

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*

**O USO DO OZÔNIO COMO SANITIZANTE EM PÓS-COLHEITA DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**

Ernani Pezzi
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Monografia apresentada como um dos requisitos parciais
à obtenção ao Título de Especialista , Curso de Pós-graduação *Lato Sensu*
'Tecnologias Inovadoras no Manejo Integrado de Pragas e Doenças de Plantas'

Porto Alegre (RS), Brasil
Dezembro de 2009

Ernani Pezzi
Engenheiro Agrônomo– UFRGS

MONOGRAFIA

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

ESPECIALISTA EM FITOSSANIDADE

ÊNFASE EM MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E DOENÇAS DE PLANTAS

Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu*

Tecnologias Inovadoras no Manejo Integrado de Pragas e Doenças de Plantas

Departamento de Fitossanidade

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

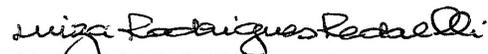
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 05.12.2009
Pela Banca Examinadora

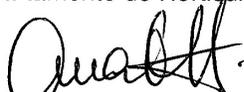
Homologado em: 08.04.2010
Por



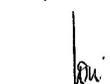
RENAR JOÃO BENDER
Orientador
Departamento de Horticultura e Silvicultura



LUIZA RODRIGUES REDAELLI
Coordenadora do Curso



ANA PAULA OTT
Departamento de Fitossanidade



JOSUÉ SANT'ANA
Departamento de Fitossanidade



LUIZA RODRIGUES REDAELLI
Departamento de Fitossanidade



RAFAEL GOMES DIONELLO
Departamento de Fitossanidade



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e oportunidade de livre arbítrio nesta passagem.

A meus pais, Mario e Sally, pela vida e legado de amor, retidão, perseverança e trabalho em prol do bem alheio.

A meus irmãos Mario, Ieda, Virgínia, Gina e meu afilhado Erig pela convivência, confiança e incentivo.

A minhas irmãs Ieda e Virgínia pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis.

A Isabel Cristina pelo modelo de fé e otimismo.

Ao Professor Renar João Bender pelo exemplo de pesquisador e desprendimento generoso em compartilhar seu conhecimento com seus orientados.

Aos Professores e Colaboradores do Curso pela gratificante motivação e excelência docente.

Aos Colegas de Curso pelo convívio e amizade desfrutados ao longo do caminho.

A Gerson Aoki, representante da Interozone do Brasil, pela disponibilidade e atenção.

A Humberto Luciano Falcão, diretor da Ozonium Systems, pela presteza em compartilhar seu conhecimento.

A Gervásio Silvestrin, da Silvestrin Frutas, e a Leandro Girelli, da Frutas Girelli, pela receptividade e esclarecimentos.

Aos Professores, Colegas Técnico-Administrativos e Bolsistas do DHS por sua compreensão diante das eventuais faltas de tempo e atenção.

Ao Consun e à Progesp por sua política de incentivo ao desenvolvimento dos servidores desta Universidade.

A todos, registro meus sinceros agradecimentos !

O USO DO OZÔNIO COMO SANITIZANTE EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

Autor: Ernani Pezzi

Orientador: Renar João Bender

RESUMO

Este trabalho aborda o uso do ozônio (O_3) como agente sanitizante em pós-colheita de produtos agrícolas. Trata-se de uma tecnologia relativamente nova e ainda pouco difundida no meio produtivo no Brasil. Por isso, são escassas as informações disponíveis sobre a eficácia, benefícios e limites do seu emprego para essa aplicação em frutas, hortaliças e grãos. Os dados aqui apresentados se baseiam na revisão bibliográfica de trabalhos experimentais e nas informações técnicas disponibilizadas por fornecedores de tecnologias do ozônio. Dois conhecidos produtores e comerciantes de frutas no estado do Rio Grande do Sul também foram ouvidos. O ozônio é um agente biocida de bactérias, fungos, leveduras e vírus. Tem alto poder de oxidação, inativa rapidamente os microorganismos e ao decompor-se não deixa resíduos. É reconhecido oficialmente como agente sanitizante seguro de alimentos. Vários estudos evidenciaram a eficácia da ozonização, sozinha ou associada a outras técnicas sanitizantes, no controle de diversas espécies de fungos, bem como sua ação sobre os parâmetros de qualidade dos produtos tratados. Em alguns casos, foi reportada ineficácia contra outros agentes patogênicos em algumas frutas, dependendo das concentrações. A tecnologia do ozônio ainda requer mais pesquisa para estabelecer o seu potencial de uso como sanitizante em pós-colheita de produtos hortícolas e na armazenagem de grãos.

THE USE OF OZONE AS SANITIZING AGENT ON POST-HARVEST OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Author: Ernani Pezzi

Advisor: Renar João Bender

ABSTRACT

This study evaluates the use of ozone as a sanitizing agent on post-harvest of agricultural produce. It is a relatively new technology with little diffusion among producers in Brazil. Thus, there is not much available information about the efficacy, benefits and limitations of its use on fruits, vegetables and grains. The data here reported were based on a bibliographic review of experimental studies and on technical information provided by ozone technology suppliers. Two known fruit producers and traders in the state of Rio Grande do Sul were also heard. Ozone is a biocide agent against bacteria, fungi, yeasts and viruses. It is highly oxidative, rapidly inactivates microorganisms and leaves no residues after decomposition. Ozone is a food sanitizing agent officially recognized as safe. Several of the studies make clear the efficacy of ozone treatment, either alone or associated with other sanitizing techniques to control a variety of fungi, as well as its effect on the quality parameters of treated products. However, other researches show that ozone was ineffective against some pathogens, depending on its concentration. The ozone technology demands further research in order to establish its potential use as sanitizing agent of horticultural produce and stored grains.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO.....	3
2.1 Ozônio	3
2.1.1 Definição	3
2.1.2 Propriedades do ozônio	4
2.1.3 Mecanismo de ação do ozônio.....	6
2.1.4 Geradores de ozônio.....	8
2.1.4.1 Ozônio gasoso.....	9
2.1.4.2 Água ozonizada.....	9
2.1.5 Cuidados na aplicação do ozônio.....	11
2.2. Ozônio como agente sanitizante.....	13
2.2.1 Utilização na pós-colheita de frutas e hortaliças	14
2.2.1.1 Adoção e Custo estimado da Tecnologia no RS	20
2.2.2 Utilização na pós-colheita de grãos.....	21
3. CONCLUSÃO.....	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE TABELAS

1. Comparativo do potencial de oxidação de diferentes sanitizantes. 5

LISTA DE FIGURAS

1. Possíveis formas de estrutura molecular do ozônio. 3
- 2: Simulação computacional da degradação de membrana bacteriana. 6
3. Ozonizador com sistema corona. 8
4. Descargas elétricas no sistema corona..... 8
5. Processo de ionização e ozonização do Oxigênio. 9
6. Diagrama e Equipamento de geração de água ozonizada..... 10
7. Medidor e Sensor de ozônio dissolvido..... 11
8. Tolerância do ser humano à exposição ao ozônio. 12
9. Efeito do Agrocare na Incidência de Podridões em maçãs Fuji. 16
10. Aparato de ozonização em câmara fria..... 17

1. INTRODUÇÃO

A demanda por produtos ecologicamente corretos e de produção limpa vem crescendo em todo o mundo. A sociedade e os organismos internacionais ligados à saúde e ao meio ambiente rejeitam cada vez mais a presença de resíduos de pesticidas nos produtos agrícolas.

Nos produtos hortícolas *in natura*, calcula-se que as perdas atribuídas à deterioração microbiológica, no período entre a colheita e o consumo, cheguem a cerca de 30% (Beuchat, 1991, apud Xu, 1999). Diante da necessidade de reduzir estas perdas, especialmente, a partir da revolução verde os produtores tiveram à disposição produtos de síntese que em muito contribuíram para diminuir a deterioração por agentes patogênicos. No entanto, ao longo do tempo o uso de agentes sanitizantes tradicionais começou a ser questionado. Os compostos clorados, por exemplo, passaram a sofrer restrições a partir de 1975, quando descobriu-se que sua aplicação em materiais orgânicos pode gerar compostos organoclorados (Trihalometanos – THMs), os quais são potencialmente cancerígenos.

Já o uso do brometo de metila como fumigante de grãos foi banido em 2005 nos países desenvolvidos e signatários do Protocolo de Montreal (1987), em vista do seu comprovado efeito de depleção da camada de ozônio na atmosfera.

Ainda, algumas pragas de grãos armazenados podem desenvolver resistência à fosfina, um inseticida fumigante largamente empregado nos tratamentos de expurgo curativo em silos e armazéns nas últimas décadas. Esta situação suscita o desenvolvimento de novas tecnologias de controle.

Novas tecnologias foram pesquisadas e algumas delas se revelaram alternativas viáveis para controlar doenças. Em 1997, o ozônio foi reconhecido oficialmente como agente sanificante seguro de alimentos, o que ampliou o seu potencial de aplicação no tratamento pós-colheita de frutas, hortaliças e grãos.

Por seu alto poder oxidativo e sua maior rapidez de ação, o ozônio é um agente bactericida potente, além de inativar fungos, leveduras e vírus. Outra vantagem é que ele não deixa resíduos, haja vista sua capacidade de autodecompor-se em oxigênio molecular (O_2). Neste contexto, o emprego do ozônio como alternativa de sanitização de frutas e hortaliças em pós-colheita apresenta potencial para o atendimento das normas de produção integrada e orgânica, as quais preconizam preferencialmente os métodos físicos e biológicos nesta etapa da cadeia produtiva (MAPA, 2006; MAPA, 2008).

Este trabalho tem o objetivo de levantar informações disponíveis sobre a eficácia, benefícios e limites do emprego do ozônio enquanto agente sanitizante em pós-colheita de produtos agrícolas, tendo em vista que esta é uma tecnologia relativamente nova e ainda pouco difundida no Brasil.

Buscou-se incluir também, neste trabalho, informações oriundas de alguns produtores e comerciantes de frutas no Rio Grande do Sul que já empregam ou estão iniciando o emprego do ozônio em suas operações, apesar da não disponibilização de informações técnicas quanto às condições de uso, manejo e resultados obtidos no emprego dessa tecnologia.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Ozônio

2.1.1 Definição

O ozônio é um gás instável, diamagnético, alótropo triatômico (O₃) do oxigênio. Sua composição química foi estabelecida em 1872 pelo físico e químico teuto-suíço Christian Friedrich Schönbein. Os três átomos de oxigênio da molécula do ozônio estão arranjados em ângulo obtuso (116° 49'), onde o oxigênio central é ligado a dois átomos de oxigênio equidistantes por meio de uma ligação simples e outra dupla (Figura 1), cujo comprimento médio é de 1,28 Angstrom. A palavra deriva de *ozein*, que em grego significa odor, em virtude do cheiro característico do gás.

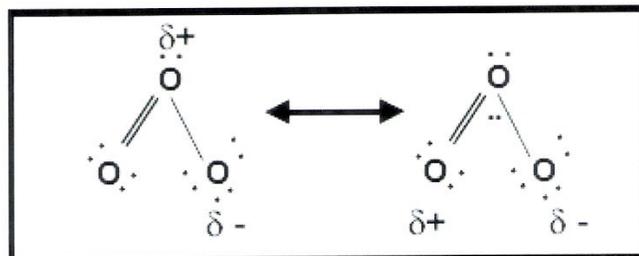


Figura 1. Possíveis formas de estrutura molecular do ozônio.
Fonte: Langlais (1991).

O ozônio é produzido naturalmente na estratosfera, pela ação fotoquímica dos raios ultravioleta e também pelas descargas elétricas dos raios

sobre as moléculas de oxigênio (O_2). Esses raios são suficientemente intensos para separar os dois átomos que compõem a molécula de O_2 , produzindo o oxigênio atômico ionizado (O^-). A produção de ozônio é realizada numa etapa imediatamente posterior, resultando da associação de um átomo de oxigênio e uma molécula de O_2 na presença de um catalisador.

2.1.2 Propriedades do ozônio

Quimicamente o ozônio pode ser gerado pela excitação do oxigênio molecular a oxigênio atômico, em um ambiente energizado que permite a recombinação dos átomos (Block, 1991).

Di Bernardo (1993) informa as seguintes características físico-químicas do ozônio:

- Massa molar	48 g/mol;
- Massa específica do gás (CNTP)	2,14 g/L;
- Ponto de fusão (a 1 atm)	-192,5 °C;
- Ponto de ebulição (a 1 atm)	-111,9 °C.

O ozônio tem alto potencial de oxidação, 52 % superior ao cloro. Além disso, pode agir cerca de 3.000 vezes mais rápido do que este na inativação celular de bactérias, fungos, leveduras e vírus. A Tabela 1 apresenta os potenciais absolutos de oxidação de alguns compostos comumente empregados como sanitizantes e seus respectivos potenciais relativos de oxidação, comparativamente ao cloro.

Tabela 1. Comparativo do potencial de oxidação de diferentes sanitizantes.

Agente oxidante	Potencial de Oxidação (Volts)	Potencial Relativo de Oxidação
Flúor (F ₂)	3,06	2,25
Hidroxila (OH ⁻)	2,80	2,06
Oxigênio ionizado (O ⁻)	2,42	1,78
Ozônio (O ₃)	2,07	1,52
Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂)	1,77	1,30
Permanganato (MnO ₄ ⁻)	1,55	1,14
Cloro (Cl ₂)	1,36	1,00

Fonte: Okte (2009).

Além disso, em relação ao cloro, o ozônio apresenta as seguintes vantagens:

- é eficiente contra um maior espectro de microrganismos;
- decompõe-se naturalmente em oxigênio molecular, portanto, livre de resíduos químicos, e não forma componentes persistentes e/ou prejudiciais ao meio ambiente, como os THM (trihalometanos), que oferecem riscos à saúde;
- não é considerado carcinogênico, nem mutagênico;
- não se acumula em tecido gorduroso, nem causa efeitos crônicos ao longo do tempo;
- pode ser usado na reciclagem da água;
- não há relatos de incompatibilidade com PVC (cloreto de polivinila);
- além de sanitizante, é considerado um bom agente fumigante a ser aplicado em produtos alimentícios armazenados, para prevenir bactérias, bolores, leveduras e insetos (Graham, 1997).

2.1.3 Mecanismo de ação do ozônio

O que diferencia o ozônio de outros sanitizantes é o seu mecanismo de destruição dos microrganismos. Enquanto que o cloro atravessa a membrana celular, agindo sobre os elementos vitais (enzimas, proteínas, DNA e RNA) no interior da célula, o ozônio degrada primariamente a estrutura da membrana (Figura 2), inativando os microrganismos em menor tempo de contato e inviabilizando sua recuperação.

A ação antimicrobiana do ozônio é decorrente do ataque através da oxidação dos glicolipídios, glicoproteínas e aminoácidos da parede e membrana celulares microbianas, alterando a permeabilidade celular e causando sua rápida lise e inibição da atividade respiratória e reprodutiva dos microorganismos.

Secundariamente, ataca também grupos sulfidril de enzimas, ocasionando o colapso da atividade enzimática celular; altera as cadeias polipeptídicas da cápsula protéica de alguns vírus e, em seqüência, as bases púricas e pirimidínicas do seu RNA (Kim, 1999).

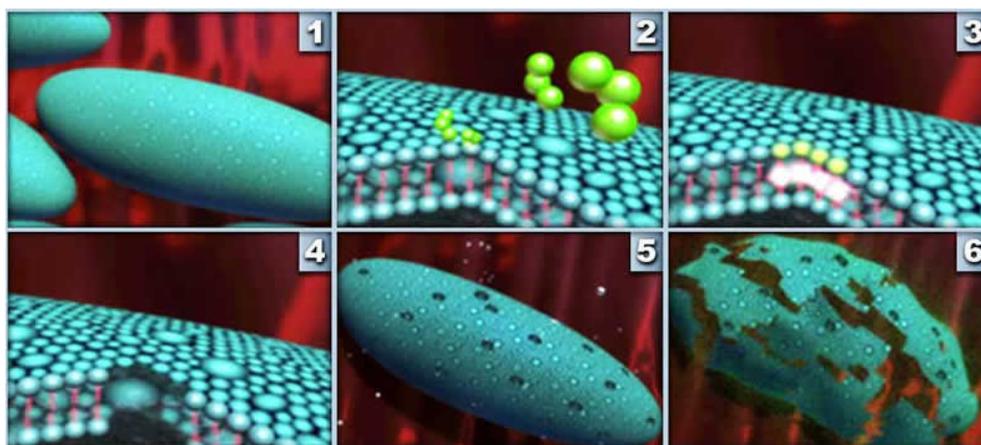


Figura 2: Simulação computacional da degradação de membrana bacteriana.

1. Bactéria sadia;
2. Membrana da bactéria sendo atacada pelo ozônio;
3. Oxidação da membrana da bactéria;
- 4 a 6. Ruptura e destruição da bactéria.

Fonte: Snatural (2009).

O ozônio possui a capacidade de inativar numerosas bactérias, incluindo gram-negativas e gram-positivas, células vegetativas e esporos, além de componentes do envelope celular, esporos ou cápsulas virais, em concentrações relativamente baixas e em reduzido tempo de contato (Kim, 1999). Estudos mostram que o caráter fortemente oxidante e não seletivo do ozônio lhe confere pronta atuação contra diferentes espécies de microrganismos.

Adicionalmente, o ozônio possui capacidade de neutralização do etileno produzido durante os processos de amadurecimento e decomposição de algumas frutas, tais como kiwi e maçã, que a estocagem em câmara fria por si só não consegue deter.

De forma geral, a degradação do etileno pelo ozônio gasoso ocorre segundo a fórmula abaixo:



Entretanto, podem ocorrer reações intermediárias, em menor escala e transitórias, onde há formação de formaldeído e monóxido de carbono.

O etileno é liberado mais expressivamente por algumas espécies de frutas do que por outras, o que impede os produtores de armazenar conjuntamente produtos diferentes, sendo necessário construir câmaras específicas para cada variedade. Nesse aspecto, a ionização também permite a conservação de várias espécies de frutas numa mesma câmara fria, eliminando o risco de antecipação da maturação e a respectiva abreviação do período de armazenagem das espécies mais sensíveis, decorrente da

liberação do etileno. Esta perspectiva permite a otimização do uso das câmaras frias e a redução de custos operacionais (Aoqui, 2009).

2.1.4 Geradores de ozônio

O ozônio é produzido sinteticamente em equipamentos com sistema Corona (Figura 3), que consiste na passagem em seu interior de um fluxo de ar atmosférico ou enriquecido com até 92% de oxigênio molecular (O_2), conforme o propósito ou fabricante (Falcão, 2009). Sob condições controladas de tensão elétrica (~ 10.000 V), a energia gerada por essas descargas (Figura 4) é suficiente para romper a molécula de oxigênio, resultando em dois átomos de oxigênio livre. Segundo Aoqui (2009), estes átomos podem permanecer ionizados (O^-) ou reagir com uma molécula de O_2 formando o ozônio (O_3), conforme a figura 5.



Figura 3. Ozonizador com sistema corona.
Fonte: Armstrong *et al.* (2001).



Figura 4. Descargas elétricas no sistema corona.
Fonte: Falcão (2009).

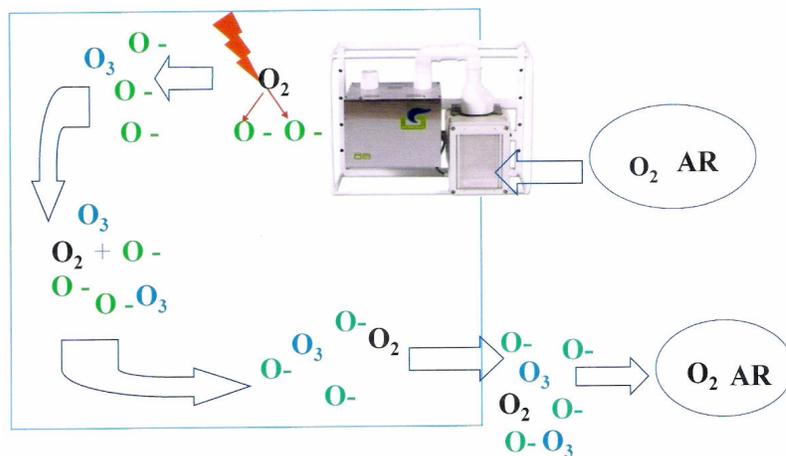


Figura 5. Processo de ionização e ozonização do Oxigênio.
Fonte: Aoqui (2009).

2.1.4.1 Ozônio gasoso

O ozônio gasoso é um forte agente sanitizante e fumigante, e pode ser usado para desinfestar alimentos em câmaras de armazenagem e durante o transporte para prevenir bactérias, mofo e leveduras na superfície dos alimentos, bem como para controlar o desenvolvimento de fungos e o ataque de insetos em silos graneleiros (Aoqui, 2009).

O ozônio pode eliminar o aroma indesejável produzido pelas bactérias e remover quimicamente o gás etileno, hormônio responsável pela maturação e senescência. Este processo retarda o processo de amadurecimento, o que permite prolongar a conservação dos produtos e, conseqüentemente, otimizar a sua logística de distribuição (Aoqui, 2009).

2.1.4.2 Água ozonizada

O ozônio é parcialmente solúvel em água e, assim como a maioria dos gases, aumenta a sua solubilidade à medida que a temperatura decresce ou a mistura é pressurizada (Lei de Henry). Por esta razão, as concentrações de

ozônio dissolvido geralmente não ultrapassam 5 ppm, uma vez que os tratamentos são efetuados sob condição atmosférica e temperatura próxima à ambiente (Falcão, 2009).

A geração do ozônio deve ser feita no local de aplicação devido à sua elevada instabilidade. Sua meia-vida na água em temperatura ambiente varia de 10 a 20 minutos, decompondo-se novamente em oxigênio molecular sem deixar resíduos nos produtos alimentícios ou no ambiente após o tratamento (Kechinski, 2007, apud Guillen, 2008).

A figura 6 mostra o desenho esquemático e a configuração geral de um equipamento gerador de água ozonizada, modelo OzonJet da marca Ozonium Systems. A ozonização da água é alcançada pela injeção de pequenas bolhas de ar enriquecido com ozônio no fluxo de água através de um sistema venturi. A figura 7 apresenta o sensor e o medidor usados pelo mesmo fabricante, necessários ao monitoramento e controle do processo.

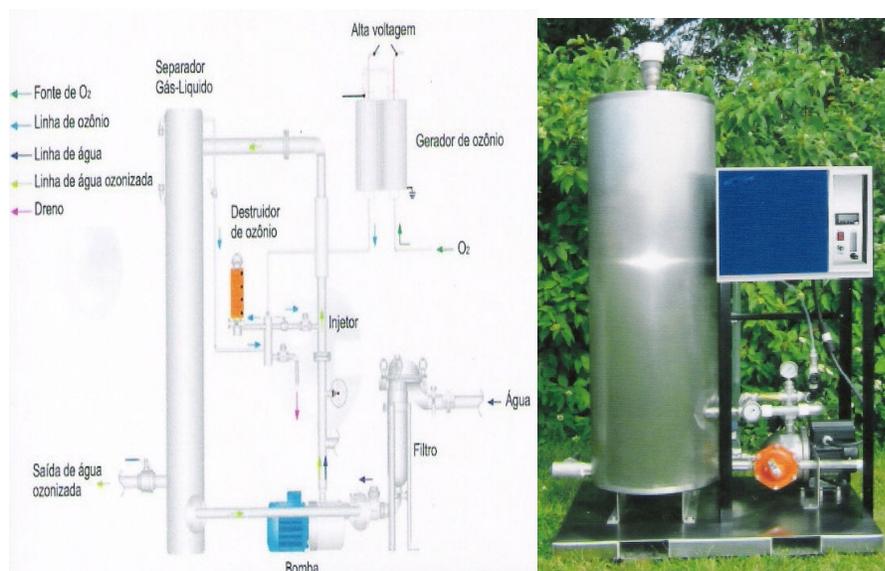


Figura 6. Diagrama e Equipamento de geração de água ozonizada.
Fonte: Kechinski, 2007.



Figura 7. Medidor e Sensor de ozônio dissolvido.
Fonte: Falcão, 2009.

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 parte das empresas embaladoras.

2.1.5 Cuidados na aplicação do ozônio

A sensibilidade do olfato humano detecta a presença de ozônio pelo seu odor característico a concentrações entre 0,02 a 0,04 ppm.

Em situações extremas, a exposição excessiva ao ozônio em altas concentrações por várias horas, pode acarretar em lacrimação, náuseas, cefaléia e dificuldades respiratórias tais como: irritação das vias respiratórias superiores, respiração superficial e congestão pulmonar, e pré-síncope (Guillen, 2008).

O órgão estadunidense que trata da saúde e da segurança ocupacional, *Occupational Safety and Health Association* (OSHA), estabelece os limites de exposição curta e longa ao ozônio (TLV-STEL e TLV-LTEL) no ambiente de trabalho. Os limites variam de 0,01 mg/L de ar para uma jornada de trabalho de

8 horas diárias (40 horas semanais) a 0,3 mg/L de ar por 15 minutos, para uma utilização segura do gás (Nascimento *et al.*, 2005).

A figura 8 mostra os limites de toxicidade do gás ozônio aos seres humanos, conforme os níveis de concentração e o tempo de exposição.

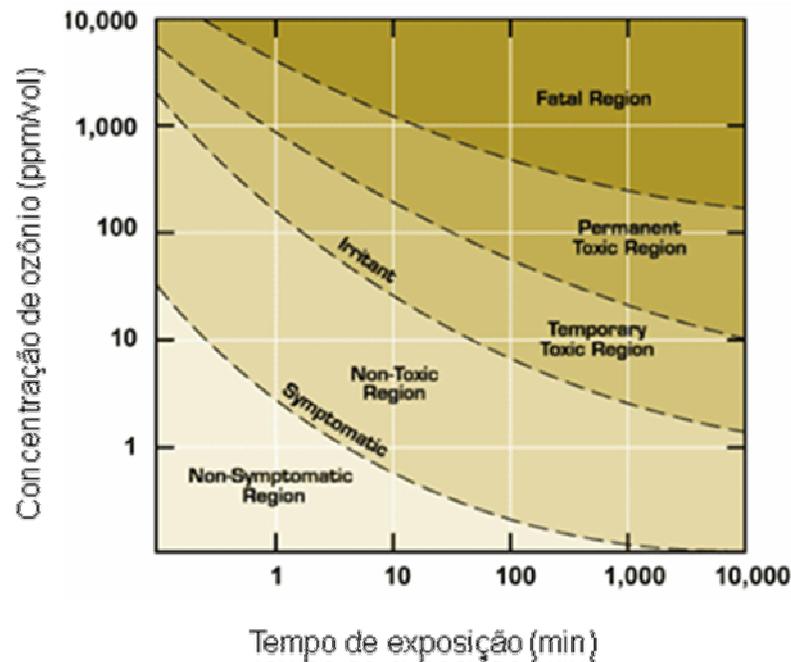


Figura 8. Tolerância do ser humano à exposição ao ozônio.
Fonte: O3 Company, 2009.

A prevenção da intoxicação profissional pode ser obtida evitando a exposição das pessoas que sofrem de infecções ou outras doenças de vias respiratórias. Vários países fixaram o TLV (*Threshold Limit Value*) de 0,1 ppm de ozônio, para um período de quarenta horas por semana, e valor limite para tempo de exposição de 10 min igual a 0,3 ppm (Bassani, 2003).

Para baixas concentrações de ozônio, até 5 ppm, o uso de uma máscara filtrante será suficiente. Ela deve cobrir toda a face, a fim de proteger os olhos da ação irritante do ozônio. Como medida de precaução, o emprego da

máscara filtrante deve ser previsto para usos de curta duração, da ordem de até 30 minutos. Para teores maiores que 5 ppm, e/ou para exposições mais prolongadas, é preciso empregar aparelhos respiratórios autônomos, nos quais a máscara é alimentada por oxigênio comprimido (Bassani, 2003).

2.2. Ozônio como agente sanitizante

A habilidade do ozônio para desinfecção de água foi descoberta em 1886 e em 1891 testes pilotos já eram realizados. A primeira instalação industrial de ozônio ocorreu em 1893, em Oudshoorn, na Holanda, para desinfecção na estação de tratamento de água potável da cidade.

O emprego do ozônio como sanitizante na indústria alimentícia data do início do século XX (Kim, 1999).

Em 1982, a FDA (*Food and Drugs Administration*) declarou a ozonização de água engarrafada como segura. Em 1997, o ozônio foi reconhecido como sanitizante seguro de alimentos por um painel independente numa reunião de especialistas no assunto (Graham, 1997), e, em 2001, foi declarado seguro como aditivo secundário para uso direto em alimentos, pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Atualmente, ele é utilizado sem restrições em indústrias de alimentos nos Estados Unidos. No Brasil, entretanto, a aplicação do ozônio com essa finalidade ainda é limitada, não havendo, até o momento, uma legislação específica para o seu uso em alimentos (Chiattonne *et al.*, 2008).

A etapa de sanitização é crítica para a qualidade microbiológica de vegetais. É importante que o sanitizante seja eficaz e seguro do ponto de vista

toxicológico, garantindo a segurança alimentar. O uso do ozônio durante o processamento de vegetais prolonga a vida de prateleira, preserva os atributos sensoriais dos produtos e não deixa resíduos tóxicos.

O ozônio pode ser usado em fumigação na forma gasosa (em embalagens ou em câmaras frigoríficas) ou em sistema de sanitização por lavagem (água ozonizada). Na água ozonizada, este produto é instável e apresenta rápida decomposição à temperatura ambiente, demandando adição constante, e apresentando maior estabilidade e eficácia relativa em faixa de pH próxima à neutralidade. Tem sido indicado como substituto dos hipocloritos no tratamento de produtos hortícolas em diversos países. A injeção de ozônio na forma de gás, em câmaras de resfriamento, elimina o odor e promove a desinfecção.

2.2.1 Utilização na pós-colheita de frutas e hortaliças

Estudos experimentais realizados sobre a aplicação de ozônio, por meio de fumigação ou de aspersão de água ozonizada, em algumas espécies de frutas e hortaliças, avaliaram os resultados da ozonização sobre alguns tipos de infestação, com ou sem inoculação, bem como seus efeitos sobre algumas das propriedades físico-químicas dos produtos tratados.

Pêras são produtos altamente perecíveis, especialmente durante a fase pós-colheita, quando podem ocorrer perdas consideráveis. São comuns as doenças fúngicas causadas por *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, e *Mucor piriformis*. Os produtos sanitizantes, entre eles o ozônio, possuem considerável atividade fungicida contra *P. expansum* e *M. piriformis*, dependendo da concentração e do tempo de exposição ao tratamento. Spotts e

Cervantes (1992) apud Mari *et al.* (2003) observaram que a germinação dos esporos desses três fungos decompositores foi inibida pelo tratamento com água ozonizada. As doses letais variaram de 0.99 até 0.4 µg de ozônio por mililitro de água, durante 5 minutos à temperatura de 20 °C. Assim como o cloro, o ozônio reage rapidamente com a matéria orgânica e sua atividade é afetada pelo pH da solução.

Em pêssegos, Abreu *et al.* (2008) reportam que o ozônio não foi eficiente no controle das podridões parda e mole, aplicado somente como tratamento curativo, a uma concentração de 0,1 µL/L, em frutos armazenados em câmara fria, e inoculados com *Monilinia fructicola* e *Rhizopus stolonifer*, através de ferimentos ou sem ferimentos. Não houve diferença significativa na incidência de podridão parda em pêssegos inoculados através de ferimentos e mantidos na câmara com ozônio (70%) e no tratamento testemunha (76,7%). O tratamento com ozônio também não foi eficiente nos frutos inoculados sem ferimentos (20% no grupo controle e 13% em frutos tratados). Quanto à incidência de podridão mole nos pêssegos mantidos em câmara ozonizada (78,3%), os resultados não apresentaram diferença estatística comparativamente à testemunha (76,67%), concordando com as observações de Palou *et al.* (2001).

Sautter *et al.* (2008) testaram o efeito de elicitores abióticos aplicados em pós-colheita de maçãs 'Gala' e 'Fuji', na síntese de trans-resveratrol (respostas de defesa) e sua eventual repercussão no controle da podridão por *Penicillium sp.* Os frutos foram inoculados em ferimentos e armazenados sob atmosfera controlada. Os autores observaram que não houve indução à síntese da fitoalexina trans-resveratrol em maçãs 'Gala'. Em maçãs 'Fuji', o ozônio teve o

menor efeito de indução nos frutos mantidos a 20 °C por 5 dias após o armazenamento, comparativamente aos demais elicitores testados,. Os tratamentos não apresentaram efeito sobre o controle de podridão por *Penicillium sp.*, à exceção de fosfito em maçã 'Gala'. Os elicitores abióticos não incrementaram os teores de polifenóis e antocianinas totais nas cascas dos frutos, e não houve correlação entre a síntese de trans-resveratrol e o controle de podridão.

Pesquisadores da EMBRAPA-CNPUV(2001) testaram o efeito do ozônio (Sistema Agrocare) associado à atmosfera controlada no controle de podridões em maçãs 'Fuji' inoculadas artificialmente. Após oito meses de frigorificação, na abertura das câmaras frias, os dados obtidos indicam que o uso do equipamento reduziu em 58% o número de frutos com podridões nos bins avaliados, além de 93,6% da contaminação ambiental por *Penicillium*. Os resultados estratificados por patógeno podem ser observados na Figura 9. A Figura 10 mostra o aparato de ozonização (Sistema Agrocare) empregado neste estudo.

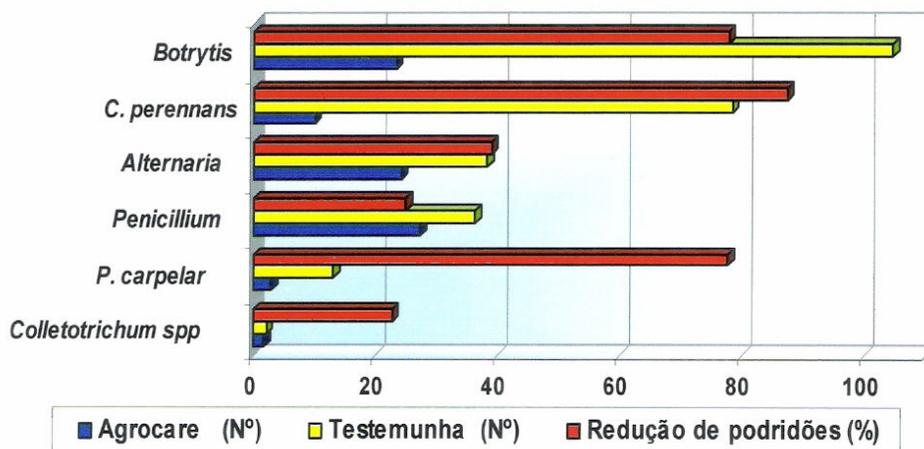


Figura 9. Efeito do Agrocare na Incidência de Podridões em maçãs Fuji.
Fonte: EMBRAPA, 2001.



Figura 10. Aparato de ozonização em câmara fria.
Fonte: Aoqui, 2009.

Segundo Kechinski (2007), o armazenamento de mamões papaia (*Carica papaya*) à temperatura de 25 °C e 0,4 ppm de ozônio dissolvido em água, em câmara com circulação de ar forçada, produziu manchas na casca dos frutos, indicando possível oxidação dos componentes da parede celular, além de não ser efetivo para o controle de *Colletotrichum gloesporioides*. Frutos expostos a 2 ppm de água ozonizada aspergida durante 2 minutos apresentaram maior intensidade de cor amarela (ângulo hue), além de melhor retenção de vitamina C, contrariamente à concentrações de 4 ppm onde houve degradação significativa de vitamina C. De acordo com a autora, o controle do crescimento fúngico foi obtido com ozônio associado ao tratamento hidrotérmico e posterior aplicação de cera.

Pérez *et al.* (1999) estudaram os efeitos do tratamento de ozônio gasoso na qualidade de morangos 'Camarosa'. A concentração de 0,35 ppm aplicada

por 3 dias a 2 °C mostrou-se parcialmente eficaz para combater o crescimento fúngico de *Botrytis cinerea*, reduzindo-o em 15% após 2 dias a 20 °C, comparativamente ao grupo controle. Porém, após 4 dias nessa temperatura, não houve diferença nas taxas de proliferação do mofo cinzento entre os tratamentos. Já o conteúdo de antocianinas das amostras tratadas e não tratadas caiu após 3 dias a 2 °C, com um valor significativamente menor nas frutas ozonizadas. Quando os morangos foram submetidos a 20 °C, houve um leve aumento na acumulação de antocianina nos dois grupos, sem diferenças significativas após 4 dias. O conteúdo de vitamina C nas frutas ozonizadas também foi significativamente maior no 5º dia. Devido à sua alta capacidade oxidativa e sua habilidade para gerar compostos moleculares tóxicos, o ozônio atua como um poderoso agente fitotóxico que elicitava reações de defesa nas plantas (Sanderman *et al.*, 1998, apud Pérez *et al.*, 1999).

Nadas *et al.* (2003) também observaram que os morangos 'Camarosa' armazenados a 2°C durante 3 dias, em atmosfera enriquecida com 1,5 ppm de ozônio, não apresentaram diferenças significativas de cor em relação ao grupo controle. Entretanto, ficaram mais escuros na comparação com o grupo controle, quando expostos à temperatura ambiente logo após o armazenamento refrigerado. As frutas tratadas, entretanto, apresentavam menor perda de peso ao final da estocagem, comparativamente às frutas do grupo controle, provavelmente pela menor perda de água por transpiração. Porém, no retorno das frutas à atmosfera ambiente, a perda de peso foi maior que nas frutas do grupo controle. Já a degradação natural foi significativamente menor que no grupo controle, após a armazenagem. O efeito mais evidente na qualidade sensorial dos morangos foi a perda de odor detectada imediatamente

após a armazenagem refrigerada. Esta observação confirmou os resultados de Pérez *et al.* (1999), onde o tratamento com ozônio reduziu em 40% os ésteres voláteis na armazenagem a 2 °C. Provavelmente, a redução do aroma dos frutos pelo ozônio foi causada pela oxidação dos compostos voláteis liberados pelos frutos.

A firmeza é uma das qualidades mais importantes de cáquis da cultivar Rojo Brillante (*Diospyros kaki* L.), após a remoção da adstringência. Um estudo (Salvador *et al.*, 2006) mostrou que o tratamento com ozônio na concentração de 0,15 ppm teve efeito positivo sobre a firmeza da fruta, garantindo seu valor comercial por até 30 dias, maior período de armazenamento testado, mais a vida de prateleira. O ozônio também aumentou a perda de peso nas frutas tratadas, porém não teve efeitos relevantes sobre outros parâmetros analisados.

Pesquisas de Forney *et al.* (2007) demonstraram que as cenouras sofreram danos fisiológicos significativos como resultado do estresse oxidativo provocado pelo ozônio. O tratamento com ozônio na pré-armazenagem das cenouras cv. Sunrise induziu à resistência à *Botrytis cinerea* e não à *Sclerotinia sclerotiorum*, porém teve efeito limitado e sem valor comercial. Os tratamentos que geraram resistência reduziram a qualidade das cenouras via aumento da respiração, redução do conteúdo de açúcar e aumento do amargor. A aplicação de 1-metilciclopropano antes da exposição ao ozônio não foi eficaz para mitigar todos os efeitos deletérios do ozônio e inibir a indução da resistência à *B. cinerea*. São necessárias pesquisas adicionais para se compreender completamente as respostas fisiológicas das cenouras ao ozônio e para

determinar se o tratamento com ozônio pode ser efetivo no controle da degradação e na manutenção da qualidade do produto.

As observações reportadas indicam a necessidade de estudos mais amplos sobre os efeitos sanitizantes do ozônio, em virtude das respostas diferenciais na inativação dos diversos patógenos que afetam a conservação pós-colheita de frutas e hortaliças, bem como seus efeitos sobre as propriedades e parâmetros de qualidade das espécies tratadas.

2.2.1.1 Adoção e Custo estimado da Tecnologia no RS

A empresa Interozone do Brasil presta atendimento a dois produtores e comerciantes de frutas estabelecidos na serra gaúcha. Seus equipamentos são dimensionados sob encomenda, visando atender a demanda específica da instalação frigorífica do cliente.

A Silvestrin Frutas, estabelecida no município de Farroupilha, dispõe de capacidade de armazenagem para 2.400 toneladas de frutas, alocadas em treze câmaras frias. Há quatro anos, instalou em duas unidades de mil metros cúbicos os equipamentos de ozonização/oxigênio ionizado da Interozone, expandindo para mais duas unidades de 1.200 m³ neste ano, sob regime de locação. As unidades contempladas com esta tecnologia são comumente empregadas na armazenagem de de kiwis, cáquis e laranjas.

A Frutas Girelli, sediada em Bento Gonçalves/RS, emprega o ozônio gasoso na armazenagem refrigerada de frutas com caroço, tais como pêssegos, ameixas e nectarinas (novembro a fevereiro), além de cáquis (junho a julho) e morangos. A empresa dispõe de seis câmaras frias de igual capacidade de armazenamento, e adotou recentemente a tecnologia em uma

câmara fria com 715 m³ (dimensões 10,0 m x 11,0 m x 6,50 m), com 2 evaporadores e temperatura usual de 0 °C, na qual foi instalado o equipamento TES – 365 R 22. O custo de venda para este dimensionamento é de cerca de R\$ 16,2 mil, acrescidos de R\$ 1,5 mil relativos à instalação e deslocamento técnico.

Alternativamente, a Interozone do Brasil oferece a locação de equipamento semelhante ao custo mensal de R\$ 820, com manutenção quadrimestral. Ao final de um período de avaliação de seis meses, há a possibilidade de aquisição do maquinário com o desconto do valor de locação já desembolsado.

Com relação ao custo-benefício desta tecnologia, constatou-se, através das entrevistas com dois produtores gaúchos que a utilizam, que os mesmos não possuem parâmetros definidos de comparação econômica com outros produtos sanitizantes ou de eficácia fitossanitária da mesma. Segundo o produtor com maior escala e tempo de utilização da tecnologia, este custo não é significativo em relação à capacidade instalada (armazenamento) e ao volume de operações.

2.2.2 Utilização na pós-colheita de grãos

Estudos laboratoriais e experimentais mostraram que o ozônio também pode substituir inseticidas tais como piretróides, organofosforados e fumigantes (fosfina – PH₃), os quais são nocivos ao organismo humano quando ingeridos e manipulados em excesso. Haja vista a sua decomposição isenta de resíduos tóxicos, a ozonização é uma tecnologia bastante segura e de fácil aplicabilidade.

No entanto, a eficácia do ozônio contra os insetos pode ser alterada pelas diferenças de concentração, dos períodos de exposição ou dos métodos de aplicação.

Segundo Isikber & Oztekin (2009), a toxicidade do tratamento de ozônio indicou uma notável diferença de suscetibilidade entre os estágios de vida de *Ephestia kuehniella* e *Tribolium confusum*. O tratamento com ozônio em espaço aberto resultou na eliminação completa de todos os estágios de vida, exceto dos ovos de *E. kuehniella*, em contrapartida foram observadas mortalidades muito baixas de todos os estágios de vida, exceto das larvas do *T. confusum*. Os dados de toxicidade indicam que o *T. confusum* é em geral mais tolerante ao tratamento com ozônio do que o *E. kuehniella*. Tais resultados sobre a eficácia do ozônio como agente fumigante contra o *T. confusum* e o *E. kuehniella* são comparáveis aos vários estudos acerca da eficácia do ozônio contra o *T. confusum* e *E. kuehniella* no controle de pragas em grãos armazenados.

Adultos do *T. confusum* foram muito mais tolerantes do que os adultos do *P. interpunctella* (traça indiana dos cereais), sob tratamento em laboratório com 300 ppm de ozônio durante 4 h de exposição (Leesch, 2003, apud Isikber & Oztekin, 2009).

Para os adultos do gorgulho, *S. zeamais*, e para o estágio larval da traça indiana dos cereais, *P. interpunctella*, expostos a 50 ppm de ozônio durante 3 dias, foi constatada alta mortalidade (Kells *et al.*, 2001, apud Isikber & Oztekin, 2009).

Em estudos de laboratório, Mason *et al.* (1997) apud Isikber & Oztekin, (2009) relataram que 5 ppm de ozônio resultaram em 100% de mortalidade do besouro dos grãos, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) e o *T. confusum* após a exposição por 3 e 5 dias, respectivamente.

Rozado *et al.* (2008) avaliaram a suscetibilidade de formas adultas de dois insetos-pragas de milho e a qualidade fisiológica dos grãos desta cultura, quando submetidos ao tratamento com 50 mg.kg⁻¹ de ozônio em fluxo contínuo de 8 L.min⁻¹ na base (plenum) de recipiente cilíndrico de um metro de altura, construído para esta finalidade. Tais avaliações foram determinadas em três posições (plenum, mediana e superior). Os autores observaram que a mortalidade de adultos de *Sitophilus zeamais* (gorgulho) e *Tribolium castaneum* (besouro) aumentou conforme a elevação do período de exposição, e que, para alcançar semelhantes índices de mortalidade, houve necessidade de maiores períodos de exposição à medida do distanciamento entre os sítios e o ponto de injeção do gás. A espécie mais susceptível foi a *S. zeamais*, independente da sua posição. Nessas condições experimentais, a qualidade fisiológica dos grãos de milho não foi afetada.

A difusão não reativa de gases em espaços porosos é diretamente proporcional ao seu peso molecular. Assim, a fosfina (P.M. 34) tem maior taxa de difusão que o ozônio (P.M. 48) em determinada massa de grãos, não apenas por sua composição química mas também por inércia reativa, distintamente do ozônio que reage com a massa de grãos. Santos (2008) estudou a difusão e cinética de decomposição do ozônio no processo de fumigação de grãos de milho, em escala laboratorial, e observou a ocorrência de uma decomposição inicial do ozônio mais rápida, em função da interação

com os sítios ativos da massa de grãos, passando a taxas menores após a saturação dos mesmos.

Pereira Jr. (2009) testou modelagens e simulação de sistemas de injeção de gás ozônio em grãos de milho utilizando a mecânica de fluidos computacional. Tomando por base as medidas de silo de 16 metros de altura por seis metros de diâmetro, concluiu que há diferenças relativas à concentração final de ozônio na coluna conforme o sistema de injeção utilizado, e para um mesmo fluxo de massa a injeção de gás pela base é mais eficaz do que por sondas. Em suas simulações, determinou que para garantir uma concentração mínima de 50 ppm de ozônio em 95 % da massa de grãos, suficiente para promover o controle de insetos, os fluxos de massa necessários para injeção do gás a partir da base e por sondas são de 1,27 kgs/s e 9,50 kgs/s, respectivamente. Em virtude da natureza teórica do estudo, o autor não estabeleceu o custo de implantação e operacional destas estimativas de fluxos de massa de ozônio obtidas pela simulação computacional.

Diante destes estudos, observa-se a potencialidade de emprego do ozônio gasoso em fluxo contínuo como alternativa eficaz e economicamente viável à fosfina no controle de alguns insetos-praga de grãos armazenados, com a vantagem de não requerer a hermeticidade dos silos, quadro atual da estocagem de grãos no Brasil, conforme apregoam pesquisadores da UFV (Panorama Rural, 2009).

3. CONCLUSÃO

Apesar dos benefícios apontados pelos vários autores, tais como ausência de resíduos, alto poder de oxidação e rapidez na inativação de microorganismos, a aplicação do ozônio deve levar em conta os limites de exposição segura dos trabalhadores envolvidos com o manejo do produto na forma gasosa.

A tecnologia do ozônio gasoso e da água ozonizada necessita de pesquisas mais aprofundadas. As experiências aqui relatadas foram realizadas em escala de laboratório e sua eficiência e benefícios poderiam ser melhor comprovados mediante aplicação no ambiente produtivo.

Entretanto, o custo de instalação dos geradores de ozônio é elevado, o que representa uma barreira para sua difusão e intensificação de uso.

Alguns produtores e comerciantes no Rio Grande do Sul já empregam ou estão iniciando o emprego do ozônio em câmaras frias, para conservação de frutas tais como kiwis, pêssegos, maçãs e laranjas, mas informações detalhadas sobre as concentrações, manejo e resultados não foram disponibilizadas.

Face ao exposto, constata-se a necessidade e relevância de intensificar-se a experimentação e pesquisa sobre o uso das tecnologias de ozônio, estendendo o enfoque a outros parâmetros de avaliação e a outros produtos agrícolas de expressão no ambiente produtivo gaúcho e brasileiro, tanto no âmbito da armazenagem refrigerada de frutas e hortaliças como na estocagem de grãos, de forma a criar uma base de conhecimento mais segura para a adoção do ozônio como agente sanitizante.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.M.; LOURENÇO, S.A.; BASSETTO, E.; GONÇALVES, F.P.; MARTINS, M.C.; AMORIM, L. Efeito de sanificantes no controle pós-colheita da podridão parda (*Monilinia fructicola*) e da podridão mole (*Rhizopus stolonifer*) em pêssegos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.34, n.1, p.86-88, 2008.

AOQUI, G. **Interozone do Brasil Ltda**. Divulgação da empresa, *lay-outs* de processos, imagens e resultados de pesquisas aplicadas [Mensagem Pessoal]. Mensagem recebida por <ernani.pezzi@ufrgs.br> em 26 out. 2009.

ARMSTRONG, J.; McHUGH, T.; OLSEN, C.; LEESCH, J.; TEBBETS, S.; CAVALETTO, C.; BITTENBENDER, H.C. **Ozone Vacuum Fumigation as a Methyl Bromide Alternative for Green Coffee**. [Washington] : USDA-ARS, 2001.

BASSANI, L. **Desinfecção de efluente sanitário por ozônio: parâmetros operacionais e avaliação econômica**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BLOCK, S.S. **Disinfection, Sterilization And Preservation**. 4.ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991.

CHIATTONE, P.V.; TORRES, L.M.; ZAMBIAZI, R.C. Application of ozone in industry of food. **Alimento & Nutrição** - Brazilian Journal of Food and Nutrition, Araraquara, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. 2.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Uva e Vinho. **Avaliação do Efeito dos Equipamentos 'Agrocare' da Agroquality nas Câmaras Frias com Atmosfera Controlada na Qualidade de Maçãs Fuji**. Vacaria, 2001. Disponível em: <http://www.interozone.com.br/downloads/pesquisa_fuji.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2009.

FALCÃO, H.L. **Ozonium Systems Ltda**. Divulgação da empresa, *folder* explicativo e imagens de produtos [Mensagem Pessoal]. Mensagem recebida por <ernani.pezzi@ufrgs.br> em 20 out. 2009.

FORNEY, C.F.; SONG, J.; HILDEBRAND, P.D.; FAN, L.; McRAE, K.B. Interactive effects of ozone and 1-methylcyclopropene on decay resistance and quality of stored carrots. **Postharvest Biology and Technology**, Washington, v.45, n. 3, p. 341-348, 2007.

GRAHAM, D.M. Use of ozone for food processing. **Food Technology**. Chicago, v. 51, n.6, p. 72-75, 1997.

GUILLEN, A.C. Estudo do uso do ozônio em sistema de CIP (clean in place) para indústria vinícola. Trabalho de Conclusão de Graduação. In: COLETÂNEA de trabalhos de conclusão do curso de Engenharia de Alimentos. Porto Alegre : ICTA/UFRGS, 2008. 111p. 1CD-ROM.

ISIKBER, A. A.; OZTEKIN, S. Comparison of susceptibility of two stored-product insects, *Ephestia kuehniella* Zeller and *Tribolium confusum* du Val to gaseous ozone. **Journal of Stored Products Research**, Egham, v. 45, p. 159-164, 2009.

KECHINSKI, C.P. **Avaliação do uso de ozônio e de outros tratamentos alternativos para a conservação do mamão papaia (*Carica papaya* L.)**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; CHISM, G.W. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. **Journal of Food Safety**, New Brunswick, v. 19, p. 17-34, 1999.

LANGLAIS, B.; ROCKHOW, D.A.; BRINK, D.R. Practical application of ozone: Principle and case study. In: OZONE in Water Treatment., Chelsea: Lewis Publishers, 1991.

MAPA. Instrução Normativa Nº 1, de 21 de setembro de 2006. **Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada da Cultura da Maçã**. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=11962>>. Acesso em: 12 nov. 2009.

MAPA. Instrução Normativa Nº 37, de 18 de junho de 2008. **Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada da Cultura de Prunus spp**. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=14501>>. Acesso em: 12 nov. 2009.

MARI, M.; BERTOLLINI, P.; PRATELLA, G.C. Non-conventional methods for the control of post-harvest pear diseases. **Journal of Applied Microbiology**, New York, v. 94, p.761-766, 2003.

NADAS, A.; OLMO, M.; GARCÍA, J.M. Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmospheres. **Journal of Food Science: Food Microbiology and Safety**, Chicago, v. 68, n.5, p.1798-1802, 2003.

NASCIMENTO, L.C.; LIMA, L.C.O; VALLE, R.H.P. Uso de derivados clorados, ozônio e ultra-som na sanificação de água e alimentos. **Higiene Alimentar**. São Paulo, v. 19, n. 136 p. 48-57, 2005.

O3 COMPANY. The power of ozone. **Toxicity of ozone to humans**. Disponível em: <http://www.o3co.com/aboutozone_safety.php>. Acesso em: 03 nov. 2009.

OKTE ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. **Tecnologias com ozônio**. Disponível em: <<http://www.okte.com.br/Tecnologias/Ozonio.htm>>. Acesso em: 25 out. 2009.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO C. H.; MANSOUR, M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. **Plant Disease**, v. 85, p. 632-638, 2001.

PANORAMA RURAL. **Controle mais natural**. Notícia online. Disponível em : <<http://www.panoramarural.com.br/popimprime.aspx?id=287>>. Acesso em: 21 nov. 2009.

PEREIRA JR. **Modelagem e simulação de sistemas de injeção de gás ozônio para fumigação de grãos de milho (Zea mays L.) utilizando a mecânica dos fluidos computacional**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2009. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp105114.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2009.

PÉREZ, A.G.; SANZ, C.; RÍOS, J.J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J.M. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 47, n. 4, p. 1652-1656, 1999.

ROZADO, A.F.; FARONI, L.R.A.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N.C.; PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 282-285, 2008.

SALVADOR, A.; ABAD, I.; ARNAL, L. e MARTÍNEZ-JÁVEGA, J.M.. Effect of ozone on postharvest quality of persimmon. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 71, n. 6, p. 443-446, 2006.

SANTOS, J.E. **Difusão e cinética de decomposição do ozônio no processo de fumigação de grãos de milho (Zea mays)**. 2008. Tese (Doutorado) - Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_actio n=&co_obra=121135>. Acesso em: 21 nov. 2009.

SAUTTER, C. K.; STORCK, L.; RIZZATTI, M. R.; MALLMANN, C.A.; BRACKMANN, A. Síntese de trans-resveratrol em controle de podridão em

maçãs com o uso de elicitores em pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p.1097-1103, 2008.

SNATURAL LTDA. **Simulação computacional da degradação de membrana bacteriana**. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Ozonio.html>>. Acesso em: 03 nov. 2009.

XU, L. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food Technology**. Chicago, v. 53, n.10, p.58-62, 1999.