

USO DA TECNOLOGIA DE ALTA PRESSÃO PARA A INATIVAÇÃO DE MICRORGANISMOS EM PRODUTOS CÁRNEOS

RENATA TORREZAN *

Neste artigo é apresentada revisão da literatura sobre a inativação de microrganismos em produtos cárneos quando submetidos à alta pressão. São abordados os efeitos da alta pressão sobre os microrganismos e fornecidos exemplos do uso dessa tecnologia em produtos cárneos. Os estudos já realizados sinalizam que a tecnologia pode ser aplicada em produtos cárneos para aumentar sua vida-de-prateleira. Outros estudos devem ser conduzidos para cada produto, definindo as condições de processamento, com possibilidade de aliar outros processos que garantam sua segurança.

PALAVRAS-CHAVE: ALTA PRESSÃO; PRODUTOS CÁRNEOS-PRESERVAÇÃO.

1 INTRODUÇÃO

Tem sido verificada crescente demanda por alimentos frescos, saudáveis, saborosos e nutritivos. No entanto, a deterioração dos alimentos constitui desafio em toda a cadeia alimentar. Os consumidores de produtos cárneos exigem alta qualidade e conveniência. O processo de alta pressão representa alternativa tecnológica aos processos tradicionais de preservação de produtos cárneos (tais como a pasteurização e a esterilização), a fim de evitar sua contaminação após o processamento. Como o processo de alta pressão é mais brando (em termos de temperaturas utilizadas do que os processos tradicionais) permite obter produto final com melhores características sensoriais e nutricionais, mostrando efetividade na redução da contaminação microbiana.

* Pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro; Aluna de Pós-graduação, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP (e-mail: torrezan@fea.unicamp.br).

Há dois métodos de processamento sob alta pressão, isostático e de homogeneização ou dinâmico. O método isostático, também denominado como processamento em pressão ultra-alta, concentra a maior parte dos estudos já realizados. No processo de Alta Pressão Hidrostática (APH), como o próprio nome sugere, alimentos líquidos ou sólidos são submetidos a pressões acima de 100 MPa (1 MPa = 145,038 psi = 10 bar). Em sistemas comerciais, as pressões utilizadas enquadram-se na faixa de 400 a 700 MPa. Na pressurização, realizada em espaço confinado, emprega-se fluido (que no caso da hidrostática é a água) que atua como meio de transferência da pressão. A pressão é aplicada igualmente em todas as direções, o que permite aos sólidos a retenção de seu formato original. Uma das vantagens desse processo sobre os convencionais é que a compressão isostática independe do tamanho e geometria do produto. A pressão aplicada e o tempo de aplicação dependem do tipo do produto a ser tratado e do produto final desejado. Normalmente, a inativação enzimática requer o uso de pressões mais elevadas do que a inativação microbiana (SAN MARTÍN et al., 2002).

No processo de pressão hidrodinâmico (PHD), dois pistons operam simultaneamente. Enquanto um é preenchido com o alimento o outro empurra-o contra a válvula de homogeneização. Baseia-se na movimentação dos fluidos e na ação de forças instantâneas que agem sobre os sólidos imersos nesses líquidos. Durante o processo de PHD, alta energia explosiva move-se no meio líquido e causa ruptura das proteínas miofibrilares encontradas no tecido muscular. A destruição dos microrganismos ocorre pela ruptura da célula causada pelo aumento da pressão e tensão de cisalhamento. Esse processo é instantâneo e ocorre em milissegundos. As pressões utilizadas estão na faixa de 30 a 350 MPa (WILLIAMS-CAMPBELL e SOLOMON, 2002).

Os custos envolvidos na aquisição dos equipamentos e de processamento limitam o uso da tecnologia de alta pressão. Avanços têm sido realizados no desenho e construção desses equipamentos para tornar os custos de processamento mais competitivos em relação à esterilização e ao congelamento. Estima-se que os custos para modificar a linha de processamento já existente e obter o produto sob alta pressão esteja em torno de US\$ 0,0455/libra, considerando-se a depreciação dos equipamentos como sendo de 10 anos (MEYER et

al., 2000). Esse custo é similar ao do tratamento de presunto cozido citado por HUGAS et al. (2002) como sendo de 0,1 euros/Kg.

Embora a tecnologia de alta pressão seja pouco empregada comercialmente, SAN MARTÍN et al. (2002) citam que já está sendo comercializado na Espanha, presunto fatiado tratado sob alta pressão. Com o uso dessa tecnologia, a vida-de-prateleira do produto passou de 3 para 8 semanas.

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma revisão dos estudos mais recentes na área de tecnologia de alta pressão, enfocando-se a inativação de microrganismos em produtos cárneos.

2 EFEITO DA ALTA PRESSÃO SOBRE OS MICRORGANISMOS

A aplicação de alta pressão pode causar danos à fisiologia microbiana e sua viabilidade, tanto danificando as células como inativando-as. Assim, exercem efeito direto sobre a segurança dos alimentos, podendo prolongar a sua vida-de-prateleira (LÓPEZ-CABALLERO et al., 2002a).

As membranas biológicas têm sido identificadas como as mais afetadas pela pressão. As membranas são compostas por uma camada de fosfolípidios envolvidos por proteínas funcionais que (entre outras funções) exercem papel importante no transporte de íons e outras substâncias para as células (SAN MARTÍN et al., 2002).

A inativação dos microrganismos pela APH é, provavelmente, o resultado de diversos fatores. A APH não inibe ou destrói local específico da célula ou única função celular, mas a morte da célula ocorre pelo acúmulo de danos dentro das células. A membrana celular é o primeiro alvo dos danos causados pelas altas pressões, principalmente pelo efeito de cristalização dos fosfolípidios, alterando sua permeabilidade. Outras funções celulares sensíveis aos efeitos da pressão envolvem a troca de íons, a composição de ácidos graxos, a morfologia dos ribossomos e da célula, a desnaturação protéica, a atividade enzimática, a replicação do DNA, a formação do vacúolo, etc. (HUGAS et al., 2002).

O efeito da pressão sobre os microrganismos depende de fatores relacionados com os microrganismos propriamente ditos (espécie, formato, Gram, fase de crescimento e idade da cultura), com a natureza do meio (pH, composição do alimento ou meio de dispersão, presença de sais e/ou nutrientes, atividade de água, força iônica e tipos de íons presentes) e com as variáveis de pressão (níveis de pressão, tempo e temperatura e tipo do tratamento – contínuo ou descontínuo) (LÓPEZ-CABALLERO et al., 2002a; SAN MARTÍN et al., 2002; HUGAS et al. 2002, HALL et al., 2002).

As bactérias Gram-positivas são mais resistentes ao tratamento sob pressão do que as Gram-negativas. As bactérias são mais sensíveis à pressão no início da fase logarítmica de crescimento do que durante a fase estacionária. A microbiota endógena dos alimentos é mais resistente à pressão do que os microrganismos catalogados usados para inoculação (LÓPEZ-CABALLERO et al., 2002a; CHEFTEL e CULIOLI, 1997; HALL et al. 2002).

As bactérias Gram-negativas como *E.coli* ou *Salmonella* são normalmente insensíveis às bacteriocinas de bactérias lácticas, entretanto, tornam-se mais sensíveis à nisina e outras bacteriocinas quando pressurizadas. GARRIGA et al. (2002a) estudaram o comportamento de alguns patógenos inoculados em sistema cárneo-modelo com a adição de bacteriocinas (enterocinas A e B, sacacina K, pediocina AcH ou nisina), submetido a APH (400 MPa, 10 min, 17 °C) e estocado sob refrigeração. Em presença de nisina obtiveram a maior inativação de *E. coli* (maior que 6 ciclos logarítmicos) e o número de sobreviventes permaneceu, praticamente, inalterado durante estocagem a 4°C por 61 dias. A nisina também manteve a contagem das bactérias lácticas que provocam limosidade abaixo do nível de detecção. A contagem de *Listeria monocytogenes* nos tratamentos com sacacina, enterocina ou pediocina foi mantida em 10² Unidades Formadoras de Colônia por grama (UFC/g) até o final da estocagem (61 dias).

A morfologia das células dos microrganismos influencia sua sensibilidade aos efeitos da pressão, sendo os bacilos mais sensíveis do que os cocos. As células anteriormente estressadas (por exemplo, aquecimento subletal ou choque a frio) apresentarão maior resistência à pressão. A temperatura exerce importante papel na inativação

microbiana durante o tratamento sob APH. A inativação microbiana é menor na temperatura ótima de crescimento e maior acima ou abaixo dessa. As células anteriormente estressadas podem ser mais ou menos sensíveis ao tratamento térmico. Assim, a combinação de alta pressão com temperaturas moderadas de tratamento podem proporcionar excelentes estabilidades microbianas (HUGAS et al., 2002; CHEFTEL e CULIOLI, 1997; SHERRY et al., 2002).

Geralmente, os tratamentos com pressões mais elevadas e por tempo mais longo ampliam a inativação de microrganismos. MOERMAN et al. (2001) sugerem que sejam aplicadas pressões de pelo menos 400 MPa a 50°C durante 30 minutos para se obter certo grau de esterilidade comercial. Já para alcançar certo efeito de pasteurização, esses mesmos autores citam pressões de 250-350 MPa em temperatura de 65-75°C.

A habilidade de sobreviver ao tratamento sob altas pressões são grandemente afetadas quando as bactérias são tratadas em meios enriquecidos, contendo substâncias que as protegem contra as injúrias. Segundo CHEFTEL e CULIOLI (1997), a resistência dos microrganismos à pressão é maior em alimentos do que em soluções tampões e aumenta com o decréscimo da atividade de água.

Os esporos têm mostrado alta resistência aos tratamentos sob pressão, sendo capazes de sobreviver a pressões maiores que 1.200 MPa. Tem sido demonstrado que tratamentos a pressões de 60-100 MPa podem induzir a germinação dos esporos. Esse tratamento depende da temperatura, sendo que em temperaturas mais altas (50-70°C) há maior germinação dos esporos. A combinação do tratamento sob alta pressão com outros tratamentos tem sido sugerida como meio de reduzir o número de esporos (SAN MARTÍN et al., 2002; CHEFTEL e CULIOLI, 1997).

A Tabela 1 apresenta dados sobre as condições de pressão para a inativação de alguns microrganismos.

A maneira como a pressão é aplicada (continuamente ou em ciclos) exerce efeito importante sobre a inativação microbiana alcançada, sendo o tratamento por ciclos, em alguns casos, mais efetivo (CAPELLAS et al. 2000).

TABELA 1 - PRESSÃO DE INATIVAÇÃO DE MICRORGANISMOS

Microrganismo	Pressão (MPa)
Bactérias Gram-negativas	300
Bactérias Gram-positivas não esporuladas	400-600
Leveduras e Fungos não-termorresistentes	400
Esporos de bactérias Gram-positivas	700-800 (<i>Bacillus spp.</i>)
	900 (<i>Clostridium spp.</i>)
Esporos de Fungos termorresistentes	700-800

Fonte: CHIAVARO e BONARDI (1999).

3 EXEMPLOS DE ESTUDOS REALIZADOS COM PRODUTOS CÁRNEOS

Os alimentos são sistemas complexos que contêm microbiota altamente diversificada. A carne e os produtos cárneos são extremamente perecíveis, exigindo cuidados específicos em todas as etapas do seu processamento e manuseio de forma a eliminar ou reduzir os riscos de deterioração. Esses riscos iniciam tão logo o animal é sangrado, como resultado de mudanças microbiológicas, físicas e químicas que se processam nos tecidos musculares (HEDRICK et al., 1994). Algumas vezes é difícil determinar o impacto de determinado processo como o de alta pressão sobre microrganismos específicos ou grupos de microrganismos.

3.1 CARNE FRESCA

GOLA et al. (2000) inocularam a mistura de oito cepas de *E. coli* O

157:H7 (nível de contaminação de 10^6 – 10^7 UFC/mL) em carne bovina crua moída e solução tampão fisiológica. Compararam seu comportamento quando submetidas a pressões de 400, 500, 600 e 700 MPa a 15°C durante diferentes tempos de tratamento. A cinética de inativação apresentou dois tipos de inclinações. Os experimentos mostraram reduções decimais de 2,5, 5,2 e 3,2 para os tratamentos a 400 MPa (10 min), a 500 MPa (5 min) e a 600 MPa (1 min) em solução tampão, respectivamente. O tratamento da carne a 600 MPa (2 min) provocou redução na contagem de *E. coli* O 157:H7 de $7,5 \times 10^5$ para 75 UFC/g, enquanto que a 700 MPa (1 min) causou cinco reduções decimais. Para os tratamentos sob pressão de 400 MPa (10 min), 500 MPa (3 min) e 600 MPa (2 min) as reduções decimais foram respectivamente de 2,7, 3,2 e 4,7 em solução tampão e de respectivamente, 1,4, 3,1 e 4 em carne. Tal fato evidencia que as cepas mostraram-se ligeiramente mais resistentes ao tratamento quando inoculadas na carne. É importante ressaltar que a temperatura aumentou cerca de 3°C a cada 100 MPa durante a etapa de pressurização do produto.

WILLIAMS-CAMPBELL e SOLOMON (2002) estudaram a redução de microrganismos deterioradores em carne bovina fresca, utilizando o processo de pressão hidrodinâmico (70 MPa). Foram conduzidos três experimentos com carne moída e em pedaços adquiridas no comércio, sendo observado o prazo de quatro dias antes de expirar sua validade. Nos experimentos 1 e 2, os produtos (carne moída e em pedaços), incluindo o controle, foram estocados a 5°C por 20 horas em filme plástico e comparados com os mesmos produtos submetidos à pressão. Não houve diferença em termos de pH entre as amostras analisadas. Em relação à contagem total (inicial 10^5 UFC/g) houve redução de 2 ciclos logarítmicos no experimento 1 e de 1,5 log no experimento 2. No experimento 3, a carne moída foi tratada sob pressão e estocada aerobicamente a 5°C por 14 dias, juntamente com o controle. Os melhores resultados foram observados no experimento 3 (Tabela 2), em que houve diferença significativa em termos de pH entre a amostra-controle e a tratada sob pressão. A redução na contagem microbiana logo após o tratamento e ao longo do tempo de estocagem do produto evidenciou a possibilidade do tratamento hidrodinâmico aumentar a vida-de-prateleira desse produto.

TABELA 2- EFEITO DO TRATAMENTO DE PRESSÃO HIDRODINÂMICA SOBRE OS MICRORGANISMOS PRESENTES EM CARNE BOVINA MOÍDA FRESCA ESTOCADA POR 14 DIAS A 5°C (EXPERIMENTO 3)

Tempo de estocagem (dias)	Amostra-controle		Amostra tratada sob press ^a o	
	Contagem total ¹	pH ¹	Contagem total ¹	pH ¹
0	5,22 ± 0,47	5,8 ± 0,02	3,72* ± 0,28	5,8 ± 0,02
7	7,56 ± 0,12	7,4 ± 0,10	4,01* ± 0,11	6,1* ± 0,03
14	9,11 ± 0,20	8,2 ± 0,04	4,58* ± 0,08	5,6* ± 0,12

1= média de 5 amostras ± desvio-padrão.

* significativo ($p < 0,05$) quando comparado com a respectiva amostra-controle.

Fonte: WILLIAMS-CAMPBELL e SOLOMON (2002).

3.2 MARINADOS

O lombo bovino marinado, produto cru com alta atividade de água e baixo teor de sal, sem a adição de nitrito, apresenta microbiota variada de microrganismos patogênicos e deterioradores naturais da carne e decorrentes do seu manuseio e preparo. GARRIGA et al. (2002b) estudaram o lombo bovino fatiado marinado e embalado a vácuo, tratado sob APH a 600 MPa por 6 minutos a 31°C. Esse tratamento foi efetivo para controlar o crescimento de bactérias aeróbicas, psicrófilas e bactérias lácticas e, especialmente, os riscos associados à *Salmonella spp.* e *Listeria monocytogenes* (Tabela 3).

3.3 INJETADOS

LÓPEZ-CABALLERO et al. (1999) estudaram o efeito da alta pressão hidrostática (200 e 400 MPa, 5 e 20 minutos, 7°C) sobre a qualidade microbiológica e propriedades de ligação de água em presunto cozido fatiado e embalado a vácuo, acompanhando sua vida-de-prateleira durante estocagem a 2°C. A pressurização provocou maiores efeitos quando foram utilizados altos níveis de pressão e maior tempo de

processamento. A contagem total e a de bactérias lácticas mostraram-se bastante reduzidas, não sendo detectado crescimento de enterobactérias, Baird Parker microbiota ou *Brochothrix thermosphacta*, quando o produto foi submetido a 400 MPa por 20 minutos em nenhum momento do armazenamento do produto.

TABELA 3 - DETECÇÃO DE *Listeria monocytogenes* E *Salmonella* spp. EM LOMBO BOVINO MARINADO NÃO-PRESSURIZADO E TRATADO SOB ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA (600 MPa, 31°C, 6 min), DURANTE O ARMAZENAMENTO A 4°C

Tempo de estocagem (dias)	<i>Listeria monocytogenes</i> (25 g)		<i>Salmonella</i> spp. (25 g)	
	N ^o o-pressurizado	Pressurizado	N ^o o-pressurizado	Pressurizado
0	2/3 ^a	0/3	3/3	0/3
30	2/3	0/3	2/3	0/3
60	3/3	0/3	2/3	0/3
90	1/3	0/3	0/3	0/3
120	1/3	0/3	2/3	0/3

^a número de amostras positivas/amostras testadas.

Fonte: GARRIGA et al. 2002b, citado por HUGAS et al., 2002.

LÓPEZ-CABALLERO et al. (2002b) estudaram o efeito do tratamento sob APH (300 MPa, 15 min) e da temperatura (5, 20, 35 e 50°C) sobre a inativação de microrganismos (contagem total, bactérias lácticas, Baird Parker microbiota, *Pseudomonas* sp. e enterobactéria) e a coloração de presunto cozido fatiado e pedaços de carne de porco. A redução da carga microbiana mostrou-se maior nos pedaços de carne fatiada. As bactérias Gram-negativas revelaram maior sensibilidade ao tratamento sob pressão, exibindo maior perda de viabilidade. A inativação microbiana mais pronunciada ocorreu quando foi utilizada temperatura de processamento de 50°C.

3.4 EMBUTIDOS

As mudanças na qualidade e os efeitos do uso de APH na sobrevivência de microrganismos em lingüiças frescas de porco foram investigadas por HUANG et al. (1999). As lingüiças de porco, inoculadas com três cepas de *Listeria monocytogenes* (10^7 UFC/g), foram submetidas a pressões de 414 e 552 MPa, em temperaturas de 25 e 50°C e intervalos de tempo de 2, 4, 6, 8 e 10 minutos. Significativa redução na contagem de *Listeria monocytogenes* foi verificada à pressão de 414 MPa/50°C por 2 minutos. Tal condição mostrou também completa inativação dos microrganismos presentes na lingüiça de porco fresca e mudanças mínimas na sua qualidade.

YUSTE et al. (2000 a) compararam o tratamento sob alta pressão hidrostática (500 MPa/65°C) por 5 e 15 minutos em salsicha de frango, com tratamento térmico de 80-85°C/40 min e acompanharam a vida-de-prateleira dos produtos por 18 semanas a 2°C. Praticamente não foi detectado o crescimento de enterobactérias nos produtos até ao final da estocagem. Contagens similares de bactérias lácticas foram verificadas entre os tratamentos a 500 MPa/65°C/15 min e o tratamento térmico ($<10^1$ UFC/g) até o final da estocagem. Comprovaram assim, que o tratamento sob alta pressão pode substituir a pasteurização de salsichas de frango cozidas após a embalagem. Em outro estudo, YUSTE et al. (2000 b), inocularam salsicha de frango com *Salmonella enteritidis* (10^8 UFC/g), submetendo-a ao tratamento sob pressão de 500 MPa por 10 e 30 minutos e temperaturas de 50, 60 e 70°C. As salsichas tratadas sob alta pressão foram comparadas com salsichas de frango tratadas termicamente com cozimento padrão de 75°C/ 30 minutos e outros tratamentos térmicos em que foram empregadas as mesmas condições de tempo e temperatura utilizadas no tratamento sob alta pressão (10 e 30 minutos e temperaturas de 50, 60 e 70°C). Foram determinadas as contagens de *Salmonella enteritidis* e de mesófilos. Os tratamentos sob alta pressão produziram maiores reduções na contagem microbiana, quando comparados estatisticamente com os correspondentes tratamentos térmicos. A letalidade encontrada nos produtos pressurizados foi de 7,5 e 6,5 log UFC/g para, respectivamente, *Salmonella enteritidis* e mesófilos. Não houve diferença significativa na contagem dos microrganismos entre os tratamentos sob alta pressão a 60°C por 30 minutos ou a 70°C e o cozimento-padrão (75°C/ 30 minutos).

Em estudo conduzido por KALCHAYANAND et al.(2000), quatro cepas de *Listeria monocytogenes* (10^8 UFC/g) foram inoculadas em salsichas tipo “hot dogs”. Essas foram submetidas ao tratamento sob pressão (345 MPa, 50°C, 5 min), sendo testado também o uso das bacteriocinas pediocina AcH e nisina A (proporção 3:7, concentração de 5000 UI) com lisosima (100 mg/mL). Para os testes realizados em solução tampão houve redução na contagem de *Listeria monocytogenes* de 5,8 ciclos logarítmicos em comparação ao tratamento sob pressão e ao controle. Quando foi utilizada a mistura com bacteriocinas, a perda de viabilidade da mistura das cepas de *Listeria monocytogenes* mostrou-se maior do que 8,0 ciclos logarítmicos. A efetividade do tratamento sob pressão para a destruição de 4 ciclos logarítmicos das salsichas inoculadas com a mistura de cepas de *Listeria monocytogenes* também foi testada. As amostras foram analisadas com 1 e 7 dias de armazenamento a 4°C. As amostras pressurizadas mostraram reduções de 95% na população microbiana, no entanto, nenhuma das amostras com bacteriocinas evidenciou crescimento de *Listeria monocytogenes*.

“Morcilla de Burgos”, embutido cozido típico da Espanha, é elaborada a partir de mistura de cebola, arroz, gordura animal, sangue, vários tipos de condimentos e sal. BOREK et al. (2002) avaliaram o efeito da alta pressão na microbiota da “Morcilla de Burgos” com a finalidade de aumentar sua vida-de-prateleira. Foram comparados três tratamentos, o tradicional definido como controle e os outros dois com o uso de APH por 10 min, água a 15°C e pressões de 300 e 500 MPa. Os produtos foram estocados sob refrigeração a 4°C e realizadas análises microbiológicas de contagem total, bactérias lácticas, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas sp.*, *Enterococcus* e *Clostridium perfringens* com 0, 1, 5, 18 e 25 dias após os tratamentos. As condições utilizadas possibilitaram eliminar ou reduzir drasticamente a população de bactérias pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae*, *Enterococcus* e *Staphylococcus aureus*. Durante todo o estudo não houve crescimento de *Clostridium perfringens*. O tratamento sob pressão não foi efetivo para eliminar as bactérias lácticas, porém foi observada ligeira diminuição na contagem dessas em relação ao controle.

KROCKEL e MULLER (2002) estudaram o efeito da alta pressão hidrostática em salsichas tipo Bologna fatiadas (com e sem adição de

nitrito). Esses produtos foram inoculados com bactérias, embalados a vácuo e submetidos a pressões de 200 a 800 MPa, durante 10 minutos, a 0°C e estocados a 7°C por 44 dias. Nos tratamentos com pressões acima de 400 MPa, as contagens de bactérias foram bastante reduzidas e nos tratamentos acima de 600 MPa ficaram abaixo do nível de detecção. Após enriquecimento, *Serratia marcescens* foi detectada em todos os tratamentos. Em pressões acima de 400 MPa, o tipo de salsicha influenciou o crescimento dos microrganismos durante a estocagem, sendo maior para a salsicha produzida sem adição de nitrito.

3.5 CARNE MECANICAMENTE SEPARADA

A carne de aves mecanicamente separada é utilizada como ingrediente na formulação de diversos produtos industrializados. Sendo muito perecível, pode apresentar alta carga microbiana decorrente de condições higiênicas inadequadas de processamento ou nas etapas de manipulação, estocagem e utilização.

TUBOLY et al. (2003) trataram carne de peru mecanicamente separada (resfriada e congelada) sob APH. Na carne resfriada foi aplicada pressão de 200 MPa por 20 min e realizado acompanhamento do produto por 15 dias. A carne congelada foi acompanhada por 8 meses, após o tratamento do produto descongelado a 400 MPa por 20 min, seguido de congelamento (-20°C). Os produtos foram submetidos a análises microbiológicas (contagem total e enterobactérias), oxidação de lipídios (TBA) e concentração dos produtos da oxidação de colesterol (cromatografia e métodos enzimáticos). Foi observada redução significativa no número de células viáveis, principalmente para o produto refrigerado e aumento nos valores de TBA, bem como formação de compostos de oxidação do colesterol nos dois produtos.

YUSTE et al. (1999) inocularam *Listeria innocua* (10⁸ UFC/g) em carne de frango mecanicamente separada. Amostras embaladas a vácuo foram tratadas pela combinação de pressão (350, 400, 450 e 500 MPa), tempo (5, 10, 15 e 30 minutos) e temperatura (2, 10 e 20°C), sendo estocadas a 2°C por 2 meses. As contagens de *Listeria innocua* e bactérias mesófilas aeróbicas foram determinadas após 1, 4, 7, 15, 30 e 60 dias do tratamento sob pressão. Para os mesófilos, na maioria

dos tratamentos, a pressurização a 2°C mostrou melhores resultados que a 10 e 20°C com reduções de até 4,19 log de UFC/g (450 MPa/5 min). A alta pressão exerceu efeito marcante sobre as contagens de *Listeria innocua* com reduções de até 7,5 log UFC/g. Algumas células mostraram injúrias subletais após serem pressurizadas. Amostras tratadas a 500 MPa/30 min a 2°C revelaram contagens de 2,3 log UFC/g após 60 dias de estocagem a 2°C.

O efeito do tratamento sob pressão em ciclos sobre a contagem de mesófilos e psicrotrófilos foi avaliado em carne de frango mecanicamente separada (YUSTE et al., 2001). Amostras embaladas a vácuo foram submetidas a ciclos de moderada pressão (60 MPa) e alta pressão (450 MPa) a 20°C, uma ou várias vezes, porém com tempo máximo sob alta pressão de 15 minutos. Tratamento contínuo a 450 MPa por 15 minutos a 20°C também foi testado (Tabela 4).

TABELA 4 – CONTAGENS DE MICRORGANISMOS MESÓFILOS E PSICROTRÓFILOS (LOG UFC/g) EM CARNE DE FRANGO MECANICAMENTE SEPARADA E SUBMETIDA À PRESSÃO A 20°C

Tratamento	Mes filos ¹	Psicrotr filos ²
N ^a o-pressurizada	7,93 ^x	7,86 ^x
450 MPa / 15 min	4,23 ^y	3,12 ^z
60 MPa/30 min + 450 MPa/15 min	4,69 ^y	4,05 ^y
60 MPa/60 min + 450 MPa/15 min	4,75 ^y	4,29 ^y
60 MPa/30 min + 450 MPa/10 min + 60 MPa/ 30 min + 450 MPa /5 min	4,13 ^y	2,69 ^z
60 MPa/90 min + 450 MPa/15 min	4,39 ^y	3,28 ^z
(60 MPa/30 min + 450 MPa/5 min) x 3	4,41 ^y	4,01 ^y
60 MPa/120 min + 450 MPa/15 min	4,79 ^y	4,01 ^y

n = 4.

x-z = médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente (p<0,05).

¹ Mínima diferença significativa = 0,650.

² Mínima diferença significativa = 0,704.

Fonte: YUSTE et al. (2001).

O tratamento em ciclos não ofereceu maior redução na contagem de microrganismos quando comparado ao tratamento contínuo. O tratamento sob pressão melhorou a qualidade microbiológica da carne de frango mecanicamente separada, sendo os microrganismos psicrófilos mais sensíveis ao tratamento sob pressão que os mesófilos.

4 CONCLUSÃO

O processo de alta pressão constitui tecnologia promissora para ser utilizada em alimentos, visto que os danos aos aspectos sensoriais são mais suaves quando comparados com as tecnologias convencionais. Os aspectos envolvidos e estudos discutidos neste trabalho sinalizam sua aplicação em produtos cárneos para aumentar a vida-de-prateleira, principalmente em produtos prontos para o consumo e produtos refrigerados ou congelados. É importante ressaltar, também, que outros estudos devem ser conduzidos para cada produto em particular definindo-se efetivamente as condições de processamento com possibilidade de aliar outros processos que garantam a segurança desses alimentos.

O maior entrave ao avanço do processo de alta pressão é o seu custo. Acredita-se, porém, que os custos iniciais de investimento possam diminuir a partir de maior divulgação e adoção do processo. No momento, essa tecnologia pode ser aplicada em produtos com alto valor comercial que apresentem risco de serem degradados pelo tratamento térmico convencional.

Abstract

USE OF HIGH PRESSURE TECHNOLOGY TO MICROORGANISMS INACTIVATION IN MEAT PRODUCTS

In this article is presented a literature review about microorganisms inactivation in meat products when submitted to high pressure. The effects of high pressure in the microorganisms are discussed and examples of the utilization of this technology in meat products are given. The studies already realized shows that the technology may be applied in meat products to enhance its shelf-life. Others studies should be conducted for each product, defining the processing conditions, with the possibility to combine other processes that warrant its safety.

KEY-WORDS: HIGH PRESSURE; MEAT PRODUCTS-PRESERVATION.

REFERÊNCIAS

- 1 BOREK, S.; MOLINERO, C.; SANTOS, E. M.; JAIME, I.; ROVIRA, J. Application of high pressure to improve shelf-life of typical blood sausage "morcilla de Burgos". In: International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002. **Proceedings...** Rome: Università di Parma/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. v. 1, p. 172-173.
- 2 CAPELLAS, M.; MOR-MUR, M.; GERVILLA, R.; YUSTE, J.; GUAMIS, B. Effect of high pressure combined with mild heat or nisin on inoculated bacteria and mesophiles of goat's milk fresh cheese. **Food Microbiology**, v. 17, n. 6, p. 633-641, 2000.
- 3 CHEFTEL, J. C.; CULIOLI, J. Effects of high pressure on meat: a review. **Meat Science**, v. 46, n. 3, p. 211-236, 1997.
- 4 CHIAVARO, E.; BONARDI, S. Tecnologia ad alte pressioni e trattamenti combinati pressione-temperatura. **Industrie Alimentari**, v. 38, n. 384, p. 921-925, 1999.
- 5 GARRIGA, M.; AYMERICH, M. T.; COSTA, S.; MONFORT, J. M.; HUGAS, M. Bactericidal synergism through bacteriocins and high pressure in a meat model system during storage. **Food Microbiology**, v. 19, n. 5, p. 509-518, 2002a.
- 6 GARRIGA, M.; AYMERICH, M. T.; COSTA, S.; MONFORT, J. M.; HUGAS, M. **Effect of high pressure processing on the microbiology of skin-vacuum packaged sliced meat products**: cooked pork ham, dry cured pork ham and marinated beef loin. Profit Final Project Report. FIT 060000200066. Disponível em: <<http://www.irta.es/cat/que/publicacions/informes/carnies.asp>>. Acesso em 2002b.
- 7 GOLA, S.; MUTTI, P.; MANGANELLI, E.; DAZZI, M.; SQUARCINA, N.; GHIDINI, M.; ROVERE, P. Comportamento di ceppi *E.coli* patogeni in sistema modello e in carne cruda macinata trattati con le alte pressioni: aspetti microbiologico e tecnologico. **Industria Conserve**, v. 75, n. 1, p. 13-25, 2000.
- 8 HALL, R. S.; PATTERSON, M. F.; MADDEN, R. H. Resistance of *Pseudomonas* e *Brochothrix* species to high hydrostatic pressure. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002.

- Proceedings...** Rome: Università di Parma/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. v. 1, p. 184-185.
- 9 HEDRICK, H. B.; ABERLE, E. D.; FORREST, J. C.; JUDGE, M. D. MERKEL, R. A. **Principles of meat science**. 3rd ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publish Company, 1994. 354 p.
 - 10 HUANG, M.; MOREIRA, R. G.; MURANO, E. Use of hydrostatic pressure to produce high quality and safe fresh pork sausage. **Journal of Food Processing Preservation**, v. 23, n.4, p. 265-284, 1999.
 - 11 HUGAS, M.; GARRIGA, M.; MONFORT, J. M. New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002. **Proceedings...** Rome: Università di Parma/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. v. 1, p. 85-93.
 - 12 KALCHAYANAND, N.; RAY, B.; SIKES, A.; DUNNE, C. P. Complete destruction of *Listeria monocytogenes* in hot dogs by hydrostatic pressure and bacteric-based biopreservatives. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 46., Argentina, 27 de Agosto a 01 de Setembro de 2000. **Proceedings...** Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária (INTA), 2000. v. 2, p. 656-657.
 - 13 KROCKEL, L.; MULLER, W. D. Inaktivierung von Bakterien in vakuumverpacktem Bruhwurstaufschnitt: Orientierende Versuche mit hohen hydrostatischen Drucken. **Fleischwirtschaft**, v. 82, n. 9, p. 121-124, 2002.
 - 14 LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; CARBALLO, J.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Microbiological changes in pressurized, prepackaged sliced cooked ham. **Journal of Food Protection**, v. 62, n. 12, p. 1411-1415, 1999.
 - 15 LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; CARBALLO, J.; SOLAS, M. T.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Responses of *Pseudomonas fluorescens* to combined high pressure/temperature treatments. **European Food Research Technology**, v. 214, n. 6, p. 511-515, 2002a.
 - 16 LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; CARBALLO, J.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Microbial inactivation in meat products by pressure / temperature processing. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p. 797-801, 2002b.

- 17 MEYER, R. S.; COOPER, K. L.; KNORR, D.; LELIEVELD, H. L. M. High-pressure sterilization of foods. **Food Technology**, v. 54, n. 11, p. 67,68,70,72, 2000.
- 18 MOERMAN, F.; MERTENS, B.; DEMEY, L.; HUYGHEBAERT, A. Reduction of *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* and *Streptococcus faecalis* in meat batters by temperature-high hydrostatic pressure pasteurization. **Meat Science**, v. 59, n. 2, p. 115-125, 2001.
- 19 SAN MARTÍN, M. F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Food processing by high hydrostatic pressure. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 6, p. 627-645, 2002.
- 20 SHERRY, A. E.; PATTERSON, M. F.; MADDEN, R. H. Resistance of Salmonellae to heat, high-pressure and irradiation stress. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002. **Proceedings...** Rome: Università di Parma/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. v. 1, p. 200-201.
- 21 TUBOLY, E.; LEBOVICS, V. K.; GAÁL, Ö; MÉSZÁROS, L.; FARKAS, J. Microbiological and lipid oxidation studies on mechanically deboned turkey meat treated by hydrostatic pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 2 e 3, p. 241-244, 2003.
- 22 WILLIAMS-CAMPBELL, A. M.; SOLOMON, M. B. Reduction of spoilage microorganisms in fresh beef using hydrodynamic pressure processing. **Journal of Food Protection**, v. 65, n. 3, p. 571-574, 2002.
- 23 YUSTE, J.; BELTRAN, E.; MOR-MUR, M. High pressure processing of cooked poultry sausages: inactivation of enterobacteria and lactic acid bacteria. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 46., Argentina, 27 de Agosto a 01 de Setembro de 2000. **Proceedings...** Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 2000a. v. 2, p. 658-659.
- 24 YUSTE, J.; MOR-MUR, M.; CAPELLAS, M.; PLA, R. *Listeria innocua* and aerobic mesophiles during chill storage of inoculated mechanically recovered poultry meat treated with high hydrostatic pressure. **Meat Science**, v. 53, n. 4, p. 251-257, 1999.
- 25 YUSTE, J.; PLA, R.; CAPELLAS, M.; SENDRA, E.; BELTRAN, E.; MOR-MUR, M. Oscillatory high pressure processing applied to mechanically

recovered poultry meat for bacterial inactivation. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 3, p. 482-484, 2001.

- 26 YUSTE, J.; PLA, R.; MOR-MUR, M. *Salmonella enteritidis* and aerobic mesophiles in inoculated poultry sausages manufactured with high-pressure processing. **Letters in Applied Microbiology**, v. 31, n. 5, p. 374-377, 2000b.