

# APLICAÇÃO DO OZÔNIO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Priscila Vasconcellos CHIATTONE\*  
Lisiane Mendes TORRES\*  
Rui Carlos ZAMBLAZI\*\*

■ **RESUMO:** Realizou-se um levantamento de dados disponíveis sobre o ozônio, enfocando suas propriedades físico-químicas, métodos de síntese e medição, estabilidade em meio aquoso, poder germicida, efeitos sobre a saúde humana e vantagens de sua aplicação na indústria alimentícia, em que se destaca na higienização e sanitização de produtos e equipamentos, bem como no tratamento de efluentes. O ozônio é uma molécula fortemente oxidante e reativa, conhecido e utilizado há décadas como coadjuvante na desinfecção da água em países da União Européia. Além disso, uma gama de aplicabilidades tem surgido para o ozônio, sobretudo devido aos novos conhecimentos quanto às suas características e propriedades. Por ser bactericida, investigações de sua atuação sobre uma grande variedade de microrganismos, na forma de células vegetativas ou esporos, em ambientes industriais e também nos alimentos, têm despertado atenção especial de pesquisadores de todo o mundo. A importância em estudar o ozônio na indústria alimentícia baseia-se no aspecto de tratar-se de uma molécula que se decompõe facilmente sem deixar resíduos, podendo ser aplicado em alimentos, sem risco de toxidez para os consumidores.

■ **PALAVRAS-CHAVE:** Ozônio; efeito bactericida; indústria de alimentos.

## INTRODUÇÃO

O ozônio é permitido na Europa, como desinfetante de água para o consumo humano desde 1893. Nos Estados Unidos, apenas em 1982 o FDA (*Food and Drug Administration*), por considerá-lo substância GRAS (*Generally Recognized as Safe*), liberou seu uso no processo de lavagem de garrafas para comercialização de água.<sup>40</sup> No entanto, como agente conservante de alimentos seu primeiro uso foi em 1909, na forma gasosa, em câmaras frias de estocagem de carnes. De qualquer modo, o ozônio, como desinfetante, não atingiu maiores proporções na indústria de alimentos, principalmente, devido ao seu custo em relação a outras substâncias como, por exemplo, o cloro, que, por ser barato e eficiente, passou a ser o agente primordial na indústria mundial para esse fim. O problema

é que os compostos clorados vêm sofrendo restrições desde 1975, quando se descobriu que sua aplicação em materiais orgânicos pode gerar compostos organoclorados (Trihalometanos – THM) os quais são potencialmente cancerígenos.<sup>46</sup> O reconhecimento oficial do ozônio como agente sanificante seguro, que se deu em 1997 pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*), criou oportunidades adicionais para a sua aplicação na indústria de alimentos e outros setores.<sup>16, 40, 50</sup> Como consequência, ainda em 1997, foi aprovada pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos a utilização legal de ozônio na água usada na lavagem de carcaças da indústria de processamento de frangos. No Brasil, entretanto, o emprego de ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo até o momento uma legislação específica para seu uso em alimentos.

Sabe-se que o ozônio exerce forte efeito germicida devido ao seu alto potencial oxidante,<sup>14, 23, 24</sup> e que sua aplicação na indústria de alimentos apresenta vantagens na higienização de alimentos,<sup>1,7,8,9,10,11,31,45</sup> no tratamento de água para reuso,<sup>25,32</sup> no tratamento de efluentes,<sup>4,5,13</sup> na redução da demanda química e bioquímica de oxigênio, na redução de trihalometanos (THM's), na remoção de ferro e manganês solúveis e na remoção de gostos e odores indesejáveis.<sup>16</sup> Além disso, o ozônio tem sido utilizado em torres de resfriamento de água para reduzir a formação de incrustações; como agente branqueador de compostos orgânicos; no armazenamento e conservação de pescado; na forma de gelo ozonizado; na desodorização de ambientes; em lavanderias hospitalares, com fins de reduzir custos em energia para esterilização; na odontologia, como tratamento alternativo de cáries; e, na medicina, em Ozonoterapia.<sup>14</sup> A multifuncionalidade do ozônio faz dele um agente promissor não só na indústria alimentícia como também em diversas outras atividades, sobre as quais muitos estudos vêm sendo desenvolvidos. Em função de seu potencial, esta revisão aborda alguns aspectos da utilização do ozônio, tais como, propriedades físico-químicas, síntese, estabilidade em meio aquoso, métodos de medição, potencial germicida, aplicabilidade nas indústrias alimentícias e efeito na saúde humana.

\* Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial – Curso de Doutorado – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas – 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil.

\*\* Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas – 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil.

## PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

O ozônio ( $O_3$ ) é uma forma alotrópica instável do oxigênio ( $O_2$ ), o qual foi descoberto pelo pesquisador europeu Schönbein, que, em 1839, produziu ozônio sintético a partir da eletrólise do ácido sulfúrico.<sup>22, 23</sup> A composição química do ozônio, caracterizada pela forma triatômica do oxigênio (Figura 1), foi estabelecida em 1872. Os três átomos de oxigênio da molécula do ozônio estão arranjados em ângulo obtuso, onde o oxigênio central é ligado a dois átomos de oxigênio equidistantes. O ozônio é cerca de cinquenta por cento mais denso que o oxigênio, apresenta-se como um gás incolor e de odor pungente, tem massa molecular igual a 48 uma, liquefaz-se a  $-112^\circ C$ , possui ponto de congelamento de  $-251,4^\circ C$ , e sua decomposição ocorre rapidamente, sendo uma reação explosiva quando em temperaturas acima de  $100^\circ C$ , ou ambiental, na presença de catalisadores.<sup>23, 24</sup>

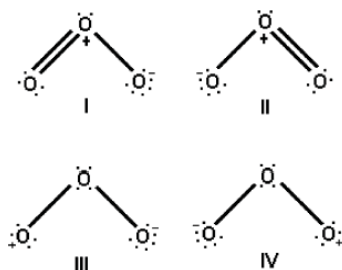


FIGURA 1 – Estrutura do ozônio molecular.  
Fonte: Guzel-Seydim et al.<sup>16</sup>

Diferentemente do oxigênio que respiramos, o ozônio é instável e muito reativo. Assim, para sua utilização comercial, o ozônio deve ser produzido no local, pois, devido a sua instabilidade, não é possível armazená-lo.<sup>24</sup>

## SÍNTESE

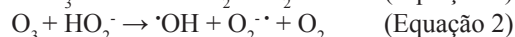
Os principais métodos para a síntese do ozônio consistem na exposição do  $O_2$  à luz ultravioleta a 185nm e pela descarga eletroquímica.<sup>4, 14, 17, 23</sup> Na formação do ozônio, o oxigênio molecular é dissociado e o oxigênio livre re-

sultante reage com outro oxigênio diatômico para formar a molécula triatômica de ozônio. Portanto, para quebrar a ligação O-O requer-se uma grande energia.

Na síntese de ozônio pelo método da luz ultravioleta, os átomos de oxigênio formados na fotodissociação do  $O_2$  pela baixa radiação ultravioleta reagem com o  $O_2$  para formar a molécula de ozônio. O método de descarga eletroquímica, conhecido como efeito corona, é o mais utilizado, pois gera uma quantidade maior de ozônio com menor custo.<sup>4, 23</sup> No efeito corona, o ozônio é gerado quando uma corrente alternada de alta voltagem é descarregada na presença de oxigênio<sup>4, 14, 16, 23</sup> (Figura 2). Um exemplo característico desse efeito é o que ocorre na natureza quando, em dias de tempestade, há grande produção de ozônio na atmosfera, devido às elevadas descargas elétricas provenientes dos relâmpagos. O gerador artificial de ozônio reproduz, de forma controlada e eficaz, este fenômeno natural, aliando alta tecnologia na área de materiais e eletroeletrônica avançada.<sup>37</sup>

## ESTABILIDADE EM MEIO AQUOSO

Sabe-se que, em fase aquosa, o ozônio é relativamente instável e decompõe-se facilmente na forma do oxigênio molecular (Equações 1 e 2).



A estabilidade do ozônio em solução aumenta com a acidificação e redução de temperatura<sup>4, 23, 24, 48, 44</sup> (Tabela I).

Tabela 1 – Relação da temperatura e da solubilidade do ozônio em água.

Temperatura ( $^\circ C$ )	Solubilidade (litros ozônio/litros água)
0	0,640
15	0,456
27	0,270
40	0,112
60	0,000

Fonte: Rice et al.<sup>32</sup>

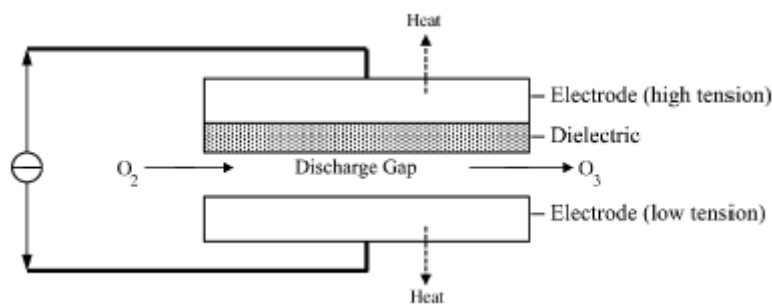


FIGURA 2 – Síntese de ozônio pelo método de descarga elétrica.  
Fonte: Guzel-seydim et al.<sup>16</sup>

A taxa de solubilização do ozônio depende do tamanho das bolhas do gás que borbulham na água, pois quanto menores as bolhas formadas, maior a superfície de contato. O tamanho mais adequado deve variar entre 1 e 3mm de diâmetro. A taxa de fluxo do ozônio e o tempo de contato também afetam a transferência do gás para a água. A agitação da amostra incrementa o contato e a solubilização.<sup>23</sup>

## MEDIÇÃO DE OZÔNIO

Vários métodos são utilizados para quantificar o ozônio. Esses métodos podem ser classificados em físicos, químicos e físico-químicos. Os métodos físicos medem a capacidade de adsorção de radiações no espectro visível, UV ou Infravermelho.<sup>23</sup> Os métodos químicos medem a formação de produtos quando o ozônio reage com substâncias como o iodeto de potássio (KI) ou iodeto de hidrogênio (HI). Os métodos físico-químicos medem o efeito físico da reação do ozônio com substâncias químio luminescentes (luminol, acedim), onde se mede a luz produzida por oxidação química, o que confere maior sensibilidade ao método.<sup>9, 23, 37</sup>

O método colorimétrico do índigo, desenvolvido por Bader & Hoigné,<sup>6</sup> é o método padrão para medida da concentração em experimentos com ozônio. Aceito mundialmente pelo EPA (*Environmental Protection Agency*),<sup>41</sup> é o único método a constar no *Standards methods for the examination of water and wastewater*.<sup>38</sup> Sensível, preciso e rápido, o método do índigo é mais seletivo para o ozônio que os outros métodos. Esse método está baseado na oxidação do corante índigo pela molécula do ozônio, causando redução na intensidade da cor azul.<sup>23, 38</sup>

## EFEITO GERMICIDA

O efeito antimicrobiano do ozônio tem sido estudado e documentado para uma ampla variedade de microrganismos, incluindo bactérias Gram positivas e negativas, esporos e células vegetativas.<sup>14,16</sup> Geralmente, essa substância é mais efetiva contra células vegetativas de bacté-

rias do que em esporos ou fungos (da mesma forma que as bactérias Gram negativas são mais sensíveis ao ozônio do que as Gram positivas<sup>23</sup>). O ozônio tem demonstrado ser eficaz na destruição de espécies de vírus, dentre os quais a encefalomielite venezuelana equina, hepatite A, influenza A, estomatite vesicular e rinotraqueíte.<sup>17, 24</sup>

A inativação de bactérias pelo ozônio é um processo complexo, pois o ozônio ataca vários constituintes celulares como proteínas, lipídios insaturados e enzimas da membrana celular, peptoglicanas da parede celular, enzimas e ácidos nucleicos do citoplasma; além de proteínas e peptoglicanas da capa dos esporos bacterianos e capsídeos virais.<sup>23</sup> Dessa maneira, o que basicamente diferencia o ozônio de outros agentes desinfetantes é seu mecanismo de destruição dos microrganismos. O cloro, especificamente, atua por difusão através da parede celular, agindo sobre os elementos vitais localizados no interior da célula, como 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 microrganismos após o ataque (Figura 3). Com isso, dependendo do tipo de microrganismo, o ozônio pode agir até 3.125 vezes mais rápido do que o cloro na inativação celular.<sup>37</sup>

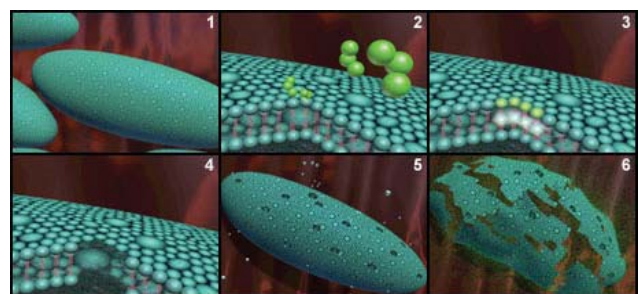


FIGURA 3 – Mecanismo de ação do ozônio nos microrganismos.

1. Bactéria; 2. Parede celular em contato com ozônio; 3. Oxidação da parede celular da bactéria; 4, 5 e 6. Ruptura e destruição da bactéria.

Fonte: Snatural.<sup>37</sup>

Tabela 2 – Poder oxidante relativo de desinfetantes.

Substâncias Desinfetantes	Potencial de Oxidação (Volts)	Poder relativo de Oxidação *
Ozônio	2,07	1,52
Peróxido de hidrogênio	1,77	1,30
Hipoclorito	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00

\* Baseado no cloro como referência (=1,00)

Fonte: Snatural.<sup>37</sup>

Dentre as substâncias desinfetantes mais empregadas na indústria de alimentos, o ozônio possui o maior poder de oxidação, superando inclusive, o peróxido de hidrogênio, o hipoclorito e o cloro<sup>24, 37</sup> (Tabela 2).

Por ser uma molécula altamente reativa, a oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos – durante o processo de ozonização – pode ocorrer via ozônio molecular, através de uma reação direta (predominante em meio ácido) ou via radical hidroxila, por meio de uma reação indireta (predominante em meio alcalino).<sup>24</sup> Porém, na prática, a oxidação de compostos não ocorre de uma só maneira, havendo a contribuição desses dois mecanismos, simultaneamente. Assim, na reação direta ocorre o ataque eletrofílico do ozônio molecular aos compostos que contêm ligações do tipo C=C, a alguns grupos compostos com funcionais específicos (OH, CH<sub>3</sub> e OCH<sub>3</sub>), e outros contendo átomos que apresentam densidade de carga negativa (N, P, O e S). A reação indireta, no entanto, não é seletiva, sendo capaz de promover um ataque aos compostos orgânicos 10<sup>6</sup>-10<sup>9</sup> vezes mais rápido que outros agentes oxidantes conhecidos, como o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ou mesmo o próprio ozônio na reação direta. O radical hidroxila (\*OH) pode reagir através de três mecanismos: 1) abstração de hidrogênio; 2) transferência de elétrons; e 3) pela adição de radicais O<sub>3</sub>.<sup>27</sup> Cada uma das formas oxidantes assume diferentes graus de importância em função da aplicação específica utilizada. Enquanto processos de desinfecção ocorrem predominantemente via ozônio molecular, processos de oxidação podem ocorrer tanto por meio do ozônio molecular como via radical hidroxila.<sup>4</sup>

O cloro, embora mais conhecido e amplamente utilizado, pode gerar subprodutos prejudiciais à saúde humana, além de não mostrar eficiência no combate de microrganismos como a *Giardia lamblia* e o *Cryptosporidium parvum*, dentre outros.<sup>5</sup>

Um estudo comparativo entre o ozônio e o peróxido de hidrogênio, comparando-se a efetividade esporicida em oito cepas de esporos de *Bacillus spp* – *B. subtilis* OSU494, *B. subtilis* OSU848, *B. subtilis var niger* ATCC 9372, *B. subtilis* ATCC 19659, *B. cereus* OSU11, *B. polymyxa* OSU443, *B. megaterium* OSU125, e *B. stearothermophilus* OSU24 –, demonstrou que 11ppm (0,0011%) de ozônio em água reduziram a contagem de esporos em 6,1 ciclos logarítmicos, enquanto que a solução de peróxido de hidrogênio a 100.000ppm (10%) conferiu uma redução de, no máximo, 1,6 ciclos logarítmicos.<sup>21</sup> Essa comprovação assegura a eficiência do ozônio como substituto do cloro e do peróxido de hidrogênio na indústria de alimentos.<sup>22</sup>

O esporo mais resistente ao ozônio é o de *Bacillus subtilis*,<sup>49</sup> que serve como indicador de eficiência do processo do ozônio como sanificante de alimentos. Agentes oxidantes, como ozônio e peróxido de hidrogênio, provavelmente agem na eliminação de esporos através da degradação de seus componentes externos (Figura 4), expondo seu interior à ação sanificante.<sup>21</sup>

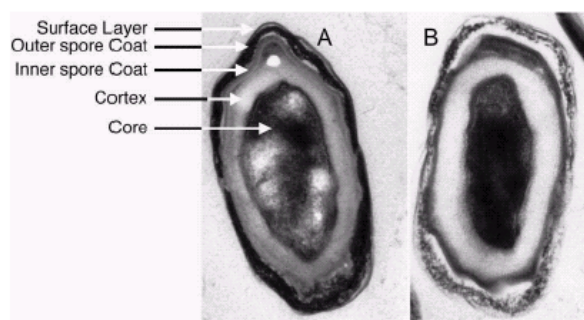


FIGURA 4 – Imagem de esporo de *B. subtilis* OSU494 por microscopia de transmissão de elétrons. (A) controle; (B) esporo exposto à ação do ozônio. Os esporos tratados com ozônio foram submetidos ao tratamento com água ozonizada (10ppm) a 22°C por 1 min, seguido pela neutralização com tiosulfato de sódio. Note que as duas camadas externas são as estruturas aparentemente mais atingidas pelo ozônio.

Fonte: Khadre & Yousef.<sup>21</sup>

## USO NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

O ozônio vem ganhando espaço no processamento de alimentos devido ao seu alto poder sanificante e pela sua rápida degradação, não deixando resíduos nos alimentos tratados. Essas propriedades intrínsecas permitem a ingestão de alimentos ozonizados sem riscos à saúde.<sup>18, 25, 33</sup> Decorrente dessas vantagens, o ozônio já vem sendo utilizado na manipulação e no processamento de alimentos de origem vegetal e animal com garantia na higiene, cor, odor e aspecto visual, sem deixar resíduos que possam provocar reações indesejáveis.

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.<sup>20</sup> Os pesticidas *methylparathion*, *parathion*, *diazinon* e *cypermethrin*, largamente utilizados em frutas, são totalmente oxidados pelo ozônio em concentrações de 1,4ppm por cinco minutos.<sup>47</sup>

Com o objetivo de conservar os alimentos, o ozônio pode ser utilizado na forma gasosa em câmaras frigoríficas, silos e depósitos de alimentos, protegendo e conservando cereais, frutas, hortaliças, carnes e laticínios. Como a maioria das perdas pós-colheita e as perdas decorrentes da manipulação excessiva de alimentos ocorrem por ação de bactérias, fungos e infestações por insetos, a injeção direta de gás ozônio em depósitos mantém o ambiente limpo e esterilizado, mesmo quando há altos índices de calor e umidade, o que assegura maior tempo de armazenamento e vida útil dos alimentos. De outra maneira, o ozônio pode também ser utilizado dissolvido em água na lavagem de alimentos, a exemplo do que ocorre nos Estados Unidos na etapa de lavagem de carcaças de frangos, em abatedouros frigoríficos.<sup>43</sup>

O tratamento com ozônio, tanto na forma líquida quanto gasosa, interfere significativamente no tempo de vida útil dos alimentos.<sup>45</sup> O gás ozônio produz desinfecção da água proveniente de esgoto em apenas dois minutos, a qual pode ser reutilizada para irrigação em pequenas propriedades agrícolas, e na lavagem de vegetais e leguminosas destinados ao consumo na forma cozida.<sup>5</sup>

A exposição de champignons (*Agaricus bisporus*) a um ambiente contendo 100ppm de gás ozônio durante 0, 15 e 30 minutos causa menor escurecimento externo e um retardamento do escurecimento interno no armazenamento em bandejas de poliestireno.<sup>12</sup> Por outro lado – e de forma positiva –, essas concentrações de ozônio não causaram efeitos perceptíveis nas características de textura, maturação e perda de peso dos champignons. Em outro estudo, Yuk et al.,<sup>51</sup> ao avaliarem as condições microbianas também em champignons, obtiveram uma redução de 0,94 e 0,34 Log na contagem de *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*, respectivamente, ao utilizarem 3ppm de ozônio durante cinco minutos. Índices ainda maiores de redução da carga microbiana foram obtidos quando uma solução de tratamento combinado, contendo 3ppm (0,0003%) de ozônio e 10.000ppm (1%) de ácido cítrico foi aplicada aos espécimes: 2,26 Log para *E. coli* e 1,33 Log para *L. monocytogenes*.<sup>43</sup> Da mesma forma, Singh et al.<sup>36</sup> encontraram melhores resultados com tratamentos combinados. O uso isolado de ozônio (0; 5,2; 9,7 e 16,5 mL.L<sup>-1</sup>), óleos essenciais (0; 0,1; 1,0 e 10,0 mL.L<sup>-1</sup>) ou mesmo ClO<sub>2</sub> (0; 5; 10 e 20 mg.L<sup>-1</sup>) no processo de lavagem de alface e cenouras não foi eficaz para a obtenção de uma redução significativa na contagem de *Escherichia coli* O157:H7. Porém, lavagens seqüenciais de uma mesma amostra com esses três tipos de sanificantes foram capazes de reduzir a contagem dessa bactéria em até 4,28 unidades logarítmicas. Singh et al.<sup>35</sup> também relataram uma maior eficiência desse mesmo tratamento combinado para controle microbiano de sementes de alfafa. A lavagem das sementes com água ozonizada a 14ppm reduz a contagem de *Escherichia coli* O157:H7 em 0,87 unidades Log, enquanto que a combinação de óleos essenciais (1,0; 2,5 e 5,0 mL.L<sup>-1</sup>), ozônio (4,60; 9,27 e 14,3 mg.L<sup>-1</sup>) e ClO<sub>2</sub> (10; 25 e 50 mg.L<sup>-1</sup>) inferiram em uma redução na contagem de até 3,32 Log UFC.g<sup>-1</sup>, quando utilizados nas maiores concentrações. Em contrapartida, há autores<sup>1</sup> que obtiveram resultados diferentes, já que seus melhores resultados foram obtidos com o uso isolado de ozônio (1,45L.min<sup>-1</sup>), quando este era aplicado na água de lavagem de maçãs, ocasionando uma redução da carga de *Escherichia coli* de até 3,7 Log.

Expondo pistaches ao ozônio gasoso (0,1; 0,5; e 1,0ppm) em ambiente a 20°C e 70% de umidade relativa do ar, Akbas & Ozdemir<sup>2</sup> concluíram que a eficiência deste gás na redução da contagem da *Escherichia coli* e *Bacillus cereus* aumenta proporcionalmente ao tempo de exposição e concentração. Apenas 1ppm de ozônio foi suficiente para reduzir, na polpa e na casca de pistaches, 3,5 Log de UFC g<sup>-1</sup> de *Escherichia coli* e 3 Log de UFC g<sup>-1</sup> de *Bacillus cereus*, sem qualquer alteração nas suas propriedades fisi-

co-químicas (pH, ácidos graxos livres, índice de peróxidos, cor e composição de ácidos graxos).

No âmbito da armazenagem de grãos, ainda que limitado a estudos laboratoriais e experimentais, o uso do ozônio também tem se mostrado uma eficiente ferramenta de ajuda na conservação.<sup>19, 34</sup> O ozônio pode substituir, em muitos casos, o controle químico de insetos e pragas e, dessa forma, evitar o uso de inseticidas como piretróides, organofosforados e fumigantes (como a fosfina – PH<sub>3</sub>), os quais apresentam atividade nociva ao organismo humano, quando ingeridos e manipulados em excesso. Do ponto de vista operacional, essa tecnologia é bastante segura e de fácil execução, pois é um sistema que atua com fluxo contínuo e não requer absoluta precisão no controle de volume, além de ser ambientalmente limpo e eficaz no controle de parasitas, sobretudo em grãos armazenados.<sup>11</sup> Nesse sentido, resultados de pesquisas conduzidas na Universidade Federal de Viçosa (UFV) indicam o controle de 95% dos insetos-praga *Sitophilus zeamais* (caruncho dos cereais) e *Tribolium castaneum* (besouro dos cereais), em um período de 24h e 64h, respectivamente, onde, em uma quantidade de grãos armazenados a 25°C, os insetos foram expostos diretamente ao gás ozônio numa concentração de 50ppm. Assim, o tempo de exposição necessário para o controle das pragas depende de fatores como a temperatura da massa de grãos e a camada em que os insetos estão localizados, ou seja, a proximidade do alvo ao ponto de injeção do gás é um fator bastante importante.<sup>34</sup>

A água ozonizada pode ser utilizada também para lavar grãos duros de trigo, reduzindo a contagem total de bactérias, mofo e fungos sem afetar a qualidade de sua farinha.<sup>19</sup> Além disso, o poder oxidante do ozônio tem sido usado como um potente agente no tratamento para sanificar a superfície de carne bovina, pois a oxidação causa danos irreversíveis aos ácidos adiposos da membrana e às proteínas celulares dos microrganismos.<sup>15,39</sup> Segundo Reagan et al.,<sup>30</sup> água ozonizada a 2,3ppm em carcaças de bovinos ocasiona uma redução de 1,3 log UFC/g de bactérias mesófilas aeróbias encontradas superficialmente.

Concentrações de ozônio de 0,5 e 1,0ppm utilizadas na sanificação de carne bovina maturada são significativas para reduzir bactérias mesófilas em 0,81 e 0,95 ciclos logarítmicos, respectivamente. No entanto, o tratamento torna-se mais eficaz em combinação com o ácido ascórbico (0,2 e 0,5%), chegando a uma redução de 1,34 log UFC/g (1,0ppm e 0,5% ácido ascórbico).<sup>10</sup> Ainda, ao submeter carne finamente dividida com um banho de água ozonizada de 2ppm a 7,2°C durante 15 minutos, observou-se uma redução de 0,44, 0,78 e 0,57 ciclos log de UFC/g de Coliformes, *Salmonella typhimurium* e da microbiota psicrotrofica, respectivamente.<sup>35</sup> Porém, obteve-se melhores resultados com uma solução combinada de ozônio 2ppm com ácido acético a 5% (p/v).<sup>29</sup> As reduções, com a participação do ácido, são de 1,42, 1,66, 1,84 e 1,27 ciclos log de UFC/g de *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, Coliformes e de bactérias aeróbias mesófilas, respectivamente.

No tratamento de carcaças de frango com uma solução de água ozonizada entre 3 e 3,5ppm, a 4°C, o ozônio foi efetivo para reduzir os microrganismos aeróbicos mesófilos (89,8%), psicotróficos (75,0%), Coliformes totais (78,9%), *Escherichia coli* (75,0%), fungos filamentosos e leveduras (58,6%), *Staphylococcus coagulase positivo* (70,0%), *Salmonella sp.* (100%) e *Pseudomonas sp.* (100%), enquanto a água hiperclorada foi ineficaz para a eliminação de *Salmonella sp.* e *Pseudomonas sp.*<sup>43</sup> Quando na forma gasosa (>2000ppm por 30 min), porém, a redução observada foi de até 97% de *Salmonella sp.* e de 95% de *Pseudomonas sp.*<sup>3</sup>

O ozônio também tem sido utilizado e recomendado para aumentar a vida útil de pescados. Em um sistema de 40% de gelo e 60% de água ozonizada (0,17ppm), sardinhas alcançam uma vida útil de 19 dias, enquanto no sistema 40% gelo e 60% água e utilizando-se somente gelo em flocos, as mesmas duram 15 e 8 dias, respectivamente. Dessa forma, o armazenamento de sardinhas no ozônio é mais eficaz que o sistema sem ozônio, reduzindo as populações de bactérias mesófilas (0,79 UFC.cm<sup>-2</sup>), psicotróficas (0,6 UFC.cm<sup>-2</sup>), anaeróbicas (0,49 UFC.cm<sup>-2</sup>), proteolíticas (0,69 UFC.cm<sup>-2</sup>) e lipolíticas (0,93 UFC.cm<sup>-2</sup>), bem como coliformes (0,31 UFC.cm<sup>-2</sup>) na carne e bactérias mesófilas (0,52 UFC.cm<sup>-2</sup>) e psicotróficas (0,42 UFC.cm<sup>-2</sup>) na pele de pescado.<sup>7</sup> Nesse sentido, para Campos et al.,<sup>8</sup> o armazenamento de pescado (*Psetta maxima*) em 40% de gelo e 60% de água ozonizada (0,2ppm) confere uma vida útil de 14 dias ao produto *in natura*, enquanto que o pescado armazenado sem a adição de ozônio atinge apenas cerca da metade deste tempo. 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.<sup>8</sup>

Ainda quanto à conservação de alimentos perecíveis como o pescado, Manousaridis et al.<sup>26</sup> relatam reduções nas contagens de bactérias mesófilas aeróbicas, *Pseudomonas spp.* sulfito redutoras e bactérias lácticas de até 2,1, 1,1, 2,5 e 0,8 ciclos logarítmicos, respectivamente, em mexilhões tratados com água ozonizada a 1ppm. Entretanto, na sua forma gasosa, a uma concentração de 0,1ppm, o ozônio não foi efetivo para causar uma redução na contagem de *Listeria innocua* 2030c e bactérias mesófilas durante processo de defumação a frio de salmão.<sup>42</sup>

Com base no exposto, observa-se que a inativação microbiana pelo uso do ozônio varia de acordo com as condições do meio, como do tipo de alimento, quantidade de matéria orgânica, tempo de contato do ozônio, pH, temperatura e presença de aditivos químicos,<sup>7, 17, 31</sup> o que demonstra que estudos nesse campo de pesquisa ainda se fazem necessários para que se tenha um efetivo conhecimento das potencialidades do ozônio, benefícios e melhores formas de aplicação tecnológica.

## EFEITO NA SAÚDE HUMANA

Embora estudos demonstrem que o consumo de alimentos tratados com ozônio não causa qualquer efeito tóxico à saúde humana e de animais, é importante que haja o monitoramento e proteção das pessoas que trabalham na manipulação dessa substância na indústria e em outras atividades. Por ser volátil, o gás ozônio pode afetar o sistema respiratório e causar sintomas de toxicidade, como dor de cabeça, tontura, sensação de queimação na região dos olhos, irritação da garganta e tosse. Em baixas concentrações, o ozônio não provoca sinais de toxicidade, mas em altas concentrações pode ser fatal aos humanos. Os níveis máximos de exposição ao ozônio, segundo a Associação Americana de Higiene Industrial (AIHA) e a Administração de Saúde e Segurança Ocupacional (OSHA), são de 0,2mg/m<sup>3</sup> (0,1ppm em volume) por 8 horas ou 0,6mg/m<sup>3</sup> (0,3ppm em volume) durante 10 minutos. No entanto, um indivíduo pode detectar o cheiro característico do ozônio em concentrações de 0,02-0,1mg/m<sup>3</sup> (0,01 a 0,05ppm).<sup>14,16</sup>

## CONCLUSÃO

O ozônio, em alimentos, destrói microrganismos e oxida pesticidas sem deixar resíduos tóxicos, constituindo-se em excelente alternativa para substituir o cloro e o peróxido de hidrogênio, os quais são os principais sanitizantes relacionados como produtos tóxicos. À semelhança de outros países, muitos estudos e divulgação devem ter lugar, nas condições do Brasil, para o bom entendimento das limitações, dosagens, segurança, aplicações e benefícios do ozônio na indústria alimentícia. Com isso, pode-se auxiliar os órgãos reguladores da segurança alimentar quanto às condições para seu uso na substituição de outros produtos menos seguros e que, por legislação, são autorizados. Todavia, por ser de suma importância, os benefícios do ozônio devem ser analisados de forma adequada, servindo esta revisão como auxílio para os estudos futuros.

CHIATTONE, P.V.; TORRES, L.M.; ZAMBIAZI, R.C. Application of ozone in industry of food. *Alim. Nutr.*, v.19, n.3, p. 341-349, jul./set. 2008.

■ABSTRACT: It was done a review about the ozone application, including its physical and chemical properties, methods of synthesis, stability in aqueous media, methods of measurement, germicidal power, effects on human health, and advantages of its application in the food industry, mainly what concerns the products and equipment higienization and sanitization, as well as the treatment of effluents. The ozone is a strong oxidant and reactive molecule and has been known and used for decades as an adjunct for water disinfection, in countries of the European Union. Besides, a range of applicabilities have emerged for ozone, mainly due to new knowledge about its characteristics and properties.

Due to its bactericidal property, the investigation of their actions in a variety of microorganisms, vegetative cells or spores, inside of the industry and in food, have aroused particular attention from researchers around the world. The importance in studying the ozone in the food industry lies in the fact that it is a molecule which decomposes easily without leaving residues and can be applied to food, safe mode on toxicity to consumers.

■KEYWORDS: Ozone; bactericidal effect; food industry.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHEN, M.; YOUSEF, A. E. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. **J. Food Sci.**, v. 66, n. 9, p. 1380-1384, 2001.
2. AKBAS, M. Y.; OZDEMIR, M. Effectiveness of ozone for inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in pistachios. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v. 41, n. 5, p. 513-519, 2006.
3. AL-HADDAD, K. S. H.; AL-QASSEMI, R. A. S.; ROBINSON, R. K. The use of gaseous ozone and gas packaging to control populations of *Salmonella infantis* and *Pseudomonas aeruginosa* on the skin of chicken portions. **Food Control**, v. 16, n. 5, p. 405-410, 2005.
4. ALMEIDA, E. et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Quím. Nova**, v. 27, n. 5, p. 818-824, 2004.
5. ASSIRATI, D. M. Ozônio é usado como desinfetante de efluentes. **J. Unicamp**, ed. 296 - 8 a 14 de agosto de 2005. Disponível em: [http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/agosto2005/ju296pag08.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/agosto2005/ju296pag08.html). Acesso em: 16 jun. 2007.
6. BADER, H.; HOINE, J. Determination of ozone in water by the indigo method. A submitted standard method, ozone. **Sci. Eng.**, v. 169, n. 4, 1982.
7. CAMPOS, C. A. et al. Effects of storage in ozonized slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*sardine pilchardus*). **J. Food Microbiol.**, v. 103, p. 121-130, 2005.
8. CAMPOS, C. A. et al. Evaluation of ozone-slurry ice combined refrigeration system for the storage of farmed turbot (*Psetta maxima*). **Food Chem.**, v. 97, n. 2, p. 223-230, 2006.
9. Chawla, A. S. **Application of ozonated water technology for improving quality and safety of peeled shrimp meat**. 2006. 111f. Dissertação (Master in Science) – Department of Food Science, Technology in Dairy Technology Gujarat Agricultural Univeristy, India, 2002.
10. CHIATTONE, P. **Ozônio e ácido ascórbico na coloração e microbiota da carne bovina maturada**. 2006. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.
11. EMBRAPA. **Ozônio: tecnologia limpa e segura no controle de pragas em grãos armazenados**. Disponível em: <http://www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=2437>. Acesso em: 10 dez. 2006.
12. ESCRICHE, I. et al. Effect of ozone treatment and storage temperature on physicochemical properties of mushrooms (*Agaris bisporus*). **Int. Food Sci. Technol.**, v.7, n.3, p. 251-258, 2001.
13. FRANCO, D. et al. Electrochemical ozone production as an environmentally friendly technology for water treatment. **Clean**, v. 36, n. 1, p. 34-44, 2008.
14. FRANKEN, M. S. **The application of ozone technology for public health and industry**. Disponível em: <http://www.fss.k-state.edu>. Acesso em: 11 nov. 2007.
15. GORMAN, B. M. et al. Evaluation of hand-trimming, various sanitizing agents, and hot water spray-washing as decontamination interventions for beef brisket adipose tissue. **J. Food Prot.**, v. 58, n. 8, p. 899-907, 1995.
16. GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in food industry. **Lebensm-Wiss. u.-Technol.**, v. 37, p. 453-460, 2004.
17. GUZEL-SEYDIM, Z. B. et al. Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. **Food Microbiol.**, v. 21, n. 4, p. 475-479, 2004.
18. HORVÁTH, M.; BILITZKY, L.; HÜTTNER, J. Bactericidal, sterilizing and other effects in lower organisms. In: \_\_\_\_\_. **Ozone**. Budapest: Science, 1985. cap. 3, p. 69-74.
19. IBANOGLU, S. Wheat washing with ozonated water: effects on selected flour properties. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v. 37, p. 579-584, 2002.
20. JAKSCH, D. et al. The effect of ozone treatment on the microbial contamination of pork meat measured by detecting the emissions using PTR-MS and by enumeration of microorganisms. **Int. J. Mass Spectrom.**, v. 239, p. 239-214, 2004.
21. KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. **Int. J. Food Microbiol.**, v. 71, n. 2-3, p. 131-138, 2001.
22. KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E. Decontamination of a multilaminate aseptic food packaging material and stainless steel by ozone. **J. Food Safety**, v. 21, n. 1, p.1-13, 2001.
23. KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J.-G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **J. Food Sci.**, v.66, n.9, p. 1241-1252, 2001.
24. KIM, J.G; YOUSEF, A.E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **J. Food Prot.**, v. 62, n. 9, p. 1071-1087, 1999.

25. MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. Tecnologia de reuso de água. In: \_\_\_\_\_. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. p. 314-316.
26. MANOUSARIDIS, G. A. et al. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. **Food Microbiol.**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2005.
27. MORAES, S.G.; FREIRE, R.S.; DURÁN, N. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. **Chemosphere**, v. 40, p. 369-373, 2000.
28. NGADI, M. et al. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in poultry chiller water using combined ultraviolet light, pulsed electric field and ozone treatments. **Int. J. Poultry Sci.**, v. 3. n. 11. p. 733-737, 2004.
29. POHLMAN, F. W. et al. The effects of Ozone, chorine dioxide, cetylpyridinium chloride and trisodium phosphate as multiple antimicrobial interventions on microbiological, instrumental color, and sensory color and odor characteristics of ground beef. **Meat Sci.**, v. 61, p. 307-313, 2002.
30. REAGAN, J. O. et al. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. **J. Food Prot.**, v. 59, n. 7, p. 751-756, 1996.
31. RESTAINO, L. Efficacy of ozonated water against various food related micro-organisms. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 61, n. 1, p. 3471-3475, 1995.
32. RICE, J. O. Uses of ozone in drinking water treatment. **J. Am. Water Works Assoc.**, v. 73, n. 1, p. 44-57, 1981.
33. RICE, J. O. et al. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. **J. Food Prot.**, v. 59, p. 751-756, 1996.
34. ROZADO, A. F. Ozônio: tecnologia para controle de pragas em grãos armazenados. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PROTEÇÃO DE PRODUTOS ARMAZENADOS. Campinas, São Paulo, 9., 2006. Disponível em: <http://www.seedquest.com/News/releases/2006/october/17248.htm>. Acesso em: 04 fev. 2007.
35. SINGH, N.; SINGH, R. K.; BHUNIA, A. K. Sequential disinfection of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated alfafa seeds before and during sprouting using aqueous chlorine dioxide, ozonated water, and thyme essential oil. **Lebensm.-Wiss.u.-Technol**, v. 36, p. 235-243, 2003.
36. SINGH, N. et al. Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. **Lebensm.-Wiss.u.-Technol.**, v. 35, p. 720-729, 2002.
37. SNATURAL TECNOLOGIAS AMBIENTAIS LTDA. **Ozônio**. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/Ozonio.htm>. Acesso em: 15 fev. 2007.
38. STANDARD METHODS OF WATER ORGANIZATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 1997. Disponível em: <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=196>. Acesso em: 10 jan. 2008.
39. STIVARIUS, M.R. et al. Microbial, instrumental color and sensory color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide. **Meat Sci.**, v. 60, n. 3, p. 299-305, 2002.
40. UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Code of federal regulations**: title 9, poultry products; temperatures and chilling and freezing procedures. Washington, DC: Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, 1997. Part 381.66.
41. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA 815-R-99-014 – Office of water. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**. 1999. Disponível em: [http://www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative\\_disinfectants\\_guidance.pdf](http://www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf). Acesso em: 12 jan. 2008.
42. VAZ-VELHO, M. et al. Inactivation by ozone of *Listeria innocua* on salmon-trout during cold-smoke processing. **Food Control**, v. 17, n. 8, p. 609-616, 2006.
43. VEIGA, S. M. O. M. Utilização de água potável, hiperclorada e ozonizada e do ultra-som, combinados ou não, em um protótipo de chiller, para a sanificação de carcaças de frango. In: \_\_\_\_\_. **Sanificação de carcaças de frango: processos alternativos**. 2003. cap. 3, p.99-166, p.291. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
44. WALTER, R.H.; SHERMAN, R.M. Duration of ozone in water in the upper solubility range. **J. Food Sci.**, v. 993, n. 41, 1976.
45. WEBB, J. **Uso de ozônio para prolongar a vida dos alimentos**. Disponível em: <http://www.aguaonline.com.br/matéria.asp?codigo=1045>. Acesso em: 02 jun. 2007.
46. WEI, C.I.; COOK, D.L.; KIRK, J.R. Use of chorine compounds in the food industry. **Food Technol.**, v. 39, p. 107-115, 1985.
47. WU, J. et. al. Removal of residual pesticides on vegetable using ozonated water. **Food Control**, v. 18, n. 5, p. 466-472, 2007.
48. YANG, P. P.; CHEN, T. C. Stability of ozone and its germicidal properties on poultry meat microorganisms in liquid phase. **J. Food Sci.**, v. 44, n. 2, p. 501-504, 1979.
49. YOUNG, S. B.; SETLOW, P. Mechanisms of *Bacillus subtilis* spore resistance to and killing by aqueous ozone. **J Appl Microbiol**, v. 96, n. 5, p. 1133-1142, 2004.

50. YUAN, J.; STEINER, E.; NOVAK, J. Ozone processing: historical perspectives, system integration, and potential food applications. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL OZONE ASSOCIATION, 14, 1999, Detroit. **Proceeding**... Detroit, IOA, 1999. p.337-341.
51. YUK, H. et al. Effect of combined ozone and organic acid treatment for control of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on enoki mushroom. **Food Control**, v.18, n.5, p.548-553, 2007.