



## Potencialidade do uso de água ozonizada no processamento de peixes

### Potential use of ozonized water in fish processing

Andressa Medeiros de Mendonça SILVA\* & Alex Augusto GONÇALVES

Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

\*Email: dedessamedeiros@hotmail.com

Recebido em 15 de novembro de 2013

**Resumo** - Em virtude da composição química específica, a contaminação e deterioração do pescado têm sido evidenciadas mais intensamente do que em carnes de animais terrestres. Este fato ocorre pela maior predisposição à multiplicação bacteriana, o que pode reduzir a vida útil do produto, passando a representar risco à saúde pública. Nesse contexto, o ozônio surge como um método de desinfecção para retardar a decomposição ou melhorar a segurança alimentar dos produtos, como também aumentar a vida de prateleira. O ozônio ( $O_3$ ) é uma forma triatômica do oxigênio, sendo um gás extremamente instável, com um odor repugnante, não produzindo nuvens tóxicas ou produtos secundários de hidrocarbonetos. O ozônio é considerado um dos oxidantes mais poderosos que se conhece, comparado com o cloro. Devido a ser um poderoso agente oxidante, o ozônio pode ser usado para desinfecção na indústria alimentar. A lavagem com água ozonizada está ficando mais popular hoje em dia, devido à sua alta eficácia biocida e amplo espectro antimicrobiano. Decorrente dessas vantagens, o ozônio tem sido aplicado durante o processamento do pescado, como principal objetivo de reduzir o índice bacteriológico que ocorrem durante o processamento e o armazenamento e, assim, obter maior durabilidade do pescado. Vários estudos vêm confirmando os benefícios das aplicações do ozônio na indústria pesqueira.

Palavras-Chave: ozônio, água ozonizada, agente oxidante, segurança.

**Abstract** - Due to the specific chemical composition, contamination and spoilage of seafood has been evidenced more strongly than in meat from land animals. That occurs because of its predisposition to bacterial multiplication, which can reduce the product's life cycle, becoming a risk to the public health. In this context, ozone appears as a disinfection method to delay decomposition and to improve the safety of food products. It also increases the shelf life. Ozone ( $O_3$ ) is a triatomic form of oxygen and an extremely unstable gas, has a disgusting smell, does not produce toxic clouds or secondary products of hydrocarbons. Compared to chlorine, ozone is considered one of the most powerful oxidants known. Because of its powerful oxidizing agent, ozone can be used for disinfection in the food industry. The washing process with ozonized water is getting more popular nowadays due to its high effectiveness and wide spectrum as antimicrobial biocide. Due to these advantages, ozone has been applied during the fish processing with, the main objective of reducing the bacteriological index during processing and storage and thus achieve greater durability of the fish. Several studies have acknowledged the benefits of ozone applications in the seafood industry.

Keywords: ozone, ozonized water, oxidant agent, safety.



## A História do ozônio

O ozônio foi descoberto pela primeira vez em 1839 por Schönbein, estudando a decomposição eletrolítica da água (Tiwari & Rice, 2012). Somente após duas décadas de sua descoberta ficou claramente identificada a composição triatômica do ozônio, contendo apenas oxigênio (Coraucci Filho *et al.*, 2003).

A ação germicida do ozônio foi evidenciada na França, no final do século XIX, onde começou a ser utilizado como desinfetante em Estações de Tratamento de Água (ETA) (Coraucci Filho *et al.*, 2003; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). Desde então, tem sido estudado e aplicado extensivamente como oxidante e desinfetante em tratamento de águas superficiais para a produção de água potável na Europa e está cada vez mais, sendo aplicado como pré-oxidante nos Estados Unidos (Mondardo, Senz & Melo Filho, 2006). Apenas nos anos 90, os Estados Unidos afirmaram o ozônio como uma substância GRAS para aplicação direta em produtos alimentícios (Güzel-Seydim, Greene & Seydim, 2004), e em 2001, foi declarado seguro como aditivo secundário para o uso em alimentos (Pezzi, 2009).

O ozônio tem sido utilizado na indústria de processamento de alimentos como o ozônio gasoso e dissolvido em água, como água ozonizada. Ambos têm sido utilizados como um bactericida em uma vasta gama de produtos alimentares, incluindo carne, aves, ovos, frutas e vegetais crus, frutos e sumos de frutos, bem como o saneamento de superfícies de contacto com o produto (Chawla, 2006; Gonçalves, 2009).

O ozônio tem sido estudado para estender a vida útil de prateleira de muitos alimentos perecíveis retardando a decomposição causada por micro-organismos (Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). Atualmente, ele é utilizado sem restrições em indústrias de alimentos nos Estados Unidos. No Brasil, a aplicação do ozônio com essa finalidade ainda é limitada, não havendo ainda uma legislação específica para o seu uso em alimentos (Chiattonne, Torres & Zambiasi, 2008).

O ozônio já está sendo utilizado na indústria de pescado, e tem sido promissor, apesar de uma maneira predominantemente experimental e pouco documentado (Gonçalves, 2011). Cronologicamente, a história da aplicação do ozônio na indústria do pescado pode ser resumida de acordo com a Tabela 1.

## Propriedades do ozônio

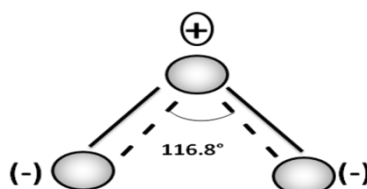
O ozônio (O<sub>3</sub>) é uma forma triatômica do oxigênio, sendo um gás extremamente instável. O gás ozônio possui um odor repugnante e é facilmente detectável pelos sentidos olfativos humanos em baixos níveis de 0,01ppm para 0,02 ppm (Graham, 2000; Dew, 2005). Uma exposição de uma hora a concentrações de 2, 4, 15 e 95 mg/L pode causar efeitos sintomáticos, irritantes, tóxicos e letais, respectivamente (Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011).

**Tabela 1.** História da aplicação do ozônio na indústria do pescado.

ANO	EVENTO
1936	Vida de prateleira de peixe estocado em gelo +O <sub>3</sub> (França).
1969	Vida de prateleira cavala ( <i>T. trachurus</i> ) imerso água + O <sub>3</sub> (Japão).
1984	Vida de prateleira camarão em gelo + O <sub>3</sub> (México).
1987	Efeito desinfetante da água + O <sub>3</sub> na indústria (China).
1987	Vida de prateleira do bacalhau do atlântico com água + O <sub>3</sub> e gelo + O <sub>3</sub> (USA).
1990	Água mais ozônio e gelo + O <sub>3</sub> no processamento catfish (USA).
1992	Efeito desinfetante da água + O <sub>3</sub> no processamento do camarão (China).
1996	Vida de prateleira bacalhau e cavala com gelo + O <sub>3</sub> (UK).
1997	Vida de prateleira bacalhau e cavala com água + O <sub>3</sub> vs. clorada (UK).
1997	Vida de prateleira de <i>rockfish</i> ( <i>Sebastes sp.</i> ) água + O <sub>3</sub> (Alemanha).
1998	Vida de prateleira cavala ( <i>trachurus trachurus</i> ) câmara com O <sub>3</sub> (UK).
1999	Vida de prateleira atum fresco (com água + O <sub>3</sub> ) e embalada a vácuo (USA).
2000	Vida de prateleira e qualidade <i>catfish</i> água + O <sub>3</sub> (USA).
2001	FDA reconhece como aditivo secundário para alimentos. <i>Food Safety and Inspection Service</i> (FSIS) declarou aceitável em produtos cárneos e avícolas
2002	Redução de micro-organismos do peixe e equipamento com água + O <sub>3</sub> (USA).
2005	Vida de prateleira mexilhão em água + O <sub>3</sub> e embalado a vácuo (Grécia).
2005	Pré-tratamento com água + O <sub>3</sub> em tilápia + estocagem (Israel).
2005	Vida de prateleira sardinha em gelo líquido + O <sub>3</sub> (Espanha).
2006	Inativação de <i>Listeria innocua</i> em truta defumada (Portugal).
2006	Tratamento do camarão com água + O <sub>3</sub> (USA).
2007	Tratamento camarão com água + O <sub>3</sub> (USA).
2008	Peixe de água doce ( <i>Capoeta capoeta</i> ) em gelo + O <sub>3</sub> (Turquia).
2008	Vida de prateleira linguado em água + O <sub>3</sub> e gelo + O <sub>3</sub> (Espanha).
2008	Vida de prateleira merluza em água + O <sub>3</sub> e gelo + O <sub>3</sub> (Espanha).
2010	Vida de prateleira da ostra em água + O <sub>3</sub> . Rong <i>et al.</i> (2010)
2012	Segurança microbiana do filé de salmão com sprays de O <sub>3</sub> . Crowe <i>et al.</i> (2012)

Fonte: (Gonçalves, 2011)

O ozônio é altamente corrosiva no equipamento e letal para os seres humanos, com uma exposição prolongada, em concentrações acima de 4 ppm (Suslow, 2003). O gás de ozônio decompõe-se rapidamente em oxigênio (O<sub>2</sub>). Sua velocidade de decomposição é fortemente dependente da pureza do solvente, diminuindo na presença de impurezas. Condensa-se a -112,4 °C e congela a -193 °C. O ozônio em estado líquido pode explodir facilmente por motivos de choques, faísca elétrica ou mudanças bruscas na temperatura e pressão (Costa, 2012). A figura 1 apresenta a forma da estrutura molecular do ozônio.

**Figura 1.** Estrutura do ozônio (Perani, 2010).

O ozônio é considerado um dos oxidantes mais poderosos que se conhece, possuindo uma grande capacidade de desinfecção e esterilização, comparando com o cloro, e apresenta um menor



tempo para realizar a desinfecção (USEPA, 1999; Khadre, Yousef & Kim, 2001; Gonçalves & Paiva, 2004; Güzel-Seydim, Greene & Seydim, 2004; Gonçalves, 2009).

A primeira propriedade permite que o ozônio possa oxidar uma série de compostos inorgânicos e orgânicos (Mahmoud & Freire, 2007). Ao ser comparado a outros agentes oxidantes (Tabela1), o ozônio se destaca pelo elevado potencial de oxidação (2,07 mV).

**Tabela 2.** Agentes oxidantes e seu potencial de oxidação

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação (mV)
Flúor	3,06
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Permanganato	1,67
Dióxido de cloro	1,50
Hipoclorito	1,49
Cloro	1,36

Fonte: Battaler, Fernández & Véliz (2010).

Dentre as substâncias químicas ordinárias, somente o flúor (3,06 mV) possui um potencial de redução maior que o ozônio (Güzel-Seydim, Greene & Seydim, 2004; Gonçalves, 2009; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá 2011). À temperatura ambiente é um gás de coloração azulada, porém nas concentrações utilizadas com propósitos de desinfecção, torna-se incolor (Cardoso *et al.*, 2003). A meia-vida de moléculas de ozônio no ar atmosférico é da ordem de 12 horas, em soluções aquáticas depende do conteúdo de matéria orgânica. O ozônio se dissolve na água dez vezes melhor do que o oxigênio e a sua solubilidade diminui com o aumento na temperatura da água (Wysok *et al.*, 2006). Uma das principais características do ozônio é sua alta reatividade, apresentando tempo de meia-vida entre 15 e 50 min, sendo degradado em oxigênio, e dessa forma não apresenta nenhuma atividade residual ativa (Costa, 2012).

O ozônio como um agente oxidante é 1,5 vezes mais forte do que o cloro e é eficaz ao longo de um espectro muito mais amplo de micro-organismos que o cloro e outros desinfetantes (Xu, 1999). A cloração produz nuvens de cloro e derivados de hidrocarbonetos nocivos (THMs) durante o tratamento, que são mutagênicos, tóxicos e carcinogênicos em água, em alimentos ou em superfícies de contato (Dew, 2005; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). O ozônio, por outro lado não produz nuvens tóxicas e não há produtos secundários de hidrocarbonetos (Dew, 2005; Zhang, Zhaoxin, Zhifang & Xiang, 2005).

Contudo, é importante ressaltar que a aplicação do ozônio requer alguns cuidados, por ser um gás extremamente tóxico e por propiciar, assim como o cloro, a formação de compostos bromados em água quando em presença do íon brometo (Novaes *et al.*, 2012).

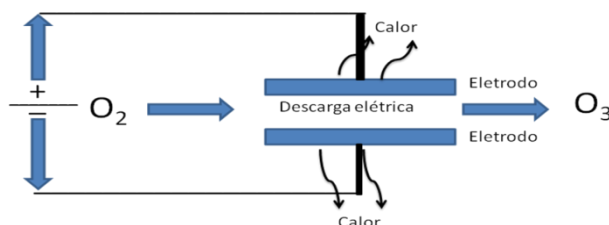


## Processo de geração do ozônio

O ozônio é encontrado em forma natural na atmosfera, ou pode ser produzida por geradores (Kim, 2012). Devido à instabilidade do ozônio, na fase gasosa, o que impede sua armazenagem, torna-se necessária sua geração *in situ* (Summerfelt, 1997; USEPA, 1999). 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. (Graham, 2000; Almeida, Assalin & Rosa, 2004; Chawla, 2006; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). 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 de, aproximadamente, 10.000 V (Summerfelt, 1997; Güzel-Seydim, Greene & Seydim, 2004; Costa, 2012). 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 (USEPA, 1999; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). Nesse método, a produção de ozônio varia dependendo da diferença de potencial, da frequência da corrente elétrica, da constante dielétrica e do espaço de separação entre os eletrodos (Chawla, 2006).

Na Figura 2, pode-se observar um esquema de um gerador de ozônio pelo processo corona. As vantagens da descarga eletroquímica por efeito corona são: alta concentração de ozônio, melhores aplicações em água, equipamento pode durar anos sem manutenção (Gonçalves, 2009). O processo corona pode converter oxigênio molecular em ozônio a concentrações de até 4% em massa para geração a partir de ar e de até 14% para geração a partir do oxigênio puro (Graham, 2000; Almeida, Assalin & Rosa, 2004; Gonçalves & Paiva, 2004; Gonçalves 2009; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011).



**Figura 2.** Síntese de ozônio pelo método de descarga elétrica (Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011).

Os recentes avanços nos sistemas de geração de ozônio têm diminuído a energia requerida para sua produção, resultando numa considerável redução nos custos envolvidos para sua aplicação, o que vem tornando a utilização deste processo bastante atrativa (Almeida, Assalin &



Rosa, 2004).

### **Propriedades antimicrobianas do ozônio na água**

O ozônio pode ser dissolvido em água e utilizado para desinfecção de alimentos e superfícies (Costa, 2012). O ozônio é relativamente instável em solução aquosa e apresenta meia-vida que varia de 20 a 30 min em água destilada a 20°C (Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011). A lavagem com água ozonizada está ficando mais popular hoje em dia, devido à sua alta eficácia biocida, amplo espectro antimicrobiano e ambiente amigável (Kim, 2012). Quando o ozônio se decompõe em água, os radicais livres peróxido de hidrogênio (HO<sub>2</sub>) e hidroxila (OH), que são formados têm uma grande capacidade de oxidação e desempenham um papel ativo no processo de desinfecção (USEPA, 1999). Assim, apresenta-se eficaz contra micro-organismos, incluindo bactérias gram-negativas e gram-positivas, bolores, leveduras, vírus, protozoários, inclusive formas esporuladas e cistos de protozoários, que são mais resistentes (Alexandre, Santos-Pedros, Brandão & Silva, 2011; Silva, Luvielmo, Geyer & Prá, 2011).

Devido a ser um poderoso agente oxidante, o ozônio pode ser usado para desinfecção na indústria alimentar (Zhang *et al.*, 2005; Chawla, 2006). As propriedades bactericidas do ozônio têm sido demonstradas no caso de *Listeria* Gram-positivos (*Listeria Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*) e os micro-organismos gram-negativos (por *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*), em ambos esporos e células vegetativas (Wysok *et al.*, 2006). Geralmente, no que se refere à ação ao espectro microbiano cada micro-organismo tem uma sensibilidade inerente ao ozônio. As bactérias são mais sensíveis do que as leveduras e os fungos. Bactérias gram-positivas são mais sensíveis ao ozônio do que organismos gram-negativos e os esporos são mais resistentes do que as células vegetativas (Patil, 2010). A Tabela 3 apresenta os resultados de diversos experimentos que demonstram a eficácia do ozônio na redução da população bacteriana.

O mecanismo de destruição dos micro-organismos é o que basicamente diferencia o ozônio de outros agentes. O cloro, especificamente, atua por difusão através da parede celular, agindo sobre enzimas, proteínas, DNA e RNA. O ozônio, por apresentar uma capacidade de oxidação superior, age diretamente na parede da célula, causando sua ruptura e morte em menor tempo de contato, inviabilizando a recuperação dos micro-organismos após o ataque (Chiattonne, Torres & Zambiasi, 2008).

O ozônio é parcialmente solúvel em água e, assim como a maioria dos gases, aumenta a sua solubilidade à medida que a temperatura decresce (Tabela 4) ou a mistura é pressurizada. Por esta razão, as concentrações de ozônio dissolvido geralmente não ultrapassam 5 ppm, uma vez que os tratamentos são efetuados sob condições atmosférica e temperatura próxima ao ambiente (Pezzi,



2009). A transferência do ozônio para a água inicia-se com a dispersão do gás na fase líquida, em

**Tabela 3:** Eficácia da aplicação do ozônio na redução da população bacteriana.

Bactéria	Condições do tratamento					
	Ozônio (mg/mL)	Tempo (min)	pH	Temperatura (°C)	Meio	% Redução
<i>Escherichia coli</i>	0,23-0,26	1,67	7	24	Ozônio na água em demanda livre	99,99
<i>Legionella pneumophila</i>	0,32-0,47	20	7	24	Destilada estéril	99,99
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	0,23-0,26	1,67	7	24	Ozônio na água em demanda livre	90
<i>Salmonella typhimurium</i>	0,23-0,26	1,67	7	24	Ozônio na água em demanda livre	99,98
Estreptococos fecais	2,2	19	7,5	16	Efluente	99,6

Fonte: Silva, Luvielmo, Geyer & Prá (2011)

forma de pequenas bolhas. Posteriormente, o ozônio é incorporado à massa líquida através da interface gás-líquido (Coraucci Filho *et al.*, 2003). O diâmetro das bolhas introduzidas no sistema é um fator determinante para solubilização do ozônio, portanto, é considerado o diâmetro ideal das bolhas de ozônio é de 1 a 3 mm (Khadre, Yousef & Kim, 2001).

**Tabela 4.** Relação da temperatura e solubilidade do ozônio na água

Temperatura (°C)	Solubilidade (L ozônio /L água)
0	0.640
15	0.456
27	0.270
40	0.112
60	0.000

Fonte: Wysok *et al.* (2006)

Portanto, o ozônio é muito eficaz na destruição de micro-organismos resistentes a cloro, devido a uma potência de reação de três mil vezes superior ao cloro (Xu, 1999; Dew, 2005; Chiattonne, Torres & Zambiasi, 2008; Gonçalves, 2009; Pezzi, 2009). O uso de cloro ao longo da história desta indústria provou ser ineficaz no controle do crescimento bacteriano, resultando em uma vida útil menor, e, inadvertidamente, impondo um produto químico potencialmente nocivo sobre o público consumidor (Brooks & Pierce, 1990).

Estudos têm mostrado a ação eficaz bactericida do ozônio para micro-organismos dos alimentos (*P. aeruginosa* e *Z. bailii*), contaminantes fecais (*E. coli* e *E. faecalis*) e patógenos causadores de intoxicação alimentar, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *S. typhimurium* (Wysok *et al.*, 2006).

A eficiência do ozônio foi evidenciada em vegetais e na santificação de galões de água para a redução da carga microbiana (Cardoso *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2005). No processamento do



pescado também tem sido evidenciado a eficiência do ozônio na redução da carga microbiana e no aumento de vida de prateleira (Lôbo, 2013); também foi evidenciado que a água ozonizada aplicada em camarão descascado resultou numa redução bacteriana maior do que o tratamento por pulverização (Chawla, 2006). Nos peixes, crustáceos e moluscos frescos, o ozônio também suprime odor característica que pode, por vezes, ser desagradável (Gonçalves & Paiva, 2004). Estudos avaliaram que água ozonizada foi eficaz na redução de *Staphylococcus aureus* (Velano, Nascimento, Barros & Panzeri, 2001).

Um aspecto negativo do uso de água ozonizada é seu potencial corrosivo dos componentes metálicos das linhas de lavagem e classificação, aspecto que tem inibido sua adoção por partes de empresas embaladoras (Pezzi, 2009).

### **Ozônio no processamento do pescado**

Em virtude da composição química específica (potencial hidrogênio iônico, atividade de água, nutrientes, estrutura muscular frágil e tecido conjuntivo frouxo), tem sido evidenciado que a contaminação e deterioração do pescado e de seus produtos ocorrem mais facilmente do que nas carnes de aves e mamíferos (Carvalho Filho, 2009). Fato ocorrido pela maior predisposição à multiplicação bacteriana, que pode reduzir a vida útil do produto, passando a representar risco à saúde pública (Oliveira *et al.*, 2008).

Segundo Naito (2012) as maiores concentrações de micro-organismos são encontradas no intestino, guelras e lodo. As bactérias que atacam o pescado convertem as proteínas em aminoácidos, que posteriormente são divididos em produtos finais de odor fétido. A degradação de cisteína, por exemplo, produz ácido sulfídrico, dando um cheiro de ovo podre para o pescado.

Essa deterioração tem induzido pesquisas, no desenvolvimento de métodos, para retardar o crescimento microbiano, e reduzir a deterioração, através do controle da microbiota para obter um aumento na vida de prateleira e a segurança alimentar. A segurança do pescado quanto ao padrão microbiológico é de suma importância, visto que as doenças transmitidas por alimentos têm sempre ocorrido em decorrência da falta de cuidados e controle desde a aquisição da matéria prima até a manipulação e processamento (Soares *et al.*, 2012). Segundo Hansen (2002) após o processo de filetagem há um aumento na carga microbiana e uma maneira possível para aliviar este problema é tratar cada filé com um processo de descontaminação.

Entretanto, vários métodos têm sido utilizados na redução da carga microbiana do pescado, são químicos e físicos, tais como: o cloro, o ozônio e o ultrassom, que podem ser utilizados, associados ou não a outros métodos (Oliveira *et al.*, 2008). O ozônio é uma substância antimicrobiana eficaz devido ao potencial de oxidação. No entanto, devido ao seu alto poder





sanificante, o ozônio vem ganhando espaço no processamento de alimentos pela sua rápida degradação, não deixando resíduos nos alimentos tratados (Xu, 1999; Güzel-Seydim, Greene & Seydim, 2004).

Nesse contexto, o ozônio surge como um método de desinfecção para retardar a decomposição ou como melhorar a segurança alimentar dos produtos, como também aumentar a vida de prateleira. Desta forma, a utilização da água ozonizada melhora a qualidade do produto pela redução da contaminação bacteriana (Chawla, 2006).

O ozônio melhora a qualidade e realça o sabor da maioria dos alimentos perecíveis, pois oxida os pesticidas e neutraliza os gases de amônia e etileno produzidos durante os processos de amadurecimento e decomposição (Chiattonne, Torres & Zambiasi, 2008). Decorrente dessas vantagens, o ozônio já vem sendo utilizado na manipulação e no processamento de alimentos de origem animal com promoção da higiene e manutenção do aspecto visual (Novaes *et al.*, 2012).

Vários estudos confirmam os benefícios das aplicações do ozônio na indústria alimentar (Xu, 1999). Pois, o tratamento com água ozonizada reduz a população comum de bactérias nas instalações do processamento. Tratando o peixe *in natura* e os equipamentos com ozônio, um número muito reduzido de bactérias deteriorantes foi encontrado. Além de estender a vida de prateleira nos peixes tratados (Gonçalves, 2011).

Kim *et al.* (2000) avaliaram a eficiência da aplicação em meio aquoso do ozônio em solução salina sobre filés de peixes. Nesse estudo verificou-se que o tratamento com ozônio supriu o número inicial de coliformes totais e aeróbios psicrotróficos, os resultados foram positivos, aumentando o tempo de vida de prateleira de 1,5 a 3 dias, com pequenas alterações na rancidez oxidativa e na cor. Para os filés de peixe tratados com 10 ppm de ozônio ocorreu um aumento de 25% do tempo de vida de prateleira.

Campos *et al.* (2005) investigaram a eficiência do armazenamento de sardinha (*Sardina pilchardus*) através do uso de gelo fluido ozonizado, de gelo fluido e de gelo em escamas. O produto foi armazenado por 22 dias e para avaliar as alterações ao longo da estocagem foram utilizadas análises microbiológicas, químicas e sensoriais. De acordo com a análise sensorial, as sardinhas armazenadas em gelo fluido ozonizado tiveram uma vida de prateleira de 19 dias, enquanto as sardinhas armazenadas em gelo fluido e em gelo em flocos apresentaram uma vida de prateleira de 15 e 8 dias, respectivamente. As sardinhas armazenadas em gelo fluido ozonizado apresentaram uma contagem mais baixa de aeróbios mesófilos, aeróbios psicrotróficos, anaeróbios, coliformes, micro-organismos lipolíticos e proteolíticos no músculo da sardinha, assim como, na contagem superficial de mesófilos e psicrotróficos na pele da sardinha, quando comparados com o gelo fluido e o gelo em flocos. Os parâmetros químicos revelaram que o uso de gelo fluido reduziu



a velocidade de formação de nitrogênio de bases voláteis totais (N-BVT) e de nitrogênio de trimetilamina (N-TMA). A combinação de gelo fluido ozonizado também permitiu um melhor controle do pH e da formação de N-TMA.

Campos *et al.* (2006) investigaram a eficiência do ozônio no armazenamento do linguado (*Psetta maxima*). O armazenamento do pescado em 40% de gelo e 60% de água ozonizada (0,2 ppm) confere uma vida útil de 14 dias ao produto *in natura*, enquanto que o pescado armazenado sem a adição de ozônio atinge apenas 7 dias. Além disso, cabe ressaltar que o sistema de conservação com ozônio também infere reduções significativas da atividade dos principais mecanismos responsáveis pela hidrólise e oxidação lipídica em carnes de pescado investigadas. A tabela 4 apresenta os resultados de diversos estudos que demonstram as concentrações e o tempo de contato do ozônio (O<sub>3</sub>) no pescado.

**Tabela 5.** Concentração e tempo de contato do ozônio (O<sub>3</sub>) no pescado.

Ozônio	O <sub>3</sub> conc. (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de contato	Produto	Finalidade do uso	Referência
Água do mar refrigerada ozonizada	8.0	7 dias	Bacalhau do atlântico	Melhoria de vida armazenadas	Ravesi <i>et al.</i> (1987)
Gelo ozonizado	0.6	20 dias	Bacalhau do atlântico	Melhoria de vida armazenadas	Ravesi <i>et al.</i> (1987)
Água ozonizada	5.0-12.0	20-30 min	Bagre	Melhoria na vida de prateleira	Brooks & Pierce (1990)
Água ozonizada refrigerada	5.0	5 min	Salmão	Melhoria na vida de prateleira	Mairs <i>et al.</i> (1999)
Água ozonizada	5.00/10.0	10 min	Filé de bagre	Perfil microbiológico e melhoria na vida de prateleira	Kim <i>et al.</i> (2000)
Água ozonizada	1,33	2 min	Filé de salmão	Qualidade microbiológica	Hansen (2002)
Água ozonizada	6.0	60 min	Tilápia viva	Pré-tratamento do peixe vivo	Gelman <i>et al.</i> (2005)
Pasta de gelo ozonizada	0.17	22 dias	Sardinha	Qualidade sensorial e microbiológica - Armazenamento	Campos <i>et al.</i> (2005)
Pasta de gelo ozonizada	0.2	35 dias	Linguado	Melhoria de vida armazenadas	Campos <i>et al.</i> (2006)
Exposição ao ozônio gasoso	0.1	20 min	Salmão-truta (processamento a fumaça fria)	Perfil microbiológico ( <i>Listeria innocua</i> )	Vaz-Velho <i>et al.</i> (2006)
Floco de gelo ozonizado	2	14 dias	Aeeiro ( <i>Lepidorhombus whiffiagonis</i> )	Conservação de peixe fresco (manutenção da qualidade)	Pastoriza <i>et al.</i> (2008a)
Água ozonizada e floco de gelo	2	18 dias	Pescada ( <i>Merluccius merluccius</i> )	Conservação de peixe fresco (manutenção da qualidade)	Pastoriza <i>et al.</i> (2008b)
Sprays de Ozônio	1 .0-1.5	-	Filé de Salmão	Segurança microbiana ( <i>L. monocytogenes</i> )	Crowe <i>et al.</i> (2012)

## Conclusões

Proteção de qualidade e particularmente a segurança durante o processamento e armazenamento do pescado é importante. Patógenos e bactérias nocivas estão presentes em órgãos internos e na superfície da pele podendo facilmente contaminar a carne durante as etapas de



processamento. Além disso, a contaminação cruzada nas carcaças e sujidade da água e equipamentos de processo aumenta o nível de contaminação nas etapas de processamento.

A aplicação de ozônio é uma tecnologia importante na área de processamento do pescado e pode ser alternativa viável como agente sanitizante do peixe. Tem sido utilizado e recomendado para aumentar a vida útil de pescados, devido apresentar certas características sanitizantes atraentes, por ser um dos desinfetantes mais eficazes, seguro e potente do que os desinfetantes convencionais, destruindo micro-organismos e oxidando pesticidas sem deixar resíduos tóxicos, assim constituindo-se em excelente alternativa para substituir o cloro.

As evidências empíricas dos dados informam os benefícios para o setor de processamento de peixe. Contudo, o ozônio apresenta um grande potencial na indústria de processamento do peixe garantindo uma qualidade, a segurança e aumento de vida de prateleira. Entretanto, a aplicação de ozônio em pescado ainda depende de legislação específica e estudos com variadas espécies, para garantir sua adição em concentração adequada e, assim, cumprir sua função como agente sanitizante, sem alterar e/ou danificar as características do alimento. O custo de instalação dos geradores de ozônio é elevado, o que representa uma barreira para sua difusão e intensificação de uso.

## Referências

- Alexandre, E.M.C., Santos-Pedro, D.M., Brandão, T.R.S. & Silva, C.L.M. (2011). Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. *Journal of Food Engineering*, 105(1): 277-282.
- Almeida, E., Assalin, M.R. & Rosa, M.A. (2004). Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Química Nova*, 27(5): 818-824.
- Bataller, M.O., Fernández, L.A. & Véliz, E. (2010). Eficiencia y sostenibilidad del empleo del ozono en la gestión de los recursos hídricos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(1): 85-95.
- Brooks, G.M. & Pierce, S.W. (1990). Ozone applications for commercial catfish processing. In: *Annual Tropical and Subtropical Fisheries Technological Conference of the Americas*, (pp 2-5). Orlando: Anais ATSFTCA, 15.
- Campos, C.A., Losada, V., Rodríguez, O., Aubourg, S.P. & Barros-Velazquez, J. (2006). Evaluation of ozone-slurry ice combined refrigeration system for the storage of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Food Chemistry*, 97(2): 223-230.
- Campos, C.A., Rodriguez, O., Losada, V., Aubourg, S.P. & Barros-Velazquez, J. (2005) Effects of storage in ozonized slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine. *International Journal of Food Microbiology*, 103(2): 121-130.



- Cardoso, C.C., Veiga, S.M.O.M., Nascimento, L.C., Fiorini, J.E. & Amaral, L.A. (2003) Avaliação microbiológica de um processo de sanificação de galões de água com a utilização do ozônio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23(1): 59-61.
- Carvalho Filho, D.U. (2009). *Avaliação da qualidade de fishburger de tilápia (Oreochromis sp) em diferentes concentrações de farinha de trigo*. [Dissertação de Mestrado]. Teresina (PI): Universidade Federal do Piauí, 26 p.
- Chawla, A.S. (2006). Application of ozonated water technology for improving quality and safety of peeled shrimp meat. [Dissertação de Mestrado]. Índia: Gujarat Agricultural Univeristy, 111 p.
- Chiattonne, P.V., Torres, L.M. & Zambiasi, R.C. (2008). Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, 19(3): 341-349.
- Coraucci Filho, B. et al. (2003). *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, RIMA 438 p.: il. Projeto PROSAB.
- Costa, A. R. (2012). *Ozônio como agente fungicida na pós-colheita do mamão (Caricapapaya L.)*. [Dissertação de Mestrado]. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa, 87 p.
- Crowe, K.M., Skonberg, D., Bushway, A. & Baxter, S. (2012). Application of ozone sprays as a strategy to improve the microbial safety and quality of salmon fillets. *Food Control*, 25(2): 464-468.
- Dew, T.S. (2005). *Ozone degradation of off-flavors in catfish*. [Dissertação de Mestrado]. Louisiana: University of Lousiana, 77 p.
- Gelman, A., Sachs, O., Khanin, Y., Drabkin, V. & Glatman, L. (2005). Effect of ozone pretreatment on fish storage life at low temperatures. *Journal of Food Protection*, 68(4):778-784.
- Gonçalves, A.A. (2009). Ozone – an emerging technology for the seafood industry. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(6): 1527-1539.
- Gonçalves, A.A. (2011). *Processos Oxidativos Avançados (Ozônio)*, In: Gonçalves, A.A. (Ed.). *Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação* (pp.500-512). São Paulo: Ed. Atheneu.
- Gonçalves, A.A. & Paiva, F.G. (2004). El ozono como agente antiséptico en la industria pesquera. *Infopesca Internacional*, 31(1):345-367.
- Graham, D. M. (2000). *Ozone as an antimicrobial agent for the treatment, storage and processing of foods in gas and aqueous phases*. Direct Food Additive Petition, The Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, 380 p.
- Guzel-Seydim, Z.B., Greene, A.K. & Seydim, A.C. (2004) Use of ozone in food industry. *LWT - Food Science and Technology*, 37(1): 453-460.
- Hansen, J.K. (2002). *Application of ozone as a disinfectant for commercially processed seafood*.



- [Master of Science (M.S.) in Food Science and Technology]. Corvallis (OR): Oregon State University, 139 p.
- Khadre, M.A., Yousef, A.E. & Kim, J.G. (2001). Microbiological aspects of ozone applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*, 66(9): 45-54.
- Kim, J. G. (2012). *Environmental Friendly Sanitation to Improve Quality and Microbial Safety of Fresh-Cut Vegetables*. Biotechnology – Molecular Studies and Novel Applications for Improved Quality of Human Life, Prof. Reda Sammour (Ed), Chap 11, p. 173-196.
- Kim, T.J., Silva, J.L., Chamul, R.S. & Chen, T.C. (2000). Influence of ozone, hydrogen peroxide, or salt on microbial profile, TBARS and color of channel catfish filets. *Journal of Food Science*, 65(7): 1210-1213.
- Lôbo, A.S.M.T. (2013). *Água Ozonizada (O<sub>3</sub>) no controle de Salmonella entérica Typhimurium em carne Resfriada de Jacaré do Pantanal (Cayman crocodilos yacare)*. [Dissertação de Mestrado]. Cuiabá (MT): Universidade Federal de Mato Grosso.
- Mahmoud, A. & Freire, R.S. (2007). Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. *Química Nova*, 30(1): 198-205.
- Mairs, P., Nash, B., Blakistone, B., Yuan, J. & Bolton, G. (1999). *Evaluation of ozone as a disinfectant agent to enhance the quality and extended the shelf life of raw, vacuum-packed fish*. Project North Carolina Fishery Resource Grant Program (FRG 99-ST-04), 37p.
- Mondardo, R.I., Senz, M.L. & Melo Filho, L.C. (2006). Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11(4): 337-342.
- Naito, S. (2012). *Ozone in seafood processing*. In: O'donnel, C., Tiwari, B.K., Cullen, P.J. & Rice, R.G., *Ozone in food processing*. Blackwell Publishing Ltd., pp. 137-162.
- Novaes, S. F. *et al.* (2012). Influência das novas tecnologias de conservação sobre os alimentos de origem animal. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 10(19): 21 p.
- Oliveira, N.M.S., Oliveira, W.R., Nascimento, L.C., Silva, J.M.S.F., Vicente, E., Fiorini, J.E. & Bressan, M.C. (2008). Avaliação físico-química de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetidos à sanitização. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(1):83-89.
- Pastoriza, L., Bernárdez, M., Sampedro, G., Cabo, M.L. & Herrera, J.J.R. (2008a). The use of water and ice with bactericide to prevent on board and onshore spoilage of refrigerated megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*). *Food Chemistry*, 110 (1): 31-38.
- Pastoriza, L., Bernárdez, M., Sampedro, G., Cabo, M.L. & Herrera, J.J.R. (2008b). Use of sterile and ozonized water as a strategy to stabilize the quality of stored refrigerated fresh fish. *Food Control*, 9(8): 772-780.
- Patil, S. (2010). *Efficacy of Ozone and Ultrasound for Microbial Reduction in Fruit Juice*. [Tese de Doutorado]. Dublin (Irlanda): Dublin Institute of Technology, 274 p.



- Pezzi, E. (2009). *O uso do ozônio como sanitizante em pós-colheita de produtos agrícolas*. [Monografia]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 37 p.
- Pirani, S. (2010). *Application of ozone in food industries*. [Tese de Doutorado]. Milano (Itália): Università Degli Studi di Milano, 133 p.
- Ravesi, E.M., Licciardello, J.J. & Racicot, L.D. (1987). Ozone treatments of fresh Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Marine Fisheries Review*, 49(4): 37-42.
- Rong, C., Qi, L., Bang-Zhong, Y. & Lan-Lan, Z. (2010) Combined effect ozonated water and chitosan on the shelf life of pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1): 108-112.
- Silva, S.B., Luvielmo, M.M., Geyer, M.C. & Prá, I. (2011) Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(2): 659-682.
- Soares, K.M.P., Gonçalves, A.A.; Souza, L.B. & Silva, J.B.A. (2012). Pesquisa de *Staphylococcus aureus* em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) armazenada em gelo. *Acta Veterinária Brasilica*, 6(3): 239-242.
- Summerfelt, S.T. & Hochheimer, J.N. (1997) Review of Ozone Processes and Applications as an Oxidizing Agent in Aquaculture. *The Progressive Fish-Culturist*, 59(2): 94-105.
- Suslow, T.V. (2003). Basics of ozone applications for postharvest treatment of fresh produce. *Perishables Handling*, 94: 9-11.
- Tiwari, B.K. & Rice, R.G. (2012). *Regulatory and Legislative Issues*. In: O'donnel, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J. & Rice, R. G., *Ozone in food processing* (pp.7-17). Blackwell Publishing Ltd.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection*. 832-F-99-063.
- Vaz-Velho, M., Silva, M., Pessoa, J. & Gibbs, P. (2006). Inactivation by ozone of *Listeria innocua* on salmon trout during cold-smoke processing. *Food Control*, 17(1): 609-616.
- Velano, H.E., Nascimento, L.C., Barros, L.M., Panzeri, H. (2001). Avaliação *in vitro* da atividade antibacteriana da água ozonizada frente ao *Staphylococcus aureus*. *Pesquisa Odontológica Brasileira*, 15(1): 18-22.
- Wysok, B., Uradziński, J. & Gomó ka-Pawlicka, M. (2006) Ozone as an alternative disinfectant - *Rev. Pol. J. Fd. Nutr. Sci.*, 15/56 (1): 3–8.
- Xu, L. (1999). Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Food Technology*, 53(10):58-62
- Zhang, L., Zhaoxin, L., Zhifang, Y. & Xiang, G. (2005). Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. *Food Control*, 16(1): 279-283.