimento de micro-organismos aeróbios.

Para a maioria dos alimentos, a embalagem deve conter o mínimo possível de O_2 , com o objetivo de retardar o crescimento microbiano aeróbio e reduzir o nível de oxidação. Porém, há exceções, como no caso da carne vermelha, no qual o oxigênio ajuda a manter a forma oxigenada da mioglobina, responsável pela cor vermelha característica deste alimento, e no caso das frutas e legumes, que se faz necessária uma quantidade mínima de O_2 para garantir o processo respiratório.

O CO_2 inibe a atividade microbiana em função da redução de pH, devido à dissolução do CO_2 no meio, às alterações na permeabilidade celular bacteriana e à inibição enzimática, diminuindo assim, o crescimento dos micro-organismos. O CO_2 é capaz de inibir o crescimento de bolores e bactérias psicotróficas Gram-negativas, entre elas, a *Pseudomonas*, o *Acinetobacter* e o *Moraxella*, que são importantes deteriorantes em alimentos refrigerados. Por outro lado, o desenvolvimento de bactérias lácticas é estimulado na presença de CO_2 .



FIGURA 14 - Exemplo de aplicação de atmosfera modificada em saladas.

2.5 FERMENTAÇÃO

A fermentação é um método de produção de alimentos milenar e até hoje continua sendo importante para a obtenção de diversos alimentos fermentados, como cerveja, queijo, pão, vinho, entre muitos outros.

Os alimentos fermentados são altamente colonizados por bactérias e leveduras, dependendo de cada produto específico. Esses micro-organismos inibem a multiplicação de patógenos, por meio da competição por nutrientes e da produção de metabólitos antimicrobianos, a partir de substratos presentes no alimento.

De um modo geral, as características mais importantes que conferem a segurança dos alimentos fermentados são:

- Acidez – gerada a partir da produção de ácido láctico;
- Presença de bacteriocinas;
- Altas concentrações de sais;
- Ambiente anaeróbio.



▶ POR EXEMPLO...

💡 DICA:

As bactérias ácido-lácticas utilizadas na produção de muitos alimentos fermentados produzem uma série de componentes antimicrobianos, incluindo ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio, nisinas e bacteriocinas.

26 | SALGA

A salga é um dos métodos mais antigos utilizados para a conservação de alimentos. Até hoje continua sendo um processo bastante utilizado, não apenas para a preservação, mas também para conferir características sensoriais específicas para os alimentos. Carnes e pescados apresentam-se como importantes aplicações deste processo de conservação: charque, carne de sol, bacalhau e *jerked beef*.



POR EXEMPLO...

A salga desempenha uma série de funções importantes na fabricação de um queijo:

- Melhora e realça o sabor, além de mascarar sabores estranhos. A caseína e a gordura na massa fresca são praticamente insípidas. O sal atenua o gosto láctico da coalhada fresca e mascara a lipólise acentuada em queijos mofados;
- O sal auxilia na formação da casca do queijo pela desidratação superficial;
- O sal promove, pela modificação da pressão osmótica, a sinérese da massa, estimulando a expulsão de soro e a redução da umidade do queijo. Auxilia na complementação da dessoragem do queijo, pois favorece a liberação da água livre da massa. Ao penetrar na massa do queijo, o sal utiliza a água livre para a sua dissolução e parte dessa água é deslocada para a casca, a fim de manter o equilíbrio osmótico, acabando por perder-se externamente.
- A salga ajuda a controlar o crescimento e atividade microbiana, proporcionando uma seleção da microbiota do queijo. Bactérias propiônicas não suportam baixa atividade de água, portanto, os queijos suíços não são deixados muito tempo na salmoura. No caso de queijos azuis, como o Gorgonzola, seu maior teor de sal favorece o crescimento do mofo.
- Controle bioquímico da maturação: a atividade enzimática nos queijos é fortemente controlada pela presença de sal. Lipases e proteases são mais ativas em teores de 0,5 a 2,5% de sal na umidade. Níveis mais elevados de sal retardam a maturação. Normalmente, os queijos são salgados apenas quando atingem uma fermentação adequada, pois, caso contrário, haverá inibição do fermento.
- Mudanças físicas das proteínas do queijo influenciam a textura, solubilidade e, provavelmente, a conformação da proteína. Teores de sal na umidade maiores que 5% favorecem a solubilização da caseína na maturação, devido a trocas entre cálcio e sódio. A proteína aumenta a sua interação com a água, tornando-a menos disponível para os processos bioquímicos, provocando uma diminuição da atividade de água durante a maturação.



FONTE: DE PAULA, CARVALHO & FURTADO (2009).

É um processo relativamente simples, de fácil aplicação e baixo custo. O método baseia-se na penetração do sal no interior dos tecidos, o que é governado por fatores físicos e químicos, tais como a difusão e a osmose, e uma série de processos bioquímicos associados com mudanças em vários constituintes, principalmente as proteínas.

A salga é praticada por métodos artesanais e industriais, mediante a aplicação dos processos conhecidos como a salga seca, salga úmida ou em salmoura e salga mista. A salga a seco consiste no método mais simples, onde o sal é aplicado diretamente na superfície da carne ou do pescado e, por osmose, a umidade exsuda e uma parte do sal penetra no seu músculo. A salga a seco possui um forte efeito desidratante. No entanto, a penetração do sal no músculo nem sempre é homogênea e a forte desidratação pode provocar a desnaturação de proteínas, causando uma aparência desagradável. Nesse tipo de salga, o produto também está mais sujeito à oxidação das gorduras. A salga úmida ou em salmoura consiste na imersão do produto em uma salmoura com concentração salina, de acordo com o teor de sal desejado no produto final. Neste caso, a água do músculo do pescado ou da carne flui no sentido da salmoura, diluindo-a. Por isso, a concentração de sal na salmoura deve ser medida e sempre que necessário, deve-se adicionar sal com vistas à manutenção da salmoura sempre saturada. O processo de salga em salmoura apresenta as seguintes vantagens: a oxidação das gorduras pelo oxigênio do ar durante o processo é evitada; a concentração do sal na salmoura poderá ser ajustada e a desidratação do produto é moderada. A salga em salmoura é, inclusive, bastante utilizada na preparação prévia para outros métodos de preservação. Já a salga mista consiste na combinação da salga seca e da salga úmida, sendo que o produto é primeiramente salgado por salga seca e a salmoura formada não é drenada, formando uma salmoura natural, onde o produto permanecerá imerso.

A qualidade microbiológica da água e do sal utilizados no preparo da salmoura assume papel importante, pois a presença de micro-organismos pode torná-la importante fonte de contaminação para os produtos. A reutilização da salmoura é uma prática comum em indústrias e representa motivo de preocupação, pois acarreta aumento de impurezas nesta solução, que pode ocasionar modificações em sua composição, possibi-



POR EXEMPLO...

A penetração do sal e a saída da água são típicos exemplos de osmose, na qual a pele do pescado, por exemplo, e membranas celulares atuam como superfícies semipermeáveis. O sentido do fluxo é sempre da solução fraca para a forte, até que se estabeleça o equilíbrio entre ambas, o que indica o fim do processo de salga.



ATENÇÃO

A exposição de produtos cárneos salgados ao calor pode provocar alterações na sua composição química. Associado ao calor, o sal torna-se um forte pró-oxidante das gorduras, ativando a lipoxidase do músculo. No pescado, essa degradação é proveniente, principalmente, da oxidação de ácidos graxos poli-insaturados.

litando sobrevivência e/ou multiplicação de micro-organismos, especialmente bolores e leveduras. Por isso, é imprescindível o monitoramento periódico das características físico-química, microbiológica e sensorial da salmoura, a fim de garantir a segurança e as características específicas do produto final que será destinado ao consumidor. A redução da carga microbiológica de salmouras pode ser realizada por tratamento térmico ou por meio da adição de produtos químicos.

O sal exerce um efeito de desidratação tanto no alimento quanto nos micro-organismos, gerando plasmólise. A concentração de sal tem efeito direto na conservação e na secagem. Em geral, quanto maior a concentração de sal, maior o impacto na conservação e na secagem. A maioria das bactérias não marinhas pode ser inibida com uma concentração salina de 20%. Os micro-organismos que conseguem se desenvolver e que assim mesmo dependem de concentrações salinas são considerados halófilos; os que sobrevivem, mas não se multiplicam são chamados de halodúricos.



RESUMO

É importante lembrar que alguns micro-organismos conseguem se desenvolver em meio que contém sal. A classificação dos micro-organismos frente ao sal é:

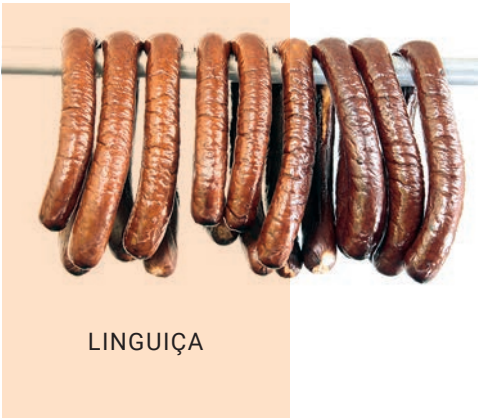
- **Micro-organismos halofílicos:** necessitam de ambientes com elevada concentração salina para se desenvolver. São incapazes de se desenvolver em meios sem cloreto de sódio.
- **Micro-organismos halodúricos:** suportam ambientes com alta concentração de sal, mas não conseguem se multiplicar.

27

DEFUMAÇÃO

A defumação é um processo de conservação bastante antigo. Carne defumada, por exemplo, é consumida há milênios e ainda hoje é um método de conservação bastante utilizado para conferir sabor e aroma característicos a certos produtos.

▶ EXEMPLOS DE PRODUTOS DEFUMADOS:



LINGUIÇA



FRANGO



SALMÃO



PRESUNTO

O produto defumado é produzido pelo processo de combustão incompleta da madeira e liberação de fumaça. A fumaça é constituída por numerosos compostos como ácidos, fenóis, ésteres, cetonas, carbonilas e hidrocarbonetos policíclicos, os quais são transferidos para o produto pela deposição na superfície e subsequente penetração no alimento. A fumaça age como conservante, por conter substâncias voláteis tóxicas aos micro-organismos. O aquecimento, por sua vez, promove a evaporação da água e o cozimento do alimento, diminuindo a atividade de água do produto, principalmente na parte superficial. Assim, a defumação associada à redução dos micro-organismos devido ao calor possibilita a extensão da vida útil do produto.

A defumação pode ser realizada por dois métodos: a quente e a frio. Na defumação a frio utiliza-se temperatura mais moderada, em geral, entre 25°C e 35°C. Na defumação a quente, a temperatura deve ser superior a 60°C e assim, pretende-se obter o cozimento do produto ao mesmo tempo que se defuma. Este tipo de defumação é recomendado para embutidos crus frescos, que secaram previamente alguns dias até alcançar um tom levemente avermelhado. O sabor destes produtos é mais intenso e forte e o brilho é consequência de gordura exsudada. As perdas de peso desses produtos são mais pronunciadas, no entanto, do ponto de vista microbiológico, são mais estáveis.

Nos métodos tradicionais de defumação (a quente e a frio), o controle da composição química da fumaça gerada é bastante difícil. Isto pode promover a deposição de compostos carcinogênicos, como o benzopireno, sobre a superfície do produto. A geração de fumaça implica, ainda, na emissão de grande quantidade de resíduos gasosos na atmosfera. Por esse motivo, o processo de defumação convencional vem sendo substituído pelo uso de fumaças sintéticas, como a fumaça líquida.

Uma das formas de obtenção da fumaça líquida é pela absorção em água dos componentes gerados na pirólise da serragem da madeira, em condições controladas. A fumaça líquida também pode ser obtida de forma sintética.

ATENÇÃO

Do ponto de vista microbiológico, a maior preocupação nos produtos defumados recai sobre as bactérias esporuladas, especialmente, o *Cl. botulinum*, que constitui um perigo se houver falhas ou processamento inadequado do produto.

DICA

VANTAGENS DA FUMAÇA LÍQUIDA

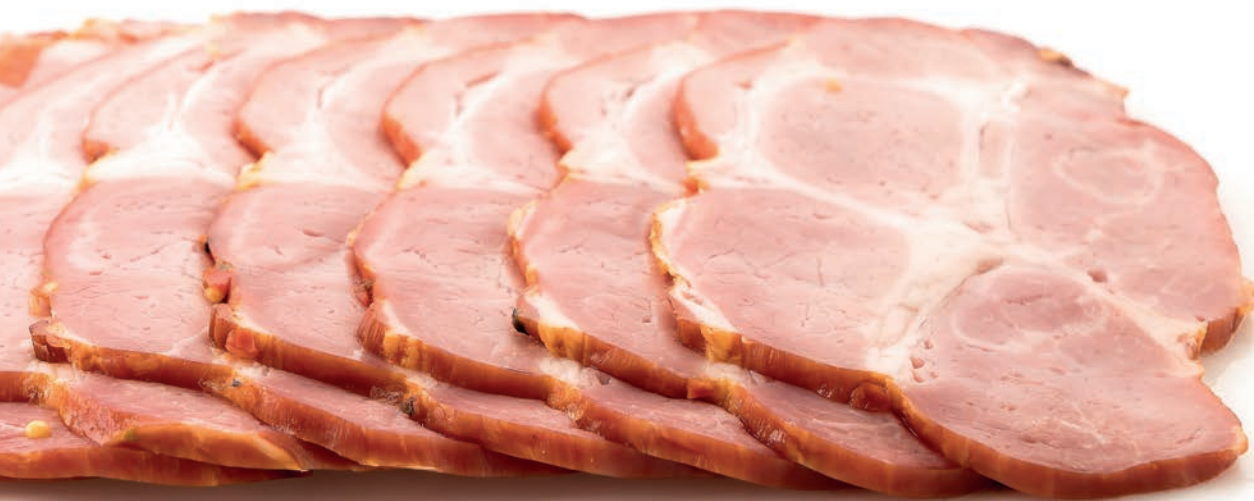
- Eliminação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, considerados carcinogênicos;
- Pode ser utilizada em produtos variados, proporcionando uniformidade e controle do sabor, aroma e cor;
- Diminuição da poluição do ar;
- Aumento da produtividade com redução dos custos do processo.



A quantidade de fumaça depositada sobre o produto depende de sua densidade, da velocidade do ar na estufa, da umidade relativa da estufa e da superfície do produto a ser defumado. De um modo geral, quanto mais densa for a fumaça, maior será a deposição. A velocidade do ar, também aumenta a deposição, uma vez que o movimento mais rápido possibilita mais fumaça em contato com o produto.

Os atributos sensoriais do produto defumado (cor, o aroma, sabor e textura) são muito importantes para a aceitabilidade do produto. Com a defumação, consegue-se realçar a cor, intensificando ou não a cor vermelho dourado, característica de um produto defumado.

Os diferentes compostos da fumaça conferem as características sensoriais dos produtos defumados. Estes compostos, no entanto, podem variar de acordo com a natureza da madeira utilizada, parâmetros da pirólise (temperatura, umidade, oxigênio) e técnicas utilizadas para obtenção da fumaça. A variação da composição da fumaça, principalmente no caso da fumaça líquida, possibilita a obtenção de diferentes perfis sensoriais que caracterizam os produtos defumados e saborizantes de fumaça.



3

NOVOS MÉTODOS

DE CONSERVAÇÃO
DE ALIMENTOS





31

TECNOLOGIAS EMERGENTES BASEADAS EM EFEITOS TÉRMICOS

O micro-ondas, a radiofrequência e o aquecimento ôhmico são processos à base de calor que podem eliminar micro-organismos em alimentos por efeitos térmicos. O aquecimento por micro-ondas e radiofrequências baseia-se no uso de ondas eletromagnéticas de determinadas frequências para gerar calor em um material através de dois mecanismos – dielétrico e iônico. O aquecimento ôhmico é um processo que consiste em passar correntes elétricas (principalmente alternadas) através de alimentos ou outros materiais para aquecê-los. O aquecimento ocorre na forma de geração de energia interna dentro do material. O aquecimento ôhmico se diferencia de outros métodos de aquecimento elétrico pela presença de eletrodos que entram em contato com o alimento (ao contrário do aquecimento por micro-ondas, onde os eletrodos estão ausentes) e depende da frequência da corrente e forma da onda (tipicamente sinusoidal).

Tanto no aquecimento por micro-ondas quanto no ôhmico, a combinação dos parâmetros tempo/temperatura e a localização dos pontos frios determinarão o efeito sobre micro-organismos. A eficácia desses métodos também depende da atividade da água e do pH do produto. Embora seja esperada que a forma das curvas de destruição ou inativação seja similar aos métodos térmicos convencionais, a complexidade de cada uma das tecnologias precisa de atenção especial quando é planejada a destruição microbiana. Por exemplo, no aquecimento por micro-ondas, vários fatores influenciam a localização do “ponto frio”, como a composição, a forma e o tamanho dos alimentos, a frequência das micro-ondas e o tipo de equipamento.

O processamento por micro-ondas tem se mostrado eficiente para reduzir carga microbiana em vários tipos de alimentos, como por exemplo, produtos cárneos, purês de hortaliças, ovos e frutas. A aplicação do aquecimento ôhmico ainda tem sido estudada em carnes, frutas e sucos.

3.2

MÉTODOS NÃO TÉRMICOS PARA CONSERVAÇÃO

O processamento não térmico de alimentos tem recebido destaque nos últimos anos e diferentes tecnologias emergentes estão em estudo para avaliar o seu potencial como uma alternativa aos tratamentos térmicos convencionais. Tradicionalmente, a grande maioria dos alimentos é processada utilizando temperaturas entre 60°C e 100°C por um determinado tempo. Porém, os processos térmicos, em função da enorme quantidade de energia transferida para o alimento, podem provocar alterações indesejáveis nas características sensoriais, nutricionais e físicas do alimento.

A utilização de processos não térmicos minimiza as alterações indesejáveis no alimento, uma vez que utilizam temperaturas inferiores àquelas usadas nos tratamentos térmicos. Dentre as tecnologias não térmicas emergentes estão: alta pressão hidrostática, campo elétrico pulsado, irradiação, campo magnético oscilatório, ozônio, luz pulsante e alta pressão com dióxido de carbono. Cada tecnologia tem uma aplicação específica: algumas são mais interessantes para o processamento de líquidos e outras se destinam ao tratamento de alimentos sólidos. Em cada caso, é necessário avaliar o potencial da tecnologia no processamento do produto, visando minimizar alterações na qualidade nutricional, físico-química e sensorial.

Considerando a aplicação industrial, sabe-se que os processos de alta pressão hidrostática e irradiação já estão sendo utilizados para a produção de alimentos comerciais, como por exemplo, sucos, guacamole e presunto, processados por alta pressão hidrostática e especiarias irradiadas. No entanto, um dos desafios da comercialização de novas tecnologias é a necessidade de aprovação junto aos órgãos regulatórios. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *Food and Drug Administration* (FDA) já aprovou a alta pressão hidrostática como tecnologia para a conservação de alimentos. Por outro lado, a Nova Zelândia proíbe o uso da irradiação para o processamento de alimentos.

A seguir, estão apresentados mais detalhes de alguns destes métodos:

ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA

A conservação de alimentos utilizando alta pressão hidrostática consiste em submeter alimentos líquidos ou sólidos a pressões entre 100 MPa e 800MPa por um tempo de processo determinado, associada ou não com certa elevação da temperatura, podendo o alimento estar ou não embalado. A pressão aplicada no processo pode chegar a 1000 MPa, ou além deste valor, dependendo do objetivo a ser alcançado, da capacidade do equipamento e do micro-organismo que se deseja inativar.



CURIOSIDADE

QUANTO EQUIVALE A PRESSÃO UTILIZADA NO PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA?

600MPa é equivalente à pressão exercida quando 3 elefantes, cada um com massa igual a 5000kg, estão sobre uma moeda, com diâmetro de 18mm.



De um modo geral, no processamento por alta pressão hidrostática, o alimento é acondicionado em embalagem flexível e inserido na câmara de pressão. Em seguida, a câmara é fechada e preenchida com o meio de transmissão de pressão, de forma a eliminar todo o ar. A pressurização é iniciada e ao término do ciclo, a câmara é despressurizada (Figura 15).

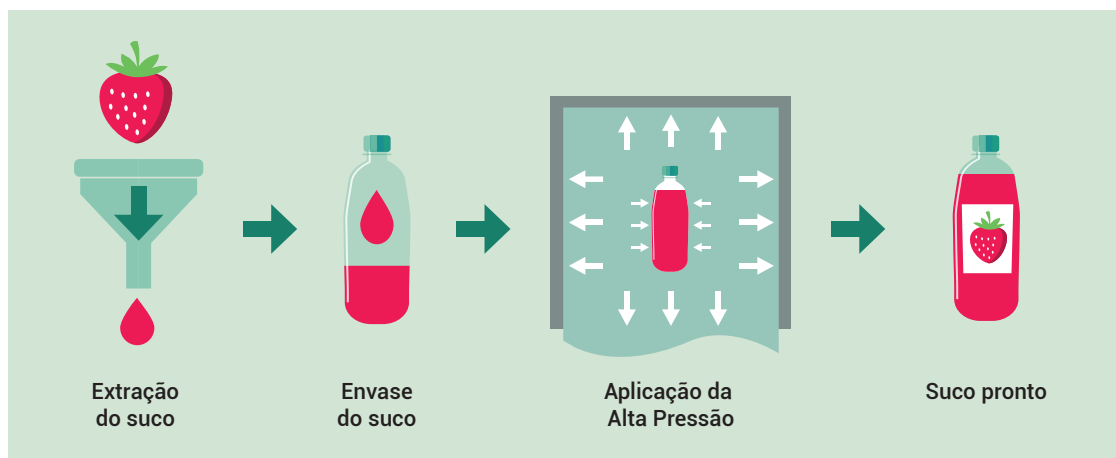


FIGURA 15 – Exemplo do processamento de suco a alta pressão hidrostática

Normalmente, o meio transmissor de pressão é a água. Quando altas pressões são aplicadas a embalagens de alimentos que estão submersos em água, a pressão é distribuída instantânea e uniformemente por todo o alimento (Figura 16). Esse fenômeno é conhecido como Princípio Isostático. Portanto, a aplicação uniforme da alta pressão em todas as partes do alimento, independentemente de sua forma ou tamanho, é uma vantagem importante em comparação com outros métodos de processamento devido ao fato de que todo o alimento é tratado de modo homogêneo. Isso resolve a falta de uniformidade encontrada em processamentos como, por exemplo, aquecimento por micro-ondas, entre outros.

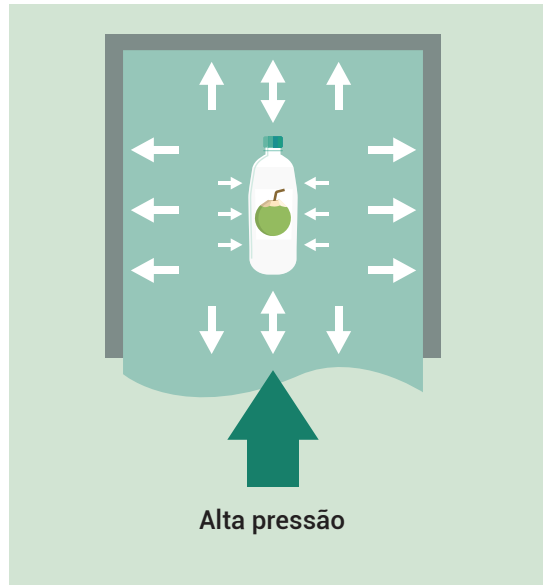


FIGURA 16 – Princípio isostático.

Esse método não afeta as ligações covalentes (presentes em vitaminas, sabor e cor), evitando os efeitos adversos causados pelo calor como a destruição de compostos termolábeis e o desenvolvimento de sabor e cor indesejáveis como é o caso do sabor amargo, compostos de Maillard e caramelização, mantendo assim, as características sensoriais e nutricionais do produto *in natura*.

A alta pressão hidrostática está progressivamente ocupando novos espaços nas indústrias, uma vez que a tecnologia possibilita um aumento expressivo da vida útil dos produtos, ao mesmo tempo em que as características sensorial e nutricional são minimamente afetadas. Além disso, a tecnologia pode ser aplicada ao alimento já embalado, o que minimiza as possibilidades de recontaminação no momento do envase do produto.

ATENÇÃO

Essa tecnologia possui a capacidade de destruir micro-organismos (patogênicos e não patogênicos) e enzimas que causam deterioração nos alimentos. Causa a desnaturação de proteínas e cisalhamento sobre paredes e membranas celulares, além de causar desnaturação proteica em enzimas.

A resistência dos micro-organismos à pressão varia consideravelmente e depende de fatores, como: tipo de micro-organismo (família, espécie, cepa), fase de crescimento em que se encontra, temperatura, pressão e tempo de tratamento, pH e composição do meio e número de ciclos de pressurização utilizados. Em linhas gerais:

- células vegetativas em fase de crescimento (log) são mais sensíveis à pressão que as células vegetativas na fase lag;
- bactérias Gram-positivas, em geral, são mais resistentes à pressão que as bactérias Gram-negativas;
- leveduras e fungos são micro-organismos muito sensíveis à pressão, sendo possível inativá-los com aplicação de pressão entre 200 MPa-300 MPa;
- esporos são muito resistentes e podem sobreviver a pressões muito elevadas (> 1000 MPa). Pelo fato de apresentarem tal resistência, os esporos podem ser germinados em baixas pressões (50 MPa-300 MPa). Esse processo leva ao aparecimento de células vegetativas que são mais sensíveis à pressão e a outros métodos de inativação.

IRRADIAÇÃO

A irradiação de alimentos é um tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e/ou tecnológica. Assim, todo alimento que tenha sido intencionalmente submetido a esse processo com radiação ionizante é denominado de alimento irradiado.

Qualquer radiação que ioniza átomos de materiais a ela submetidos é denominada de radiação ionizante. A ionização é o processo em que um ou mais elétrons são removidos do átomo.

Há três tipos de radiação e energias que podem ser utilizadas no tratamento de alimentos:

- Isótopos radioativos emissores de radiação gama: Cobalto 60 e Césio 137;
- Raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5 MeV;
- Elétrons gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV.

Esses valores de energias estão muito abaixo daqueles capazes de induzir radioatividade mensurável em qualquer material, incluindo os alimentos. Para cada tipo de alimento e de tratamento é definida uma dose, média ou máxima, apropriada de radiação. As radiações gama, de grande penetrabilidade, são utilizadas na irradiação de produtos de grande espessura. Os elétrons que possuem pequena penetração (apenas alguns milímetros) são usados para a irradiação superficial de alimentos ou para produtos a granel, de fina espessura.

A dose de radiação ou a dose absorvida referem-se à quantidade de energia absorvida pelo alimento por unidade de massa. Qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas as seguintes condições:

- A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida;
- A dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

As unidades são expressas em Gray (Gy), sendo que 1 Gray corresponde a 1 Joule por quilograma ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

A radura (Figura 17) é o símbolo internacional para indicar que um alimento foi irradiado.

Dependendo da dosagem de radiações ionizantes, às quais os alimentos são submetidos, os processos recebem as seguintes denominações: radapertização, radicidação ou radurização:

- Radapertização: é um processo que equivale à esterilização térmica obtendo produtos comercialmente estéreis que podem ser estocados em temperatura ambiente. As doses requeridas nesse processo são elevadas e geralmente estão acima de 10 kGy. Para alimentos gordurosos, doses muito elevadas provocam alterações nas características sensoriais muito fortes, como na carne, por exemplo. Por isso, há pouco interesse comercial na esterilização, com exceção feita aos temperos e especiarias, os quais estão frequentemente contaminados por bactérias esporulantes resistentes ao calor.



FIGURA 17 - Símbolo internacional de alimento irradiado (Radura).

Fonte: CODEX ALIMENTARIUS, 1991.

- Radiciação ou radicação: é um processo equivalente à pasteurização. Neste caso, são utilizadas doses entre 2 kGy, a 8 kGy, que são suficientes para reduzir o número de micro-organismos viáveis, eliminando patógenos não formadores de esporos, como por exemplo, *Salmonella spp.*
- Radurização: é um processo similar à pasteurização. Porém, neste caso, são utilizadas doses relativamente baixas (0,5 kGy a 2,5 kGy), para a destruição de leveduras, bolores e bactérias não esporulantes, aumentando assim a vida útil do produto irradiado. Geralmente são utilizados outros métodos de conservação associados, como a refrigeração.

Além dos três processos citados acima, a irradiação ainda é utilizada com as seguintes finalidades: controle do amadurecimento, desinfestação e inibição do brotamento.

Os níveis aprovados de irradiação em alimentos estão apresentados na Tabela 11.

CURIOSIDADE

O *Food and Drug Administration* (FDA), dos Estados Unidos, aprovou o primeiro uso da irradiação em produtos alimentícios (trigo e farinha de trigo) em 1963. Atualmente, a tecnologia de irradiação de alimentos é aceita em muitos países e para aplicação em diferentes alimentos. O padrão que aborda os alimentos irradiados, adotado pela Comissão do *Codex Alimentarius*, baseou-se nos resultados apresentados pelo *Joint Expert Committee on Food Irradiation* (JECFI), que concluiu que a irradiação de qualquer alimento, com doses médias abaixo de 10 kGy, não apresenta perigo toxicológico algum e não necessita de testes adicionais. Esse comitê constatou que a irradiação com até 10 kGy não causa danos nutricionais nem microbiológicos nos alimentos. A dosagem aceita (10 kGy) é equivalente à pasteurização e não esteriliza os alimentos.

Alimentos	Propósito	Dose média (kGy)
Batata, cebola, alho, etc	Inibição do brotamento	0,05 – 0,15
Cereais, frutas frescas e desidratadas, carne e peixe desidratado, etc	Controle da infestação por insetos e parasitas	0,15 – 0,50
Frutas e vegetais frescos	Controle da maturação	0,50 – 1,0
Frutos do mar frescos e congelados, carne de frango e bovina <i>in natura</i> ou congelada	Eliminação de micro-organismos patogênicos e deteriorantes	1,0 – 7,0
Carne, frango, frutos do mar, alimentos prontos, etc	Esterilização industrial (em combinação com aquecimento)	30,0 – 50,0
Pimentas, gomas naturais, preparações de enzimas, etc	Descontaminação de alguns aditivos e ingredientes	10,0 – 50,0

TABELA 11 – Níveis aprovados de irradiação em alimentos.

FONTE: WHO, 1988.

Em doses baixas de até 0,5 kGy, a irradiação pode ser utilizada para inativar *Trichinella spiralis* e *Taenia saginata* em carnes, por exemplo. Doses mais altas de 3 kGy a 10 kGy inativam bactérias não formadoras de endósporos, tais como *Salmonella*, *Campylobacter* e *Vibrio*. A irradiação pode ser também utilizada para reduzir a carga microbiana de condimentos e vegetais desidratados, prevenindo a contaminação de produtos aos quais eles são adicionados. Esse método é muito útil para o controle de patógenos em produtos alimentícios que são consumidos crus ou semicozidos.

De um modo geral, as bactérias Gram-positivas são mais resistentes à irradiação que as Gram-negativas. Os esporos de *Cl. botulinum* tipo A parecem ser os mais resistentes entre os esporos de clostrídios. As *pseudomonas* e as flavobactérias são mais sensíveis à radiação.

Infelizmente, a irradiação não é capaz de inativar enzimas e vírus, como o norovírus ou os da hepatite A. Portanto, apesar de reduzir a multiplicação microbiana, as enzimas residuais podem limitar a vida de prateleira dos produtos.

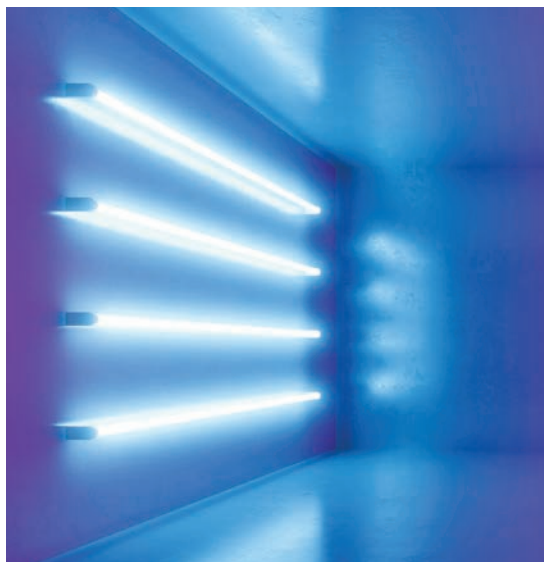
Há um crescente interesse mundial na aplicação da radiação gama para aumentar a vida útil de alimentos perecíveis e garantir a segurança microbiológica do produto. No caso de vegetais, a irradiação tem sido utilizada como método de conservação, devido ao retardo no amadurecimento e no brotamento de alguns produtos. A irradiação evita a condensação de anéis aromáticos heterocíclicos que ocorrem a altas temperaturas e são carcinogênicos.



LUZ ULTRAVIOLETA

Ultravioleta se refere a toda radiação eletromagnética com comprimento de onda na faixa de 100nm a 400nm, ou frequências entre $7,5\text{Hz} \times 10^{14}\text{Hz}$ e $3\text{Hz} \times 10^{16}\text{Hz}$. Com base no comprimento de onda, a radiação ultravioleta pode ser dividida em três categorias: UV-A, UV-B e UV-C. Sendo que a radiação UV-C é a que apresenta maior efeito bactericida, com comprimento de onda entre 200nm e 280nm. Assim, o dano aos materiais genéticos DNA e RNA, em decorrência da absorção da radiação ultravioleta, é considerado o principal mecanismo de inativação microbiana, uma vez que bloqueiam a replicação celular.

Dentre os fatores que influenciam a sensibilidade bacteriana à radiação ultravioleta, cita-se o pH e os diferentes estágios do ciclo de crescimento bacteriano. Sendo que a maior sensibilidade é observada quando os micro-organismos estão na fase logarítmica de crescimento. Os esporos apresentam cerca de duas vezes mais resistência à radiação que células vegetativas.



POR EXEMPLO...

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA

A luz ultravioleta é utilizada na indústria de alimentos para a descontaminação de superfícies de equipamentos utilizados em plantas de panificação, laticínios e carnes, em conjunto com os métodos tradicionais de limpeza e sanitização. Também pode ser aplicada para a descontaminação de embalagens, como caixas, tampas, garrafas, tubos, etc. Embora a luz ultravioleta seja eficiente nestes casos, ainda são poucos os exemplos de indústrias que utilizam essa tecnologia com tal finalidade. A luz UV tem demonstrado um enorme potencial para a pasteurização de sucos e bebidas, para o controle da contaminação microbiana em superfícies de carnes e ovos e para o aumento da vida útil de alimentos frescos. Essa tecnologia apresenta o diferencial de contribuir para a segurança do alimento ao mesmo tempo em que preserva a qualidade sensorial e o conteúdo nutricional.

CAMPO ELÉTRICO PULSADO

Essa tecnologia, também conhecida pela sua sigla em inglês “PEF” (*Pulsed Electric Field*), consiste em submeter o alimento a campos de alta intensidade (cerca de 5 a 55 kilovolt por centímetro) com pulsos elétricos de curta duração (ms ou μ s), repetidos muitas vezes (constituindo o número de pulsos), objetivando a destruição de micro-organismos e a inativação de enzimas.

O PEF provoca poros nas membranas dos micro-organismos devido a um colapso no potencial dielétrico da membrana, resultando em perda da integridade e função da mesma. A intensidade do pulso elétrico é diretamente proporcional à destruição microbiana, ou seja, quanto maior for a intensidade do pulso (acima do potencial de transmembrana crítico) maior será o grau de destruição. O potencial transmembrana natural da célula é de aproximadamente 1V. Portanto, se a intensidade do pulso for superior a esse limite, provavelmente, ocasionará um aumento na permeabilidade da membrana com formação de poros e a sua eventual ruptura. O processo de permeabilização celular pode ser reversível ou irreversível dependendo da intensidade do tratamento. A permeabilização será reversível, quando o campo elétrico aplicado é baixo (1 kV/cm a 10 kV/cm) e o tempo de aplicação é curto (até 10ms). Neste caso, quando o tratamento termina, a membrana volta a seu estado inicial. Porém, quando os parâmetros do processo forem superiores, o dano à membrana torna-se irreversível, ocasionando a morte celular (destruição dos micro-organismos).

O efeito letal nos micro-organismos depende dos parâmetros do processo (tempo, intensidade de campo, temperatura, número de pulsos), das características do produto e das características microbianas.

A linha para aplicação de campos elétricos pulsados em alimentos é composta por um sistema de geração de PEF, uma câmara de tratamento e um sistema de envase asséptico, conforme o esquema apresentado na Figura 18.

POR EXEMPLO

Para se ter uma ideia, num processo de campo elétrico pulsado, cerca de 20 a 100 pulsos elétricos de força de campo de 25 kV/cm a 70 kV/cm são aplicadas ao produto em períodos de microssegundos.

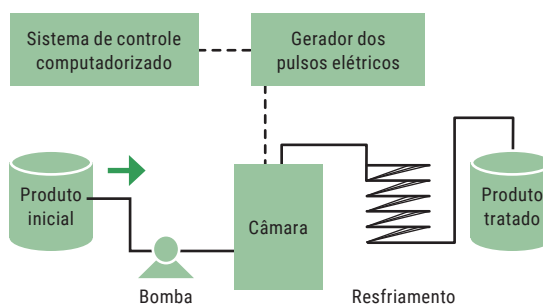


FIGURA 18 – Sistema de processamento por meio de aplicação de PEF.

FONTE: RAMOS et al., 2006.



ENTENDA A DIFERENÇA ENTRE AQUECIMENTO ÔHMICO E CAMPO ELÉTRICO PULSADO

Quando o alimento é submetido a uma diferença de potencial elétrico (V), produz aquecimento devido a sua resistência elétrica intrínseca. Este processo é conhecido como Aquecimento Ôhmico. Para minimizar o efeito Joule provocado pelo tratamento ôhmico e diminuir o aquecimento do produto, passou-se a utilizar pulsos elétricos de curta duração para a conservação de alimentos. Este processo é denominado Campo Elétrico Pulsado e é baseado nos efeitos elétricos e não nos térmicos para conservar os alimentos. Portanto, o Aquecimento Ôhmico é considerado uma tecnologia térmica enquanto o Campo Elétrico Pulsado é um processo de conservação não térmico.

**AQUECIMENTO
ÔHMICO**

TECNOLOGIA TÉRMICA

**CAMPO ELÉTRICO
PULSADO**

PROCESSO DE CONSERVAÇÃO
NÃO-TÉRMICO

PEF tem sido considerada uma tecnologia bastante promissora para a obtenção de pasteurização em alimentos, por meio de um processo brando e não térmico. Ao mesmo tempo em que inativa micro-organismos e enzimas, esse método provoca alterações mínimas no sabor, cor, textura e na composição de vitaminas, nutrientes e componentes funcionais termolábeis dos alimentos.

ULTRASSOM

O ultrassom é um outro exemplo de tecnologia não térmica com potencial de conservar alimentos. As ondas de ultrassom são semelhantes às ondas de som, mas apresentam uma frequência acima de 16 kHz e não podem ser detectadas pelo ouvido humano. Os ultrassons cobrem uma faixa de frequência desde 16 kHz até 1010 uHz e, devido a essa amplitude, oferecem uma grande variedade de aplicações.

De um modo geral, as aplicações de ultrassom são divididas em duas categorias: baixa e alta intensidade. A aplicação em alimentos iniciou-se com a utilização de ultrassom de alta frequência, normalmente para a realização de análises não destrutivas do produto. Mais recentemente, o uso de ultrassom de baixa frequência passou a ser utilizado como uma tecnologia para conservação de alimentos.

Além da conservação de alimentos, por meio da inativação de micro-organismos e enzimas, a tecnologia de ultrassom também tem sido empregada na melhoria do processo de desidratação, na emulsificação, na filtração, na modificação da viscosidade, no amaciamento e na fermentação.



EXEMPLO DA APLICAÇÃO PARA A SECAGEM DE ALIMENTOS

O processo de desidratação que utiliza ar quente para a remoção da água presente no alimento tem as desvantagens de ser um processo mais lento e de possibilitar a destruição de componentes termossensíveis presentes, alterando a qualidade nutricional e sensorial do produto. Matérias-primas com alto valor agregado podem utilizar a liofilização, que envolve o congelamento e sublimação da água presente, como método de secagem para manter a qualidade do produto. Porém, é uma tecnologia ainda considerada de alto custo e que requer tempos de processos elevados. Os processos de secagem assistidos por ultrassom possibilitam a utilização de temperaturas mais baixas e têm menor tempo de processo, possibilitando a obtenção de produtos com as características nutricionais e sensoriais muito similares ao produto *in natura*.



OZÔNIO

O ozônio é um poderoso agente oxidante, eficaz na inativação de bactérias, bolores, leveduras, vírus, protozoários e, inclusive formas esporuladas e cistos de protozoários, que são mais resistentes. É uma substância de ocorrência natural na atmosfera e que também pode ser produzida sinteticamente. Na indústria de alimentos, o ozônio tem sido utilizado como o ozônio gasoso e dissolvido em água (água ozonizada). Ambos apresentam característica bactericida e podem ser aplicados em variados produtos alimentares, incluindo carnes, aves, ovos, frutas e vegetais crus, bem como na higienização de superfícies de contato com os alimentos.

O ozônio tem sido estudado para estender a vida útil de muitos alimentos perecíveis retardando a decomposição causada por micro-organismos. Atualmente, ele é utilizado sem restrições em indústrias de alimentos nos Estados Unidos, pois o FDA considera o ozônio como uma substância GRAS (*Generally Recognized as Safe*) para aplicação direta em água engarrafada, alimentos e superfícies de contato com alimentos.

O mecanismo de destruição dos micro-organismos é o que diferencia o ozônio de outros agentes. O cloro atua por difusão através da parede celular, agindo sobre enzimas, proteínas, DNA e RNA. Já o ozônio, devido a sua capacidade de oxidação superior, age diretamente na parede da célula, causando sua ruptura e morte em menor tempo de contato, inviabilizando a recuperação posterior dos micro-organismos.

É bastante comum a utilização do cloro nos processos de sanitização nos estabelecimentos que produzem ou manipulam alimentos, pois é considerado um sanitizante relativamente fácil de aplicar e monitorar, além de apresentar um custo relativamente baixo. No entanto, o ozônio destaca-se por ser um sanitizante com elevado potencial de oxidação que pode entrar em contato com alimento. É o segundo agente com maior potencial de oxidação, perdendo apenas para o flúor. Quando comparado com o potencial de oxidação do cloro, o ozônio é 1,5 vezes maior do que o cloro. E ainda, o ozônio é eficaz a um espectro muito maior de micro-organismos quando comparado ao cloro e outros sanitizantes.



DESTAQUE

O ozônio inativa diversas bactérias, incluindo Gram-negativas e Gram-positivas, células vegetativas e formas esporuladas, além de componentes do envoltório celular, esporos fúngicos ou cápsides virais, em concentrações relativamente baixas e em reduzido tempo de contato. A redução ou a inativação da população microbiana devido à ozonização depende da concentração de ozônio, do tempo de aplicação e do micro-organismo envolvido.



DESTAQUE

O alto poder de oxidação do ozônio confere elevada capacidade de desinfecção e esterilização possibilitando que a ação sanitizante ocorra em menor tempo de contato e concentração.

A desvantagem da utilização de ozônio como desinfetante é sua instabilidade. O ozônio reage com a matéria orgânica de diferentes maneiras. Assim, o mecanismo de decomposição do ozônio é bastante complexo e é influenciado por fatores como os tipos de radicais formados em solução e o tipo de matéria orgânica presente. Devido a esta complexidade, é difícil generalizar que uma concentração específica de ozônio será eficiente para eliminar os micro-organismos presentes nos alimentos.

Ozônio pode ser produzido por três diferentes técnicas: exposição do O_2 à luz ultravioleta, eletrólise do ácido perclórico e descarga elétrica. A técnica mais importante comercialmente é por descarga elétrica, conhecida como efeito corona, pois gera uma quantidade maior de ozônio com menor custo. Nesse método, o ozônio é gerado pela passagem de ar ou oxigênio puro entre os dois eletrodos, um de alta tensão e outro de baixa tensão, submetidos a uma elevada diferença de potencial elétrico (Figura 19). Quando os elétrons possuem energia suficiente para dissociar a molécula de oxigênio, começam a ocorrer colisões, que causam a dissociação do oxigênio e a consequente formação do ozônio.



ATENÇÃO

TOXIDADE DO OZÔNIO

A aspiração direta do ozônio é extremamente perigosa devido a sua alta toxicidade ao ser humano.

Em baixas concentrações o ozônio não provoca sinais de toxicidade, mas em altas concentrações pode ser fatal aos humanos. Por isso, são estabelecidos limites máximos de exposição e as pessoas que trabalham em plantas de ozonização devem adotar cuidado operacional e ocupacional em suas rotinas de trabalho.

É importante estar atento aos limites de referência para a exposição humana ao ozônio estabelecidos pelos órgãos regulamentadores.

No entanto, a ingestão por intermédio de água ozonizada não apresenta perigo sério, pois a meia vida do ozônio dissolvido na água é relativamente curta.

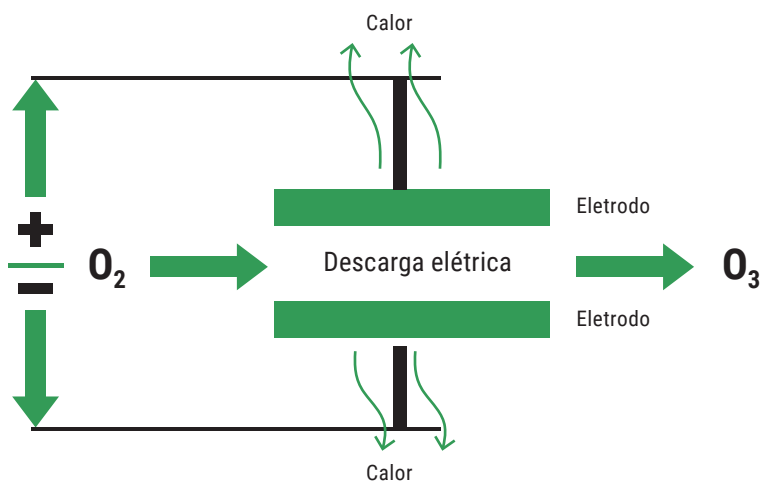


FIGURA 19 - Representação esquemática da síntese de ozônio pelo método de descarga elétrica.

FONTE: SILVA et al., 2011.

4

MÉTODOS COMBINADOS

DE CONSERVAÇÃO
DE ALIMENTOS





Os alimentos podem ser deteriorados antes do consumo, devido à ação de fatores físicos, químicos e microbiológicos. Muitas vezes, a utilização de um único método de conservação não é suficiente para impedir que estes fatores promovam a deterioração do alimento. Nesses casos, há necessidade da utilização de mais de um processo de conservação, fazendo com que os métodos atuem em complementação à ação do outro.

A conservação de alimentos pelo uso de métodos combinados, sejam eles convencionais ou não, está fundamentado no conceito de barreiras (Teoria dos Obstáculos de Leistner), onde cada método contribui com uma barreira ou obstáculo ao processo de deterioração do alimento. Com aplicação simultânea de diferentes barreiras, é possível alcançar a estabilidade microbiológica e a segurança do alimento e minimizar os impactos nas características sensoriais e nutricionais do produto.

EXEMPLOS COMUNS DA COMBINAÇÃO DE MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO

Verduras: Branqueamento + Congelamento

Leite: Pasteurização + Resfriamento

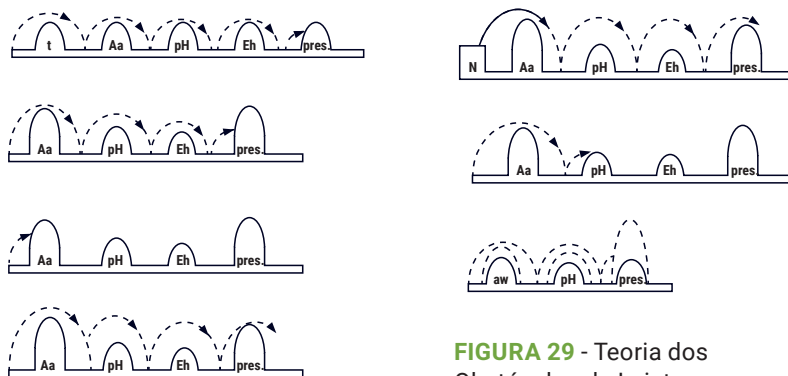


FIGURA 29 - Teoria dos Obstáculos de Leistner.

★ DESTAQUE

Exemplos de obstáculos que podem ser utilizados: temperatura (alta ou baixa), atividade de água (Aa), pH (acidificação), potencial redox, conservantes (nitritos, sorbatos, sulfitos), atmosfera modificada e micro-organismos competitivos (bactérias lácticas e produtos do seu metabolismo).



REFERÊNCIAS BÁSICAS

Fellows PJ. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas. 2.ed. Porto Alegre: Artmed; 2006. 602p.

Forsythe SJ. Microbiologia da segurança dos alimentos. 2.ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. 620p.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

Amaral LA do, Nader Filho A, Iaria ST, Ferro JÁ. Variação das características físico-químicas e microbiológicas das salmouras empregadas na salga de queijos tipo mussarela durante o período de sua utilização. Rev. bras. saúde prod. anim. 1992; 26(1):41-5. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v26n1/08.pdf>.

Binoti ML, Ramos AM, Teixeira LJQ, Stringheta PC, Minim VR de P, Pirozi MR. Campo elétrico pulsado. Cienc. Rural. 2012; 42(5):934-41. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v42n5/a14212cr4045.pdf>.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Informe Técnico nº 11, de 5 outubro de 2004. Dispõe sobre a utilização e descarte de óleos e gorduras utilizados para fritura. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/informacoes-tecnicas13?p_p_id=101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2_groupId=33916&_101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2_urlTitle=informe-tecnico-n-11-de-5-de-outubro-de-2004&_101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2_assetEntryId=2747026&_101_INSTANCE_WvKKx2fhjdjM2_type=content.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico para irradiação de alimentos, constante do anexo desta resolução. Diário Oficial da União; Poder Executivo. 29 de janeiro de 2001. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/Resolucao_RDC_n_21_de_26_de_janeiro_de_2001.pdf.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Dispõe sobre regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Diário Oficial da União; Poder Executivo. 16 de setembro de 2004. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388704/RESOLU%25C3%2587%25C3%25830-RDC%2BN%2B216%2BDE%2B15%2BDE%2BSETEMBRO%2BDE%2B2004.pdf/23701496-925d-4d4d-99aa-9d479b316c4b>.

Bridi AM. Fatores que afetam a qualidade e o processamento de produtos de origem animal. [Internet]. UEL - Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Carnesecarcacasarquivos/FATORESQUEAFETAMAQUALIDADEDEACARNE.pdf>.

Calixto FAA. Processamento de salga úmida e defumação à quente da carne de Bijupirá (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 17766): análises químicas, bacteriológicas, parasitológicas e Sensoriais [tese de doutorado]. Niterói: Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal Fluminense; 2016. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3674135#.

Celestino SMC. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina (DF): Embrapa Cerrados; 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>.

Clark S, Jung S, Lamsal B. Food processing: principles and applications. 2. ed. West Sussex, UK: Wiley Blackwell; 2014. 602p.

Coelho CCS, Freitas-Silva O, Alcantara I, Silva JPL. Ozônio em morangos minimamente processados, uma alternativa ao uso do cloro na segurança de alimentos. Vig Sanit Debate. 2015; 3(1):61-6. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123813/1/arquivo.pdf>.

Coelho CCS, Freitas-Silva O, Campos RS, Bezerra VS, Cabral LMC. Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: uma revisão. R Bras Eng Agríc Ambiental. [online]. 2015; 19(4):369-75. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n4/1415-4366-rbeaa-19-04-0369.pdf>.

Damar S. Processing of coconut water with high pressure carbon dioxide technology [tese de doutorado]. Flórida: Department of Food Science and Human Nutrition. University of Florida; 2006. Disponível em: http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/01/55/41/00001/damar_s.pdf.

De Paula JCJ, Carvalho AF, Furtado MM. Princípios básicos de fabricação de queijo: do histórico à salga. Rev Inst Latic. "Candido Tostes", 2009; 367-368(64):19-25. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/76/82>.

A desidratação na conservação dos alimentos. Revista Food Ingredients Brasil. 2016; 38:68-75. Disponível em: <http://www.revista-fi.com/materias/549.pdf>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Codex Alimentarius. Codex General Standard for the labelling of prepackaged foods. CODEX STAN 1-1985 (Rev. 1-1991). Disponível em: <http://www.fao.org/3/Y2770E/y2770e02.htm>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Codex Alimentarius. General standard for irradiated foods. CODEX STAN 106-1983 (Rev.1-2003). Disponível em: http://www.fao.org/input/download/standards/16/CXS_106e.pdf.

Farkas DF, Hoover DG. High pressure processing. J Food Sci. 2000; 65(4):47-64.

Food Safety Authority of Ireland - FSAI. Guidance note nº 15: Cook-chill systems in the food service sector (revision 1). 2006. Disponível em: <https://www.lenus.ie/bitstream/handle/10147/110415/GN%2015%202006%20FINAL%20PRINTED%20VERSION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Food and Drug Administration (FDA). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. J Food Sci. 2000; 65(s8). Disponível em: <https://www.fda.gov/files/food/published/Kinetics-of-Microbial-Inactivation-for-Alternative-Food-Processing-Technologies.pdf>.

Huss HH. Garantia da qualidade dos produtos da pesca. FAO Documento Técnico sobre as Pescas 334. Roma: FAO. 1997; 176p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/T1768P/T1768P00.htm>.

Jay JM, Loessner MJ, Golden DA. Modern food microbiology. 7 ed. Springer; 2005.

Kessler HG. Food and bio process engineering: dairy technology. 5 ed. Munique: Verlag A. Kessler; 2002.

Koutchma T. UV light for processing foods. IUVA News, 2008; 10(4):24-9. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1418/b4df34a14e4eda375e96c905d35cfd43628.pdf>.

Machado RLP. Boas práticas de armazenagem na indústria de alimentos. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2000; 28p. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc42-2000_000gc3pwwir02wx5ok01dx9lc7w0my81.pdf.

Nogueira RI. Uso de ultrassom na conservação de alimentos. ClicNews. 19 dez. 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/880574>.

Oliveira FR, et al. Efeito do beneficiamento sobre o valor nutricional do peixe mandim (*Arius spixii*). Ver Bras Cienc Farm. 2008; 44(4):655-67. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n4/v44n4a12.pdf>.

Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO). Manual sobre o manejo de reservatórios para a produção de peixes. (GCP/RLA/075/ITA - Documento de Campo 9). Itália: FAO; 1988. Disponível em: <http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/a0845t/volume2/docrep/field/003/AB486P/AB486P00.htm>.

Organização Mundial da Saúde (OMS). Cinco chaves para uma alimentação mais segura: manual. OMS; 2006. Disponível em: https://www.who.int/foodsafety/consumer/5KeysManual_pt.pdf.

Rahman MS. Handbook of food preservation. 2.ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2007. 1031p.

Ramos AM, Teixeira LJQ, Stringheta PC, Chaves JBP, Gomes JC. Aplicação de campos elétricos pulsados de alta intensidade na conservação de alimentos. Rev. Ceres. 2006; 53 (308):425-38. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3164/1059>.

São Paulo. Secretaria de Estado de Saúde. Coordenadoria de Controle de Doenças. Centro de Vigilância Sanitária. Divisão de Produtos Relacionados à Saúde. Portaria CVS 5, de 9 de abril de 2013. (DOE de 19/04/2013 - nº. 73 - Poder Executivo – Seção I – p: 32-5). Disponível em: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/PORTARIA%20CVS-5_090413.pdf.

Santos AL, Sá JFO, Teodoro VAM, Pinto MS. Utilização de dióxido de cloro estabilizado em solução aquosa no tratamento de salmouras, Rev Inst Latic. "Candido Tostes", 2008; 364(63):19-26. Disponível em: <http://www.revistadoilct.com.br/riict/article/view/60/66>.

Simpson R. Engineering aspects of thermal food processing. Boca Raton, FL: CRC Press; 2009. 513p.

Silva AMM. Efeito antimicrobiano do ozônio no processamento da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758) [dissertação de mestrado]. Mossoró, RN: Programa de Pós-Graduação em Produção Animal. Universidade Federal Rural do Semi-Árido; 2015. Disponível em: <https://ppgpa.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/60/2014/10/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Andressa-Medeiros-de-Mendo%C3%A7a-Silva.pdf>.

Silva JR, Coelho KO, Rocha FT, Neves RBS, Bueno CP. Qualidade microbiológica de salmouras utilizadas na salga de queijos muçarela. ACSA. 2017; 13(1):48-52. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/828>.

Silva SB, Luvielmo MM, Geyer MC, Prá I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. Semina: Ci. Agrárias, Londrina. 2011; 32(2):659-82. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/8909/8426>.

Vasconcelos MAS, Melo Filho AB. Conservação de alimentos. Recife: EDUFRPE; 2010, 130p. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prod_alim/tec_alim/181012_con_alim.pdf.

World Health Organization. Food irradiation: a technique for preserving and improving the safety of food. WHO. 1988. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/38544>.





