

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”
Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial
Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Dissertação

Conservabilidade de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betcher) tratada com gás ozônio

Eliane Aparecida Aires

Pelotas, 2024

Eliane Aparecida Aires

Conservabilidade de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betcher) tratada com gás ozônio

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Leonardo Nora (Orientador) - UFPel

Prof. Dr. Maurício de Oliveira (Coorientador) - UFPel

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

A297c Aires, Eliane Aparecida

Conservabilidade de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) tratada com gás ozônio [recurso eletrônico] / Eliane Aparecida Aires ; Leonardo Nora, orientador ; Maurício de Oliveira, coorientador. — Pelotas, 2024.

58 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Agroindústria. 2. Alimentos. 3. Microrganismos patogênicos. 4. Nozes. 5. Ozônio. I. Nora, Leonardo, orient. II. Oliveira, Maurício de, coorient. III. Título.

CDD 664.028

Eliane Aparecida Aires

Conservabilidade de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)
tratada com gás ozônio

Dissertação apresentada como, requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 28/08/2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Nora (Orientador). Doutor em *Plant Molecular Biology and Biochemistry* pelo *John Innes Centre - University of East Anglia* (Inglaterra).

Profa. Dra. Ângela Maria Fiorentini (Membro). Doutora em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Profa. Dra. Rosana Colussi (Membro). Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas.

Profa. Dra. Alexandra Morás (Membro). Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Dedicatória. . .

- Dedico a Deus por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis desse trabalho, particularmente a São Padre Pio de Pietrelcina.
- A todos os meus professores, que foram de fundamental importância na construção dessa nova etapa profissional da minha carreira.
- Ao professor Leonardo Nora, pela sua paciência conselhos e ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento desse projeto.
- Dedico este projeto à minha família, especialmente aos meus pais que já não estão mais neste plano, mas que plantaram em mim a semente da busca do novo e de sempre dar um passo à frente no conhecimento. Às minhas irmãs e minha filha, que sempre estiveram presentes, direta ou indiretamente, em todos os momentos de dificuldades e comemorações.

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me permitido dar esse passo tão importante em minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo Nora, por toda a seriedade, profissionalismo e dedicação, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho.

Agradeço à coordenação do curso, na pessoa da Professora Ângela Maria Fiorentini, por toda a atenção e disponibilidade em todos os momentos.

Desejo igualmente agradecer à direção e à administração da Fazenda Suindara Ltda, pelo apoio incondicional ao projeto, com a doação de noz macadâmia, espaço e toda a estrutura necessária para a realização do experimento.

Agradeço à empresa Ozone & Life (Tecnologia em Geradores de Ozônio) na pessoa do Professor Dr. Wilfredo Irrazabal Urrichi, CEO Founder, e aos funcionários da empresa, por toda a atenção, disponibilização de tempo, estrutura física e tecnológica para a realização dos testes na noz macadâmia.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram, especialmente aos meus pais (in memoriam), às minhas irmãs, e à minha filha Karol que sempre acreditaram no meu potencial e torceram muito por este momento.

*“Ore, espere e não se
preocupe”.*

São Padre Pio de Pietrelcina

Resumo

AIRES, Eliane Aparecida. **Conservabilidade de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) tratada com gás ozônio**. 2024. 58f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), uma noz originária da Austrália, está atraindo a atenção dos pesquisadores no setor alimentício devido ao seu crescimento em popularidade no mercado brasileiro e internacional. Conhecida como a "rainha das nozes", a macadâmia é colhida anualmente, com cada árvore produzindo entre 30 kg e 40 kg de nozes. Na colheita os frutos maduros caem naturalmente das árvores, mas durante esse processo, ao entrarem em contato com o solo podem ser contaminados por fungos (ex. *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp.) e bactérias (ex. *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas* spp., *Clostridium* spp., *Bacillus* spp.). Para desinfetar as nozes, as indústrias utilizam dois principais métodos: o tratamento químico com solução clorada e o tratamento térmico, onde as nozes são secas a temperaturas entre 40 °C e 60 °C por até 30 dias. O uso de solução clorada aumenta a umidade das nozes, prolongando o tempo de secagem, o que evidencia a necessidade de alternativas mais eficazes para reduzir a carga microbiana. Este trabalho avaliou a eficiência do ozônio gasoso para o tratamento das nozes após a secagem, mantendo a casca, com o objetivo de eliminar ou reduzir os microrganismos patogênicos sobreviventes à secagem, sem alterar as características físico-químicas das nozes. Para o experimento foram utilizados 40 kg de nozes macadâmias com casca e 40 kg de amostras controle, que não receberam o tratamento com ozônio. Os 40 kg de nozes foram divididas em 8 amostras de 5 kg cada e tratadas com ozônio gasoso a uma concentração de 10 mg/L por 45 minutos. Após o tratamento, as amostras foram beneficiadas, embaladas a vácuo com gás nitrogênio e armazenadas a 10 °C por 180 dias e 360 dias. As amostras foram analisadas em três etapas: imediatamente após o tratamento com ozônio, após 180 dias e após 360 dias de armazenamento. O tratamento com ozônio mostrou-se eficiente na redução de Coliformes Totais, Mesófilos Aeróbios (viáveis a 30 °C) e Bolores e Leveduras. Observou-se crescimento desses microrganismos nas amostras sem tratamento e nas tratadas, mas em níveis muito menores nas amostras tratadas. Os resultados do índice de peróxido foram favoráveis, com valores abaixo do limite de quantificação nas amostras tratadas com ozônio em todos os períodos de armazenamento. Embora tenha ocorrido um pequeno aumento na umidade e acidez nas amostras tratadas, esses aumentos não foram significativos. Conclui-se que o ozônio é uma opção promissora para o tratamento de nozes macadâmia, oferecendo vários benefícios ao longo da cadeia de processamento.

Palavras-chave: agroindústria, alimentos, microrganismos patogênicos, nozes, ozônio, sanitização

Abstract

AIRES, Eliane Aparecida. **Preservability of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) treated with ozone gas.** 2024. 58f. Dissertation (Professional Master's Degree in Food Science and Technology), Department of Agroindustrial Science and Technology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The macadamia nut (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), native to Australia, has been attracting the attention of researchers in the food industry due to its growing popularity in both the Brazilian and international markets. Known as the "Queen of Nuts," macadamia is harvested annually, with each tree producing between 30 kg and 40 kg of nuts. During harvesting, the ripe fruits naturally fall from the trees, but in the process, they can become contaminated by fungi (e.g., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp.) and bacteria (e.g., *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas* spp., *Clostridium* spp., *Bacillus* spp.) upon contact with the soil. To disinfect the nuts, industries use two main methods: chemical treatment with a chlorinated solution and heat treatment, where the nuts are dried at temperatures between 40 °C and 60 °C for up to 30 days. The use of a chlorinated solution increases the moisture content of the nuts, prolonging the drying time, highlighting the need for more effective alternatives to reduce microbial loads. This study evaluated the efficiency of gaseous ozone in treating the nuts after drying, with the shell intact, to eliminate or reduce pathogenic microorganisms that survive the drying process, without altering the physico-chemical characteristics of the nuts. For the experiment, 40 kg of shelled macadamia nuts and 40 kg of control samples (not treated with ozone) were used. The 40 kg of nuts were divided into 8 samples of 5 kg each and treated with gaseous ozone at a concentration of 10 mg/L for 45 minutes. After treatment, the samples were processed, vacuum-packed with nitrogen gas, and stored at 10°C for 180 days and 360 days. The samples were analyzed at three stages: immediately after ozone treatment, after 180 days, and after 360 days of storage. Ozone treatment proved effective in reducing total coliforms, aerobic mesophiles (viable at 30°C), molds, and yeasts. Microbial growth was observed in both the untreated and treated samples, but the levels were significantly lower in the treated samples. The peroxide index results were favorable, with values below the limit of quantification in the ozone-treated samples throughout all storage periods. Although there was a slight increase in moisture and acidity in the treated samples, these increases were not significant. It is concluded that ozone is a promising option for treating macadamia nuts, offering multiple benefits throughout the processing chain.

Keywords: agroindustry, food, pathogenic microorganisms, nuts, ozone, sanitation

Lista de tabelas

Tabela 1 Composição química centesimal e teor calórico da noz macadâmia	24
Tabela 2 Solubilidade do ozônio em água	27
Tabela 3 Comparativo do potencial de oxidação de diferentes sanitizantes	29
Tabela 4 Tratamento da noz macadâmia	36
Tabela 5 Concentração de ozônio na entrada e na saída do corpo de prova, fluxo de oxigênio 2 L/min	37
Tabela 6 Rendimento da noz macadâmia pós retirada da casca	39
Tabela 7 Especificações da noz macadâmia conforme a legislação, mercado interno e externo	44
Tabela 8 Resultados obtidos nas amostras tratadas e sem tratamento no período zero de armazenamento	45

Lista de Figuras

Figura 1	Fluxograma de processo	15
Figura 2	Fruto da noz macadâma.....	16
Figura 3	Diferentes estágios (<i>Macadamia integrifolia</i> Maid. et Bet)	23
Figura 4	Nogueira Macadâmia	25
Figura 5	Mecanismo de ação da ozonização.....	30
Figura 6	Fluxograma de processo das etapas do experimento.....	33
Figura 7	Equipamentos geradores de ozônio utilizados para o tratamento das amostras de noz macadâmia.....	35
Figura 8	Amostra de noz macadâmia com casca a ser tratada com ozônio	35
Figura 9	Amostras de noz macadâmia recebendo o tratamento com ozônio	36
Figura 10	Beneficiamento da noz macadâmia, após tratamento.....	38
Figura 11	Amostras controle (sem tratamento), após o beneficiamento, prontas para o armazenamento	40
Figura 12	Amostras tratadas após o beneficiamento, prontas para o armazenamento	40
Figura 13	Seladora a vácuo com ATM – Atmosfera Modificada (Nitrogênio)	41
Figura 14	Amostragem da noz macadâmia controle (sem tratamento)	42
Figura 15	Amostragem da noz macadâmia tratada com ozônio	42

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

FDA	Food and Drug Administration	14
O ₂	Oxigênio	14
O ₃	Ozônio	14
CO ₂	Dióxido de Carbono	14
ATM	Atmosfera Modificada	22
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>	24
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>	24
LDL	Lipoproteína de Baixa Densidade	24
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	31
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária	31
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente	31
GRAS	<i>Generally Recognized as Safe</i>	31
TR	Taxa de Recuperação	38
ABM	Associação Brasileira de Noz Macadâmia	44
UFC	Unidade Formadora de Colonias	44
MCG	Micrograma	44
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada	44
IN	Instrução Normativa	44
AMS	Australian Macadamia Society	44
MEQ	Miliequivalente	44
LOQ	Limit of Quantification	44

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Beneficiamento da noz macadâmia.....	15
2 Revisão da literatura	23
2.1 Caracterização do fruto da noz macadâmia.	23
2.2 Composição química da noz macadâmia (<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	23
2.3 Microrganismos na noz macadâmia	25
3 Ozônio	26
3.1 Características químicas e físicas do ozônio.....	27
3.2 Potencial oxidativo do ozônio.....	28
3.3 A aplicação do ozônio em alimentos.	29
3.4 Formas de aplicação do ozônio.....	30
3.5 Mecanismos de ação.....	30
3.6 Efeitos da utilização do ozônio.....	31
3.7 Legislações quanto ao uso do ozônio	31
3.8 Ozônio como alternativa de tratamento	32
4 Material e métodos	33
4.1 Noz macadâmia	34
4.1.1 Variedade e obtenção.....	34
4.1.2 Características.....	34
4.2 Ozônio.....	34
4.2.1 Obtenção do ozônio	34
4.2.2 Forma de utilização	34
4.3 Tratamento da noz macadâmia.....	36

4.4 Beneficiamento da noz macadâmia	37
4.5 Rendimento da noz macadâmia	38
4.6 Amostras da noz macadâmia após o beneficiamento.....	40
4.7 Selagem à vácuo com ATM - Atmosfera modificada (nitrogênio)	41
4.8 Amostragem de análises.....	42
4.9 Composição das amostras.....	43
4.9.1 Padrões microbiológicos e físico-químicos avaliados nas amostras tratadas e sem tratamento	43
4.9.2 Metodologias utilizadas pelos laboratórios independentes.	43
5 Resultados e discussão	44
5.1 Resultados esperados após o tratamento	44
5.2 Resultados obtidos	45
5.3 Discussão.....	46
6 Conclusão	49
7 Considerações Finais.....	50
8 Referências	51

1 Introdução

A noqueira macadâmia, originária da Austrália, é uma planta de grande valor econômico e histórico. Sua noz, conhecida como macadâmia, possui um alto valor no mercado internacional, com grande aceitação entre os consumidores (PENONI et al., 2011). Seu nome é uma homenagem ao pesquisador australiano John MacAdam, responsável pela caracterização de diversas espécies de plantas no continente australiano (PIMENTEL, 2007; PENONI et al., 2011).

Introduzida no Havaí em 1878, a evolução da produção global de macadâmia, no entanto, não se limitou ao Havaí. Ao longo das décadas, outros países começaram a investir no cultivo dessa noz, com destaque para a África do Sul, China e Austrália. Segundo a World Macadamia Organisation (WMO), esses países, são atualmente os maiores produtores de macadâmia do mundo. Relatórios mais recentes indicam que, em 2023, a produção de macadâmia na África do Sul alcançou 79.700 toneladas métricas, China com 67.900 toneladas métricas, seguida pela Austrália com 48.400 e o Brasil teve uma produção de 7.685 toneladas métricas em 2023.

No Brasil, as primeiras macadâmias foram plantadas na década de 1940, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), pela Seção de Viticultura e Frutas de Clima Temperado. A introdução de sementes provenientes do Havaí em 1974 marcou o início do programa de domesticação e melhoramento genético dessa noqueira no IAC, levando ao desenvolvimento de variedades como Keaumi (IAC 4-20), Kakere (IAC 5-10) e Kaeudo (IAC 2-23), adaptadas às condições climáticas do Estado de São Paulo.

A produção de macadâmia, assim como a de outras nozes, é altamente dependente de fatores sazonais e geográficos, o que impõe desafios significativos no transporte, armazenamento e conservação. A manutenção da qualidade das nozes ao longo da cadeia produtiva exige estruturas adequadas e tecnologias de preservação pós-colheita, capazes de prolongar a vida útil (*shelf life*) do produto. Isso é crucial para evitar prejuízos econômicos e garantir que os consumidores recebam um produto com características próximas do natural, como discutido por (Xin et al. 2015).

Após a etapa de colheita é comum que as nozes fiquem expostas a condições não ideais de armazenamento e isso afeta diretamente a composição físico-química do alimento, causando principalmente alterações oxidativas, acarretando em perda de

qualidade e diminuição do tempo de vida útil do alimento (*shelf life*). O aumento do *shelf life* de alimentos é importante, pois além de garantir ao consumidor um alimento com características mais próximas do natural também evita prejuízos econômicos na indústria. Além disso a vida útil dos alimentos que é fornecido pelas indústrias é estabelecido garantindo a qualidade e a segurança dos produtos. E esse tempo é especialmente importante visto que as nozes são alimentos muito suscetíveis à deterioração (GAMA et al., 2018).

Pesquisadores tem buscado sanitizantes alternativos que sejam eficientes contra microrganismos patogênicos e deteriorantes de alimentos que não traga riscos aos seres humanos e nem ao meio ambiente. Por sua característica de instabilidade e da não produção de subprodutos nocivos à saúde humana nem ao meio ambiente, o ozônio vem sendo considerado como alternativa de sanitização na indústria de alimentos em substituição ao cloro. (BROADWATER et al., 1973; GREENE et al., 1993; KHADRE et al., 2001; GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

O ozônio apresenta numerosas aplicações na indústria alimentícia e na medicina, sendo considerado um agente antimicrobiano de amplo espectro. Foi classificado pela FDA - Food and Drug Administration em 2001, nos Estados Unidos, como sanitizante seguro para aplicação em alimentos, já que o seu produto de degradação é o oxigênio e não deixa resíduos (Gabler et al., 2010). O ozônio é utilizado para a descontaminação da superfície de frutas e legumes, auxiliando na preservação destes durante o armazenamento (Kim et al., 1999).

No Brasil, para a ANVISA e o Ministério da Agricultura, apesar de ainda não regulamentado, o uso do ozônio (O₃), bem como outras atmosferas modificadas (O₂, N₂, CO₂), não é proibido, e permite uma maior preservação das características originais dos produtos embalados.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência do gás ozônio na sanitização da noz macadâmia com casca. Para isso, foram conduzidas análises microbiológicas, visando identificar a redução de patógenos e microrganismos deteriorantes, bem como análises físico-químicas para verificar possíveis impactos na qualidade do produto, como a estabilidade oxidativa e a preservação de suas características organolépticas.

1.1.3 Descarpeladora

Na sequência, caem em porções, em uma esteira inclinada que alimenta a máquina descarpeladora para remoção da primeira casca (carpelo), conforme figura 2.

Figura 2 – Fruto da noz macadâmia

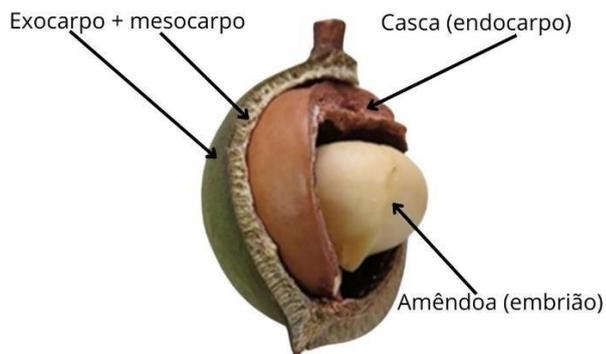


Figura 2 – Composição fruto de macadâmia. Fonte - PERDONÁ et al., 2014.

A máquina descarpeladora é formada por três peças cilíndricas e sobrepostas de borracha (pneus), envoltas por uma estrutura de ferro. Ao entrarem, as macadâmias têm o carpelo removido pelo atrito entre as partes. As cascas saem por fora de toda estrutura e caem sobre uma esteira que a levam para área externa da fábrica. Já as macadâmias descem pela estrutura de ferro que possui guias paralelas, formando um espiral, conduzindo-as até a parte inferior do equipamento até caírem sobre uma esteira formada por várias guias de metal paralelas que direciona os frutos até um funil. Do funil, seguem por tubulações dotadas de canecas de plástico, até a parte superior do silo secador, para serem submetidas ao ar frio. Ao sair da descarpeladora para a esteira de guias, os funcionários fazem uma primeira seleção visual e retiram frutos que não estão bons para prosseguir. Na parte inferior da descarpeladora são despejadas as cascas removidas das macadâmias, conduzidas para área externa para serem posteriormente trituradas e utilizadas como adubo orgânico. Nessa etapa as macadâmias são pesadas, tanto as boas quanto as ruins.

a) Esteira de Seleção

Nesta etapa a noz é classificada por tamanho e qualidade.

b) Pesagem

As nozes selecionadas vão para uma caixa de plástico e são pesadas.

1.1.4 Aeração

Neste silo as macadâmias recebem ar frio. O ar é injetado dentro do silo de baixo para cima. Desta forma, após permanecerem por 15 a 20 dias no silo, os frutos que estão na parte inferior do silo são despejados em uma esteira, que os leva até uma tubulação dotada de um elevador de canecas para serem armazenadas em uma estrutura superior, até que o volume de produção permita que sejam enviados para o silo de ar quente. Esta etapa é importante para reduzir a umidade do fruto, que chega na unidade beneficiadora em torno de 18% a 20%, dependendo do período de colheita.

1.2.5 Secagem

Quando saem do silo de ar frio, as macadâmias são transferidas por gravidade por uma tubulação e abastecem uma tubulação dotada de um elevador de canecas, que transferem os frutos para uma esteira que abastece o silo de ar quente. Neste silo, as macadâmias recebem ar aquecido a uma temperatura de 40 °C nos primeiros dias, depois 50 °C e, nos últimos dias 60 °C, que reduzirá a umidade da noz em casca entre 2,0% a 1,5% na amêndoa. Uma vez ao dia foi determinado que as 15:00 horas a temperatura deverá ser elevada para 65 °C - 70 °C a fim de reduzir a carga microbiana na casca da macadâmia, principalmente *Salmonella spp* e *Escherichia Coli*, para esses microrganismos, o aumento da temperatura reduz o tempo necessário para inativação, sendo recomendado pela ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods) atingir pelo menos 70°C para garantir a segurança dos alimentos. Para secagem (a temperatura é regulada por um regulador instalado junto ao forno de aquecimento), este é o único tratamento para controle microbiológico que a unidade aplica na noz macadâmia.

1.2.6 Silo Regulador de Fluxo (Silo Pulmão)

Após sair da etapa de secagem por ar aquecido, os frutos seguem por uma esteira até o silo regulador de fluxo que alimenta a máquina quebradora, para remoção da segunda casca. Nesse silo o tempo de permanência é de um dia, ou seja, o volume enviado para esse silo é o suficiente para a produção do dia. Isso porque nesse silo não há ventilação, e as macadâmias tem a tendência em ganhar umidade fora do silo de aeração ou de secagem.

1.2.7 Quebra (descascamento)

Esta etapa é realizada a quebra da segunda casca da macadâmia. A macadâmia sai do silo pulmão e alimenta um segundo silo menor acoplado à própria máquina. Nesta máquina, a saída do produto para quebra é regulada por um dosador, que é ajustado de acordo com a necessidade do processo. Na saída do silo, existem dois bicos que direcionam o produto para a quebra da casca. Um conjunto de facas fixadas em um eixo giratório e uma contra faca realiza a quebra do produto. A máquina possui dois destes conjuntos que realizam a quebra.

1.3 Esteira Classificadora

Após a quebra da segunda casca, as nozes passam por uma peneira que as classifica de acordo com o tamanho: inteira, quebrada ao meio ou quebrada em vários pedaços. Desta esteira, as nozes vão para o bico correspondente ao tamanho. Na esteira também há uma saída para os resíduos das cascas quebradas e uma saída para os frutos que não foram completamente quebrados e ainda podem ser reprocessados.

1.3.1 Bicos selecionadores

Da esteira, as nozes vão para o bico correspondente ao tamanho que foram selecionadas.

1.3.2 Caixas Plásticas

Dos bicos, as nozes são coletadas em caixas plásticas devidamente limpas e

selecionadas.

1.3.3 Abastecedora da máquina separadora de casca

Após as macadâmias caírem nas caixas plásticas, elas são despejadas no recipiente da abastecedora automática, que através de um controle é possível direcioná-la até o silo da máquina separadora de casca.

1.3.4 Máquina Separadora de casca

São colocadas as nozes que passaram pelo quebrador, juntamente com as cascas na máquina separadora de casca. A alimentação da máquina é manual e hoje é repetido o processo por três vezes.

1.3.5 Funil de despejo

Com o auxílio de canecas aço inox, as nozes são transferidas das caixas plásticas para o funil de despejo, que alimenta a esteira de separação. A produção para embalar no dia é apenas para um tipo de tamanho por vez. Os produtos de tamanhos diferentes dos que estão sendo processados no momento, são armazenados em sacos plásticos dentro de caixas plásticas, até o momento de ir para a esteira de separação.

1.3.6 Esteira de separação

A máquina separadora de casca não retira 100% das cascas, por isso elas ainda tem que passar por mais uma seleção, agora manual. Nesta etapa é realizada a separação das macadâmias que serão posteriormente embaladas, daquelas que não estão adequadas para serem comercializadas (nozes ruins). As nozes seguem por uma esteira, onde os colaboradores ficam dos dois lados realizando a separação.

1.3.6.1 Divisões de funcionalidades na esteira de separação:

- a) A parte do meio serão colocados os descartes;

- b) Nas partes laterais da esteira são separadas as macadâmias boas das ruins e também das cascas;
- c) As macadâmias selecionadas caem em caixas plásticas para serem inspecionadas na peneira manual. As macadâmias ruins e cascas não são aproveitadas, serão queimadas no forno para secagem das macadâmias em fase de secagem. Também são trituradas para compostagem para serem utilizadas como adubo na própria fazenda.

1.3.7 Peneiramento Inspeção visual

Esta etapa da peneira serve para uma análise visual bem criteriosa para remoção de partículas menores, possíveis contaminantes e resíduos de casca que podem ter ficado junto ao produto. A peneira é posicionada em uma caixa, para coleta dos resíduos. A operação é 100% manual.

1.3.8 Classificação da noz macadâmia

A classificação das amêndoas é feita sobre esteiras perfuradas através de uma seleção eletrônica combinada com uma seleção manual, cujo procedimento aumenta a eficácia do processo. As amêndoas de noz macadâmia possuem a seguinte classificação: estilo 0 (95% inteiras e 5% metades / >20mm); estilo 1 (90% inteiras e 10% metades / >17-20mm); estilo 2 (50% inteiras e 50% metades / > 13mm); estilo 4 (80% metades e 20% inteiras / >13mm); e estilo 5 (100% pedaços / 8mm e 12mm). Cabe informar que a unidade de beneficiamento neste estudo não trabalha com o estilo 3.

1.3.9 Adição de Sal

A maior parte das nozes são embaladas sem sal, pois a maioria das vendas são sem sal. Mas quando há um pedido com sal, essa é a etapa de adição. É realizada a pesagem do sal conforme a rotulagem e feita a mistura manualmente nas nozes em um recipiente.

1.3.9.1 Acondicionamento e pesagem

Nesta etapa, as macadâmias selecionadas são pesadas em balança de precisão quilométrica e acondicionadas em embalagem plástica. As embalagens podem conter 1 kg e 5 kg.

1.3.9.2 Selagem

A embalagem plástica com o volume adequado de produto é levada até a máquina seladora a vácuo com atmosfera modificada (Nitrogênio), para o fechamento a vácuo.

1.4 Rotulagem

Após a selagem da embalagem, a mesma recebe o rótulo com todas as informações do produto, como dados e endereço do fabricante, composição, valor calórico, informação sobre alergênicos, data de fabricação e validade, conforme a legislação brasileira ou do país de destino, no caso de exportação.

1.4.1 Detector de metais

A legislação brasileira fala sobre limites de contaminação física em alimentos na RDC Nº 623, DE 9 DE MARÇO DE 2022. A beneficiadora tem o programa de vidros e plásticos duros para controle de possíveis contaminantes físicos não metálicos, relacionados ao processo. Para contaminantes ferroso, inox e não ferroso é utilizado o detector de metais no final do processo. Após embalagem selada e rotulada, o produto segue para o detector de metais. Caso o equipamento detecte algum tipo de material metálico (≤ 2 mm), esse produto volta para reclassificação manual na peneira de análise visual. Se o detector de metais não detectar mais nada, o produto segue para próxima etapa.

1.4.2 Embalagem secundária (Caixa de papelão)

As nozes embaladas e liberadas pelo detector de metais, já liberadas pelo laudo de inspeção final são colocadas em embalagem de papelão, armazenadas ou expedidas.

1.4.3 Armazenagem

O armazenamento normalmente acontece em câmeras refrigeradas, na planta as macadâmias são armazenadas em um container refrigerado, pois altas temperaturas impactam diretamente na qualidade da noz, especialmente na questão do aumento da rancidez, ligada diretamente ao aumento do índice de peróxidos. Não existe uma temperatura indicada, mas é praticada na beneficiadora ao redor de 10 °C, em embalagem à vácuo com ATM (Nitrogênio), o produto pode ser armazenado em temperatura ambiente, mas a unidade preferiu manter o produto sob refrigeração.

1.4.4 Expedição

As caixas são colocadas de preferência em paletes (não podem ser de madeira), dentro do veículo que pode ser do comprador ou do vendedor, os veículos são inspecionados antes do carregamento, visando a segurança do produto com relação a contaminação de possíveis cargas anteriores.

1.4.5 Transporte e distribuição

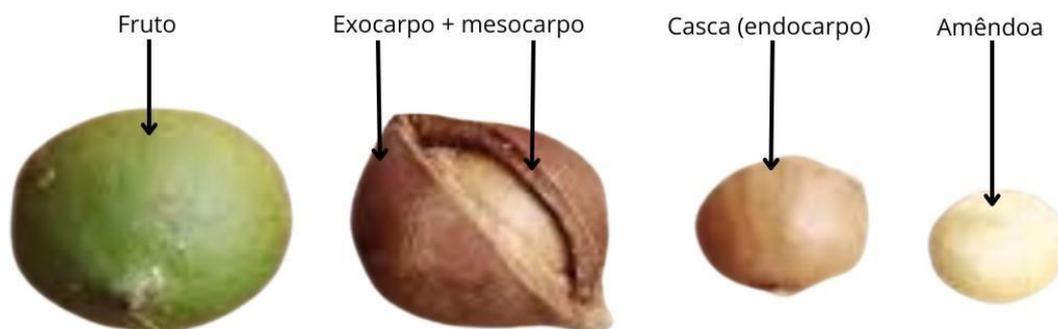
O veículo deve passar por um processo de inspeção, onde são avaliados as condições de limpeza, resíduos de outras cargas, aspectos gerais do veículo, para assegurar que o mesmo não oferecerá riscos para o produto a ser transportado. O cliente define se o transporte pode ser em veículo simples ou refrigerado. O motorista ainda assina um termo de responsabilidade, onde reconhece que no trajeto da fábrica até o cliente o produto estará sob sua responsabilidade.

2 Revisão da literatura

2.1 Caracterização do fruto da noz macadâmia

TOLEDO PIZA (1991) descreve que fruto da macadâmia possui uma capa externa verde e resistente, denominada pericarpo, que envolve a noz. A noz em casca, envolvida pelo endocarpo, apresenta uma casca marrom brilhante, e no interior da casca encontra-se a amêndoa de cor creme. Na figura 3, é possível observar os estágios da noz macadâmia.

Figura 3 – Diferentes estágios (*Macadâmia integrifolia* Maid. et Bet).



Fonte: Imagens of Forest & Kim - Makawao, Maui, Hawaii, 2008. Adaptada pela autora

2.2 Composição química da noz macadâmia (*Macadamia Integrifolia* Maiden & Betcher)

Com respeito à composição química, a macadâmia, por se tratar de um produto natural, pode apresentar variações em sua composição de acordo com o local de crescimento, variedade, manejo cultural e época de crescimento. Na tabela 1, a composição centesimal foi retirada do laudo de análise da Fazenda Suindara Ltda. Esses resultados são usados no rótulo das macadâmias comercializadas.

Tabela 1 – Composição química centesimal e teor calórico da noz macadâmia

Composição química centesimal	100g	% VD(*)
Valor Energético	736 kcal = 3093,46 kj	
Carboidratos	6,53 g	4,6
Açúcares totais	3,43 g	10,94
Proteínas	9,59 g	2
Gorduras totais	74,7 g	137,8
Gorduras trans	<0,01	**
Colesterol	0g	**
Sódio	<5,000*	0,2
Fibra alimentar	5,96 g	34,4
Ferro	0,324 mg	2
Manganês	0,12 mg	6
Zinco	0,19 mg	2
Vitamina b1 - Tiamina	0,154 mg	2

Fonte: Laudo de análises da Fazenda Suindara Ltda.

A macadâmia apresenta em sua composição química todos os aminoácidos essenciais, sendo a maioria deles encontrados em níveis ótimos (FRANÇA, 2007). Segundo a *USDA National Nutrient Database for Standard Reference* (que é um banco de dados produzido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) e *Food and Agriculture Organization* (FAO), os níveis aproximados dos aminoácidos essenciais em 100g de nozes, são: Leucina (1,2 g a 1,5 g), Isoleucina (0,8 g a 1,1 g), Valina (0,9 g a 1,2 g), Lisina (0,4 g a 0,6 g), Treonina (0,6 g a 0,8 g), Metionina (0,3 g a 0,5 g), Fenilalanina (0,7 g a 0,9 g), Triptofano (0,1 g a 0,2 g) e Histidina (0,3 g a 0,5 g).

Dessa forma, o consumo dessas nozes contribui para suprir a ausência de aminoácidos essenciais aos seres humanos (FREITAS, 2010). Além disso, a macadâmia contém uma série de componentes que promovem complementos nutritivos e saudáveis ao organismo. Estes incluem gorduras monoinsaturadas, proteínas, fibras alimentares, minerais, vitaminas e fitoquímicos (ABM, 2015).

Dentre os fitoquímicos, a macadâmia apresenta os fitoesteróis que por apresentar estrutura química similar ao colesterol, podem inibir a sua absorção intestinal e reduzir a fração LDL e o colesterol total (FREITAS, 2010).

Apesar da macadâmia conter alta porcentagem de gordura, a noz apresenta uma grande quantidade de ácidos graxos monoinsaturados que é considerado “óleo bom”, não contém colesterol ou ácidos graxos trans, pois é um alimento vegetal natural

(STEPHENSON, 2005). Na figura 4, a noz macadâmia na etapa em que os frutos ainda estão na noqueira e os frutos já colhidos sem a casca.

Figura 4 – Nogueira Macadâmia (*Macadamia Integrifolia* Maiden & Betche), com os frutos ainda verdes, frutos maduros com e sem a casca após o beneficiamento



Fonte: Publicado por toda fruta, 2016

A amêndoa é rica em óleo com ácidos graxos mono insaturados (ácido oleico, ômega-9 e ácido palmitoleico, ômega-7), que são disputados pela indústria de cosméticos na composição de hidratantes e por laboratórios farmacêuticos como redutores dos níveis de colesterol. O óleo pode ser ainda utilizado para cozinhar ou para temperar saladas. A macadâmia tem sido muito consumida como aperitivo quando salgada e torrada, acreditando-se que mais da metade da produção mundial acabe torrada, para servir de acompanhamento a bebidas em reuniões sociais, sendo também excelente para bolos, biscoitos, confeitos de chocolate e doces, (TOLEDO PIZA, 2000).

2.3 Microrganismos na noz macadâmia

Os principais microrganismos encontrados em alimentos são os fungos (bolores e leveduras), bactérias e vírus. Hui (2006) classificou os microrganismos em:

I - Microrganismos que causam alterações prejudiciais nos alimentos e que causam deterioração. A deterioração microbiana altera as propriedades sensoriais.

II - Microrganismos que representam risco à saúde. Aqueles que representam risco à

saúde são genericamente denominados patogênicos. Os alimentos podem ser contaminados por microrganismos patogênicos durante seu manuseio, processamento, armazenamento ou distribuição. A presença destes microrganismos em um alimento indica condições higiênico-sanitárias insatisfatórias.

III- Microrganismos que causam alterações benéficas nos alimentos. São os que estão presentes naturalmente no alimento ou que foram adicionados ao alimento intencionalmente. O processamento de alimentos fermentados é um exemplo da utilização destes microrganismos.

Os microrganismos indicadores gerais de contaminação do alimento são aqueles que, quando presentes em um alimento em número elevado, causam alterações prejudiciais nos alimentos e sua deterioração, diminuindo sua qualidade nutricional e vida de prateleira. A análise microbiológica destes microrganismos é realizada com o objetivo de obter informações sobre as condições gerais higiênico-sanitária do alimento, cru ou processado (EVANGELISTA, 2008).

Na pós colheita, durante o armazenamento, as nozes estão sujeitas a alterações fisiológicas com perda da qualidade, principalmente por doenças de pós colheita causadas por fungos que comprometem a qualidade principalmente pelo desenvolvimento de bolores. Entre esses, *Penicillium* spp., *Cephalothecium roseum* e *Aspergillus flavus*, que além do emboloramento produzem micotoxinas (ORTIZ & CAMARGO, 2005).

3 Ozônio

O ozônio foi descoberto pela primeira vez pelo pesquisador europeu C.F. Schonbein em 1839. Foi utilizado comercialmente pela primeira vez em 1907 no tratamento de abastecimento de água municipal em Nice e em 1910 em São Petersburgo (KOGELSCHATZ, 1988).

O ozônio tem sido amplamente utilizado em inúmeras indústrias, incluindo a indústria alimentar, há muitos anos (FUNDO et al., 2018). A aplicação de ozônio melhora a segurança microbiológica de diferentes produtos alimentícios e prolonga sua vida útil sem alterar substancialmente suas propriedades nutricionais, químicas e físicas (BRODOWSKA et al., 2018).

Ozônio ou oxigênio triatômico (O₃) é um alótropo instável de oxigênio. Bactérias

Gram-positivas e Gram-negativas, esporos bacterianos, fungos, vírus e protozoários. O ozônio afeta os lipídios insaturados na membrana celular, causando extravasamento de componentes celulares que podem ser uma alternativa eficaz aos compostos de cloro na indústria alimentar (ZIYAINA e al ZOGNE, 2010).

Ponto importante para a segurança microbiológica dos alimentos minimamente processados é a etapa de sanitização. Entretanto, pode resultar em resíduos potencialmente tóxicos (ex. cloramina e trihalometanos) nos alimentos como a (LIANGJI, X. *Journal of Food Safety*, 1999).

Apesar da cloração diminuir a propagação de doenças infecciosas transmitidas por alimentos, o efeito dos compostos clorados no meio ambiente é de grande preocupação. Lançamentos de compostos clorados para o meio ambiente podem resultar na formação de Trihalometanos em rios e, deste modo, o potencial de água potável pode ser afetado juntamente com espécies aquáticas e terrestres nativas. Por essas razões, diversas metodologias de descontaminação têm sido estudadas como alternativas para substituir o uso dos compostos clorados na sanitização de frutas e hortaliças (GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

Com isto, torna-se crescente a busca por sanitizantes alternativos que não gerem resíduos, surgindo a opção da utilização de ozônio como sanitizante de alimentos. O ozônio é um produto seguro, não deixa resíduos nos alimentos e é um agente microbicida. Assim, 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 especial atenção de pesquisadores em todo o mundo (CHIATTONE et al., 2008).

3.1 Características químicas e físicas do ozônio

O ozônio é um gás instável, incolor, de odor característico, solúvel em água, sendo sua solubilidade dependente da temperatura (Tabela 2). É também muito conhecido por ser um dos mais poderosos oxidantes existentes, o que lhe confere uma forte capacidade de desinfecção e esterilização (FORNARI, 2012).

Tabela 2 – Solubilidade do ozônio em água.

Temperatura (°C)	Solubilidade (LO ₃ / LH ₂ O)
0	0,640
15	0,456
27	0,270
40	0,112
60	0,000

Fonte: Adaptado, Fornari (2011).

3.2 Potencial Oxidativo do Ozônio

O ozônio destaca-se quando comparado a outros agentes oxidantes, pelo seu elevado potencial de oxidação (2,07 mV), sendo o segundo agente oxidante mais poderoso (Tabela 3), com potencial inferior apenas ao flúor (3,06 mV) (GUZELSEYDIM et al., 2004; SILVA et al., 2011).

Um valor de pH elevado favorece a decomposição do ozônio e a formação de diferentes tipos de compostos oxidantes com reatividades diferentes, como radicais livres hidroxila (elevado poder de oxidação) (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; LAPOLLI et al., 2003). Além da temperatura e do pH, a radiação ultravioleta ou a presença de catalisadores a base de paládio, manganês e óxido de níquel, assim como metais, óxidos de metais, hidróxidos e peróxidos aceleram a decomposição do ozônio (LAPOLLI et al., 2003; LANGLAIS; RECKHOW; BRINK, 1991).

Tabela 3 - Comparativo do potencial de oxidação de diferentes sanitizantes.

Agente oxidante	Potencial de oxidação (mV)
Flúor (F ₂)	3,06
Ozônio (O ₃)	2,07
Peroxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂)	1,77
Permanganato (MnO ₄ -)	1,55
Ácido Hipocloroso	1,49
Cloro (Cl ₂)	1,36

Fonte: Adaptado, Gonçalves e Kechinski, (2011); Pezzi (2009).

3.3 A aplicação de ozônio em Alimentos

O ozônio foi utilizado, pela primeira vez, como agente conservante de alimentos em 1909, em câmaras frias de estocagem de carnes. Entretanto, naquela época sua utilização como desinfetante não atingiu maiores proporções na indústria de alimentos devido principalmente ao seu custo em relação a outras substâncias como, por exemplo, o cloro (CHIATTONE et al., 2008). Somente em 1982 o ozônio foi declarado como substância reconhecidamente segura (GRAS — “Generally Recognized as Safe”), pelo FDA (Food and Drug Administration) com uso permitido apenas como sanificante para água engarrafada. Alguns anos mais tarde sua utilização foi estendida aos alimentos (KIM et al., 1999; FREITAS - SILVA & VENÂNCIO, 2010).

Na pesquisa liderada pelos pesquisadores da Embrapa (OTNIEL F. S. et al, 2019) foram avaliados os efeitos de diferentes condições de ozonização gasosa e aquosa na redução de fungos e micotoxinas em milho. A ozonização gasosa apresentou reduções de até 57% nos níveis de aflatoxinas (B1, B2, G1 e G2) e redução na contagem de fungos totais. A tecnologia é simples, fácil de ser aplicada, derivada de muito conhecimento agregado nas últimas décadas e pesquisa de ponta, podendo ser utilizada na descontaminação de vários grãos como milho e arroz, ou mesmo de algumas sementes oleaginosas como a castanha-do-brasil (OTNIEL F.

S. et al, 2019).

3.4 Formas de aplicação do ozônio

As principais formas de aplicação do ozônio em alimentos são:

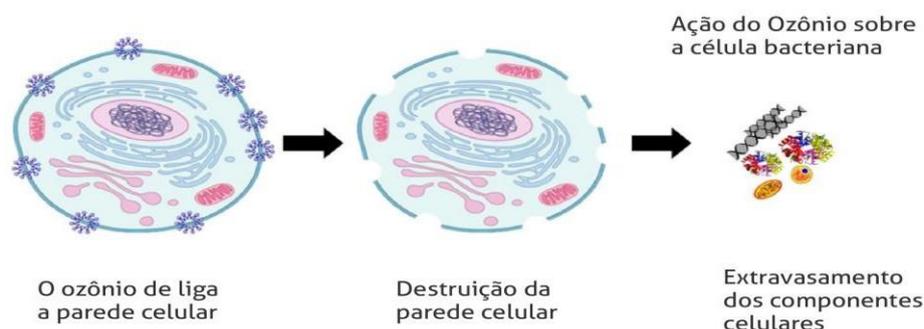
- **Ozônio gasoso:** Aplicado diretamente sobre alimentos em câmaras fechadas para desinfetar frutas, vegetais, nozes, carnes e frutos do mar.
- **Água ozonizada:** Utilizada para lavar frutas, vegetais, carnes e produtos do mar, removendo patógenos e pesticidas residuais.
- **Tratamento de armazéns e ambientes:** O ozônio gasoso é aplicado em câmaras de armazenamento para controlar microrganismos no ambiente.
- **Embalagens ozonizadas:** O ozônio pode ser inserido em embalagens antes de fechá-las, prolongando a conservação dos alimentos.

3.5 Mecanismos de Ação

O ozônio destrói microrganismos reagindo com componentes celulares, especialmente aqueles que contêm ligações duplas, grupos sulfidril e anéis fenólicos. Portanto, fosfolípidios de membrana, enzimas intracelulares e material genético são alvo de ozônio; estas reações resultam em danos celulares e a morte dos microrganismos. (RAMASWAMY et al., 2014).

Utilizado em pequenas concentrações e curto tempo de contato é suficiente para inativar bactérias, fungos, esporos, vírus e protozoários e não causa alterações consideráveis às propriedades sensoriais do produto (ÖLMEZ; AKBAS, 2009). O Ozônio é muito eficiente na remoção do etileno através de reação química, podendo aumentar a vida de prateleira de muitas frutas e vegetais (SIMÃO; RODRÍGUEZ, 2009). Na figura 5, os mecanismos de ação são mostrados na ordem de como o ozônio age nos microrganismos.

Figura 5 - Mecanismo de ação da ozonização nas células bacterianas



Fonte: Portal e-food - Portal colaborativo para profissionais, empresas, estudantes e professores da área de Segurança de Alimentos

3.6 Efeitos da Utilização do Ozônio

O ozônio é descrito como um dos sanitizantes mais eficazes, sendo capaz de eliminar uma ampla gama de microrganismos patogênicos e deteriorantes, decompondo-se rapidamente em um produto atóxico (O_2), que não deixa resíduos nos alimentos e não apresenta efeitos adversos em seres humanos sob condições normais de uso (LIANGJI, 1999; KHADRE et al., 2001; SOPHER et al., 2002). Diariamente o homem é exposto a pequenas concentrações de ozônio, uma vez que o mesmo é encontrado na atmosfera como resultado da oxidação fotoquímica dos hidrocarbonetos emitidos pelos automóveis e pelas indústrias, além de ser produzido também por transformadores elétricos, fotocopiadoras, entre outros aparelhos elétricos (XU, 1999; PRYOR, 2002).

3.7 Legislações quanto ao uso do Ozônio

O ozônio e a legislação na área de alimentos, para a ANVISA e o MAPA, apesar de ainda não regulamentado, o uso do ozônio (O_3) não é proibido, bem como outras atmosferas modificadas (O_2 , N_2 , CO_2), que permite uma maior preservação das características originais dos produtos embalados aumentando a vida útil dos produtos.

No reconhecimento da qualidade e segurança de seu uso, o ozônio já tem regulamentação pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), através dos decretos 3179/99, 410/2002 ou 430/2011.

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), dispensa a publicação de RDC para uso de ozônio em alimentos.

O ozônio foi reconhecido como seguro para uso em alimentos (GRAS - Generally Recognized as Safe) pelo Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos em 1997 para o uso como sanitizante em alimentos. Em 2001, o FDA ampliou essa aprovação, permitindo o uso do ozônio como agente antimicrobiano para o tratamento, armazenamento e processamento de alimentos, seja na forma de gás ou dissolvido em água, em contato direto com os alimentos.

3.8 Ozônio como alternativa de tratamento

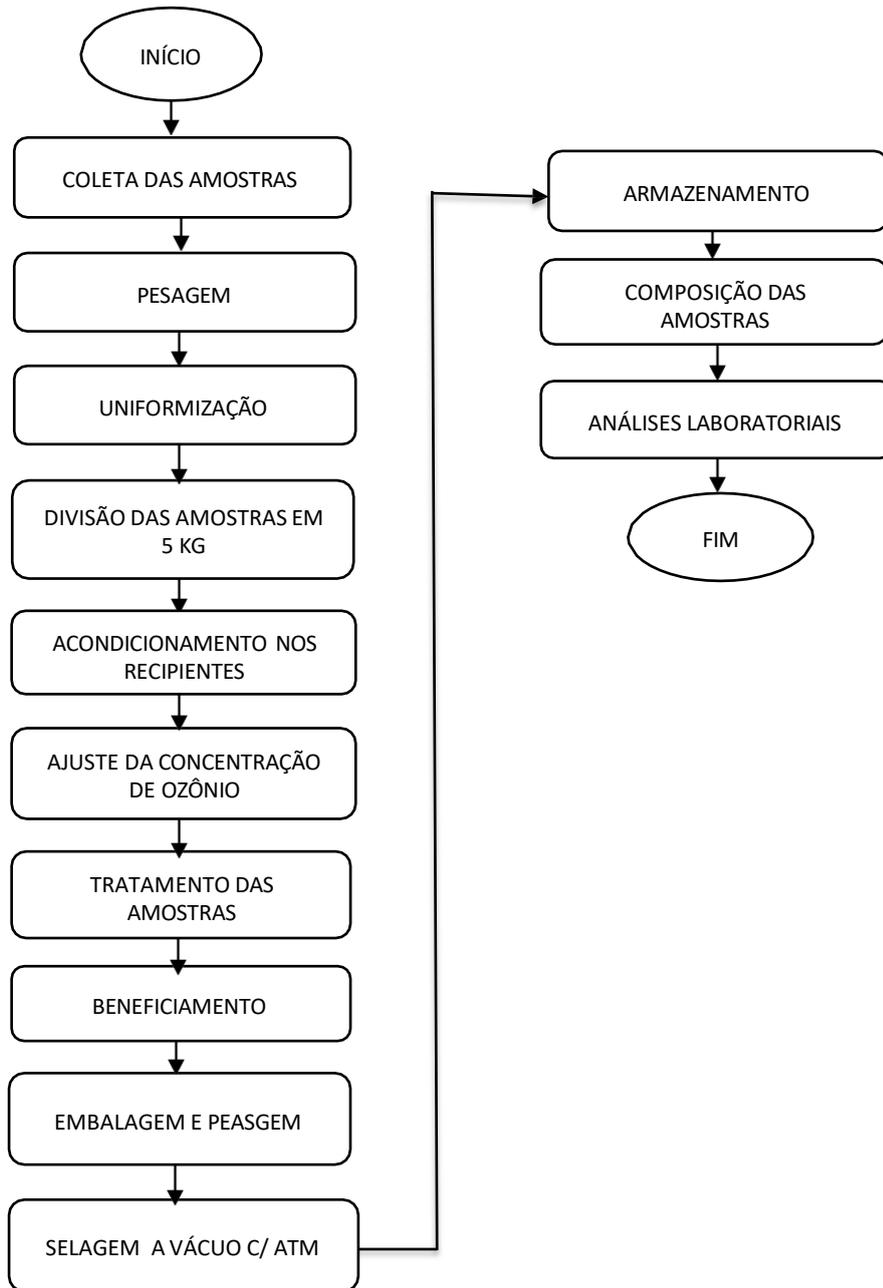
Dentre as novas tecnologias no controle de microrganismos, o ozônio é uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável no contexto da manutenção e preservação da qualidade dos produtos de origem vegetal. Isso se deve ao fato do mesmo ser um produto seguro, não deixando resíduos nos alimentos, diferente de outros produtos utilizados também na desinfecção (CHIATTONE et al., 2008).

Quando comparado a outros agentes oxidantes, o ozônio se destaca por ser o sanitizante que além de potencial de oxidação, pode entrar em contato com o alimento. Em relação ao potencial de oxidação só perde para o flúor, desse modo, sua elevada capacidade de desinfecção e esterilização lhe permite uma ação sanitizante em menor tempo de contato e concentração (SILVA et al., 2011).

4 Material e métodos

O experimento foi realizado em 08 de março de 2023, nas dependências da empresa Ozônio & Life — São José dos Campos, SP.

Figura 6 - Fluxograma de processo com as etapas do experimento



Fonte: Autora

4.1 Noz macadâmnia

4.1.2 Variedade e obtenção

Para o experimento foram utilizados 40 kg de noz macadâmnia com casca, das cultivares 412b e 816, cedidas pela empresa Fazenda Suindara Ltda, produtora e beneficiadora de noz macadâmnia, em Cesário Lange, SP. Para efeito comparativo, foram coletadas no mesmo dia a mesma quantidade de noz macadâmnia (40 kg), para passar por todo o processo e análises, exceto o tratamento com o gás ozônio.

4.1.3 Características

As amostras de noz macadâmnia foram coletadas no silo de secagem, onde as macadâmias estavam no processo de secagem há 15 dias. O processo de secagem desse produto pode durar de 20 a 30 dias, portanto esse processo ainda não havia terminado, e por isso a umidade da noz ainda não estava no padrão comercial que é de 1,5% a 1,80%. A umidade após o tratamento e beneficiamento da amostra controle foi de 2,29 % e da amostra tratada 2,47 %. O tratamento foi realizado na noz macadâmnia com casca.

4.2 Ozônio

4.2.1 Obtenção do ozônio

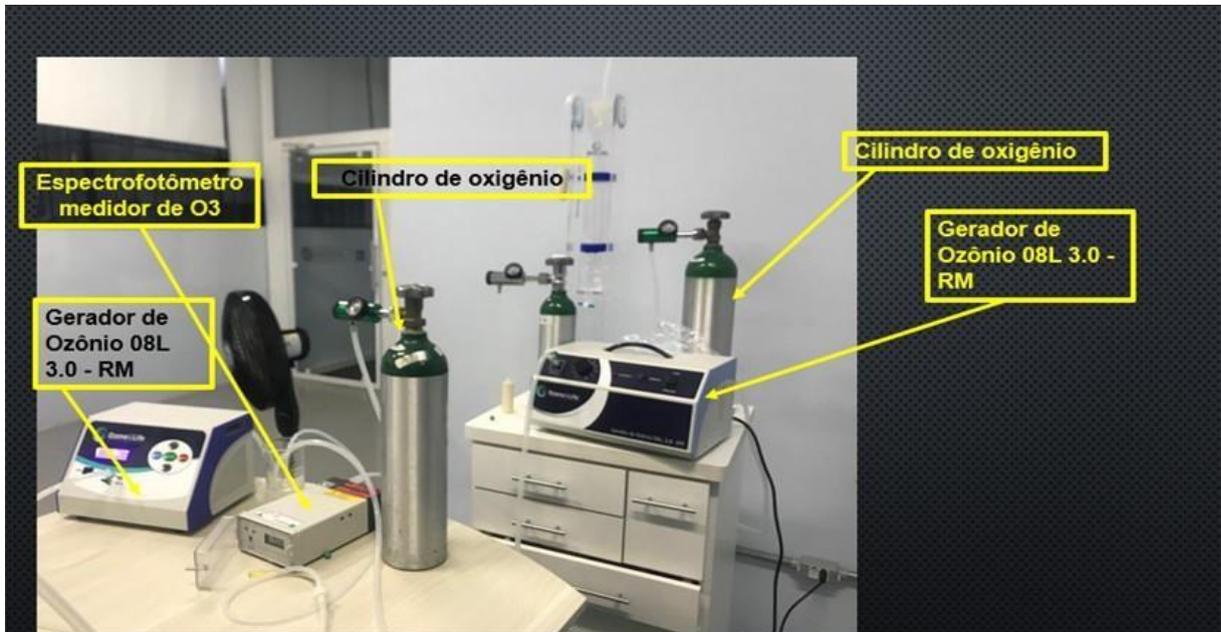
Para obtenção do gás ozônio foram utilizados dois equipamentos Geradores de Ozônio 08L 3.0 - RM, um Espectrofotômetro medidor da concentração do O₃, dois Cilindros de oxigênio, da Empresa Ozônio & Life.

4.2.2 Forma de utilização

Os 40 kg de noz macadâmnia foram divididos em 8 amostras de 5 kg, acondicionadas em dois recipientes de polietileno com tampa lacre fechamento hermético, atóxico, próprio para alimentos. O ozônio foi aplicado na concentração de 10 mg/L de ozônio e o tempo de 45 minutos para cada amostra. Os geradores de ozônio estavam ligados por duas entradas dos recipientes plásticos com tampa e que também possuía um orifício de saída que levava a um becker com água (ligado a um

espectrofotômetro), onde é possível medir a sobra do gás ozônio. Os equipamentos usados no processo de ozonização das nozes podem ser observado na Figura 5.

Figura 7 — Equipamentos geradores de ozônio utilizados para o tratamento das amostras de noz macadâmia.



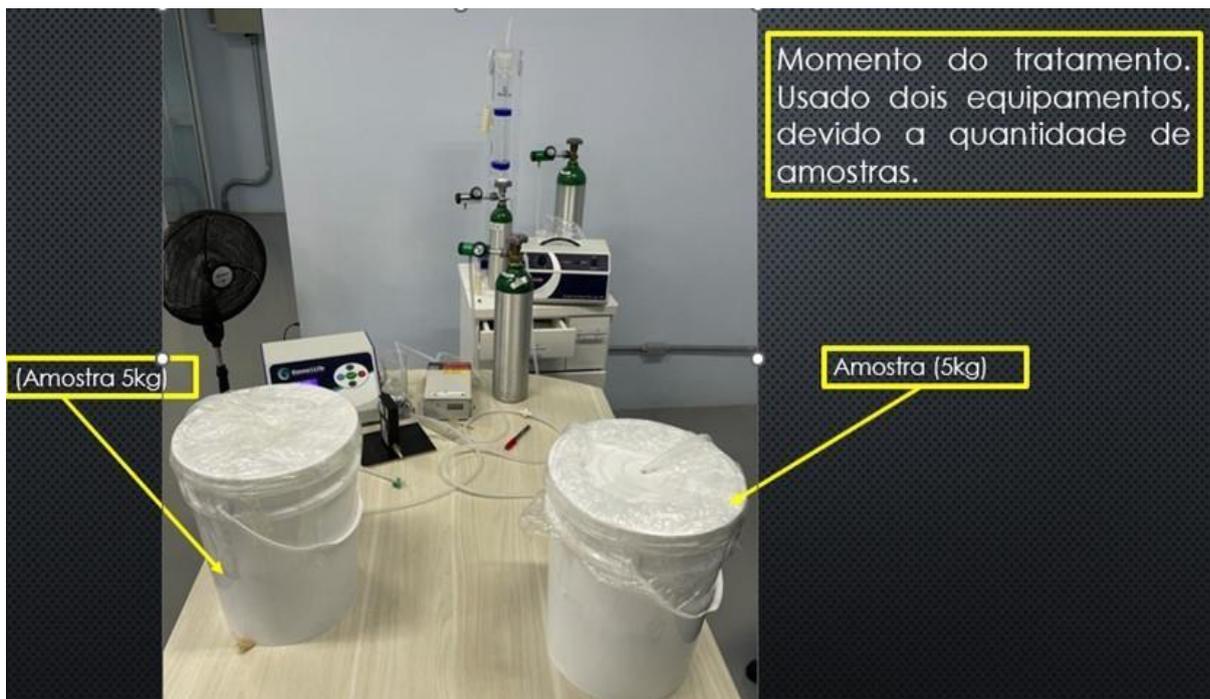
Fonte: Autora

Figura 8 – Amostra de noz macadâmia com casca a ser tratada com gás ozônio.



Fonte: Autora

Figura 9 – Amostras de noz macadâmia recebendo o tratamento com o gás ozônio



Fonte: Autora

4.3 Tratamento da noz macadâmia

Tabela 4 - Tratamento da noz macadâmia com gás ozônio.

Amostras de noz macadâmia em casca (5 kg / amostra)	Ozônio	
	Concentração	Tempo de exposição
1	10 mg/L	45 minutos
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Fonte: Autora

Foram tratadas 8 amostras de noz macadâmia com casca, cada uma com 5 kg, duas de cada vez, utilizando dois equipamentos geradores de ozônio. Foi utilizado a mesma concentração e tempo de tratamento para todas as amostras.

Tabela 5 - Concentração de ozônio na entrada e na saída do corpo de prova, fluxo de oxigênio 2 L/min.

Tempo (min)	Entrada: Concentração de ozônio (mg/L)	Saída: Concentração de ozônio (mg/L)
0'	10	0
1'	10	0
5'	10	0
10'	10	0
30'	10	2,0
45'	10	2,5

Fonte: Autora

As amostras foram tratadas sendo avaliada a concentração do gás ozônio na entrada e na saída do corpo de prova. A entrada mostra a concentração de ozônio no interior da amostra e a saída representa a sobra de ozônio.

4.4 Beneficiamento da noz macadâmia

Após o tratamento da noz macadâmia com o ozônio, as mesmas foram levadas até a unidade de beneficiamento na Fazenda Suindara Ltda, em Cesário Lange, SP, onde foi realizado todas as etapas do processo de beneficiamento. O processo iniciou com a retirada da casca no equipamento chamado quebrador, depois pela etapa de seleção manual na esteira de seleção, onde foram retiradas as cascas e as nozes que não estavam no padrão de qualidade na questão da aparência, seguiram para a peneira de inspeção manual onde foram retiradas algumas impurezas que podem ter ficado após a etapa da esteira de seleção, depois foram embaladas em embalagem plástica de 1 kg, pesadas, seladas em seladora à vácuo com ATM — Atmosfera Modificada (Nitrogênio), que é o processo já realizado pela unidade beneficiadora, as amostras foram colocadas em caixa de papelão e armazenadas em container refrigerado com temperatura controlada ao redor 10°C, por 180 dias e 360 dias. Na figura 10, mostra a primeira etapa do beneficiamento das amostras controle e amostras tratadas.

Figura 10 – Beneficiamento da noz macadâmia, amostras tratadas e controle (não tratadas). Cada amostra (tratada e controle) foram beneficiadas separadamente.



Fonte: Autora

4.5 Rendimento da noz macadâmia

O rendimento ou (TR%) taxa de recuperação da noz macadâmia é quanto de noz vai render após o beneficiamento (retirada de casca). É importante notar a taxa de recuperação percentual (TR%) do fruto de macadâmia. Um quilo de noz em casca pode proporcionar normalmente, de 250 g a 400 g de amêndoas, correspondendo a uma taxa de recuperação (TR%) de 25% a 40%. ABM (Associação Brasileira de Noz Macadâmia).

A (TR%) das macadâmias da Fazenda Suindara Ltda, normalmente ficam em torno de 25%, mas isso também está relacionado com a variedade e qualidade da mesma, nozes com bastante defeitos, após a retirada da casca tendem a ter (TR%) menores que 25%, como foi o caso das macadâmias usadas para o estudo. Os 40 kg de macadâmia com casca tratada, assim como, os 40 Kg de macadâmia não tratadas, renderam apenas 9 Kg cada, um pouco menos de 25%, exatos 22,5%, isso devido a qualidade das nozes que estavam com bastante defeito. A (TR%) taxa de recuperação da noz macadâmia está relacionada também com a cultivar, conforme mostram alguns estudos. As cultivares HAES 816 e IAC 4-20 tiveram valores acima das médias alcançadas na Austrália (33 %), e as cultivares IAC 4-

12B, HAES 660, HAES 344 e IAC 9-20 apresentaram médias acima das médias atingidas na África do Sul (25 %) e EUA (24 %), apontadas por Sobierajski et al. (2006).

Tabela 6 - Rendimento da noz macadâmia pós-retirada da casca

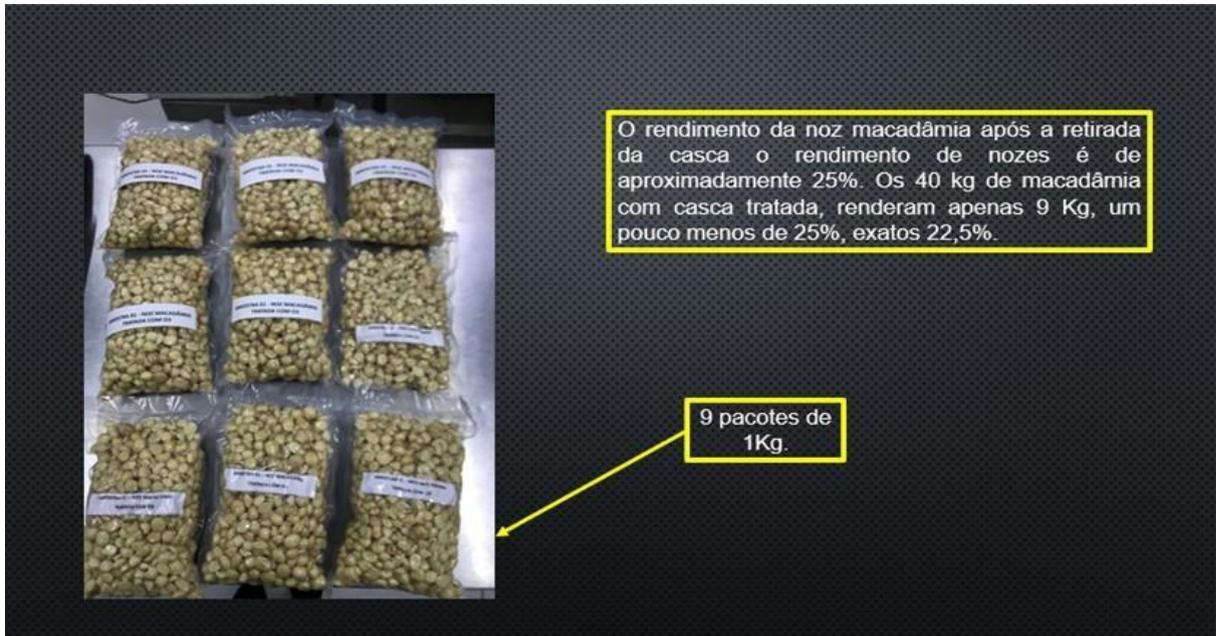
Amostras simples (1 kg)	Tratamento	Amostras compostas (1 kg)	Tempo de armazenagem (dias)	Análises
1				Microbiológicas:
2		1	0	(1) Salmonella
3				(2) Escherichia coli
4				(3) Coliformes Totais
5	Ozônio	2	180	(4) Mesófilos Aeróbios viáveis a 30 °C
6				(5) Bolores e Leveduras.
7				
8		3	360	
9				
10				Físico-químicas:
11		1	0	(1) Umidade
12				(2) Acidez
13				(3) Índice de Peróxidos
14	Controle	2	180	(4) Aflatoxinas B1
15				(5) Aflatoxina B2
16				(6) Aflatoxina G1
17		3	360	(7) Aflatoxina G2
18				

Fonte: Autora

Ao final do processo de beneficiamento das nozes, houve um rendimento de 18 kg (22,5 % de 80 kg), 18 amostras de (1kg), 9 amostras tratadas e 9 amostras controle (sem tratamento).

4.6 Amostras de noz macadâmia após o beneficiamento

Figura 11 - Amostras controle (sem tratamento), após o beneficiamento, prontas para o armazenamento.



Fonte: Autora

Figura 12 – Amostras tratadas após o beneficiamento, prontas para o armazenamento.



Fonte: Autora

Figura 13 - Seladora a vácuo com ATM – Atmosfera Modificada (Nitrogênio)



Fonte: Autora

4.7 Selagem à vácuo com ATM – Atmosfera Modificada (Nitrogênio)

A selagem à vácuo com ATM é um processo de injeção de gás ou atmosfera modificada (nitrogênio), é o processo de modificação da atmosfera interna da embalagem, retirando o gás oxigênio comum e introduzindo uma composição de gases específicos para o aumento da vida útil de cada produto.

A principal indicação do uso da Atmosfera Modificada é para produtos como verduras, frutas, pães, biscoitos e produtos frágeis em geral ou que necessitam da modificação da atmosfera para que sua vida útil seja prolongada.

4.8 Amostragem e análises

Após as amostras de noz macadâmia passarem pelo processo de beneficiamento, incluindo a embalagem, foram armazenadas em container com temperatura ao redor de 10°C, por 180 dias e 360 dias. As amostras do (tempo zero) foram encaminhadas ao laboratório para as primeiras análises.

Figura 14 – Amostragem da noz macadâmia controle (sem tratamento).



Fonte: Autora

Figura 13 - Amostragem da noz macadâmia tratada com ozônio



Fonte: Autora

4.9 Composição das amostras

A composição das amostras foram realizadas da seguinte forma: Foram abertas três embalagens (tratadas e não tratadas), homogeneizada cada uma separadamente. Preparadas amostras de (1 Kg de amostra tratada) e (1 kg de amostra sem tratamento). As amostras foram encaminhadas ao laboratório para a realização das análises. Uma contraprova foi guardada até o final do estudo. Todas as análises foram realizadas por laboratório particular independente. Os laboratórios privados, todos certificados auditados por organismos oficiais, informaram que realizaram as análises em triplicata, mas em respeito a seus protocolos internos, disponibilizaram apenas os valores médios dos resultados das análises.

4.9.1 Padrões microbiológicos e físico-químicos a serem avaliados nas amostras tratadas e sem tratamento

Foram analisadas variáveis microbiológicas (*Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, Coliformes totais, Bolores e Leveduras, Mesófilos Aeróbios) e físico-químicas (Umidade, Acidez, Índice de Peróxido e Aflatoxinas). Os resultados serão expressos como: “Qualidade aceitável”, “Qualidade intermediária” ou “Qualidade inaceitável”.

4.9.2 Metodologias de análises utilizadas pelos laboratórios independentes

Metodologias usadas pelos laboratórios para a realização das análises: Aflatoxinas B1,B2, G1,G2 (POP-QM001/13, LC-FLD); Acidez (Método 016/IV do Instituto Adolfo Lutz:2008 / Métodos Físico Químicos para Análise de alimentos - edição IV, cap. XXVI, p 81); Umidade (Método 012/IV do Instituto Adolfo Lutz:2008 / Contagem de bolores e leveduras (ISO 21527-1:2008 / NBR ISO 21527:2008 - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds); Contagem Total de Aeróbios Mesófilos (CMMEF 5ª ed. 2015. Chapter 8); Contagem de Coliformes Totais (ISO 4832:2006 / NBR ISO 4832:2012 - Método Horizontal para enumeração de Coliformes - Técnica de contagem de colônias); Contagem de *Escherichia coli* (AOAC Official Methods of Analysis. Methods 991.14- 20th ed 2016 / AOAC 011902 - Media Pad EC); Detecção de *Salmonella spp* PCR (BACGene): (AFNOR EGS 38/01-03/15); Índice de Peróxido: ISO 27107:2009.

5 Resultados e discussão

5.1 Resultados esperados após o tratamento

Tabela 7 – Especificações da noz macadâmia conforme a legislação, mercado interno e externo.

Amostras tratadas	Amostra composta	Tempo de armazenagem (dias)	Análises	Padrões	Legislação/ Mercado
1			<i>Salmonella spp</i>	Ausência 25/g	IN 161 de 2022
2	1 kg		Coliformes Totais	< 350 /g	(AMS)
3			<i>Escherichia coli</i>	Máx. 10	IN 161 de 2022
4			Bolores e Leveduras Mesófilos Aeróbios	(< 20000 UFC/g)	Internacional
5	1 kg	0, 180 e 360	Viáveis a 30°C	< 30000 UFC/g	(ABM) e (AMS)
6			Umidade	Máx. 1,80 %	Mercado Nacional
7			Índice de Acidez	Máx. 3 mgKOH/g	Mercado Nacional
8	1 kg		Índice de Peróxidos	≤ 3 meq/kg	Internacional
9			Aflatoxinas	Máx. 10 mcg/kg	IN 160 de 2022

Fonte: Autora

5.2 Resultados obtidos

Tabela 8 – Resultados obtidos nas amostras controle e amostras tratadas.

Análises	Resultados esperados	Amostra controle - tempo (0)	Amostra tratada - tempo (0)	Amostra controle - tempo (180) dias	Amostra tratada - tempo (180) dias	Amostra controle - tempo (360) dias	Amostra tratada - tempo (360) dias
<i>Salmonella spp</i>	Ausência 25/g	Ausência 25/g	Ausência 25/g	Ausência 25/g	Ausência 25/g	Ausência 25/g	Ausência 25/g
<i>Escherichia Coli</i>	Máx. 10	< 10* UFC/g	< 10* UFC/g	< 10* UFC/g	< 10* UFC/g	< 10* UFC/g	< 10* UFC/g
Coliformes Totais	< 350 /g	< 100 UFC/g	< 100 UFC/g	< 200 UFC/g	< 100 UFC/g	< 200 UFC/g	< 100 UFC/g
Bolores e Leveduras	< 20000 UFC/g	300 UFC/g	160 UFC/g	900 UFC/g	600 UFC/g	1200 UFC/g	750 UFC/g
Mesófilos Aeróbios Viáveis a 30 °C	< 30000 UFC/g	900 UFC/g	600 UFC/g	1000 UFC/g	620 UFC/g	900 UFC/g	600 UFC/g
Umidade	Máx. 1,80 %	2,29 %	2,47 %	2,39 %	2,51 %	2,35 %	2,55 %
Acidez (ml solução N%)	Máx. 3 mgKOH/g	2,17	2,96	2,33	2,49	2,39	3,20
Índice de Peróxidos	≤ 3 meq/kg	1,5 meq/kg	< 0,4 meq/kg	1,8 meq/kg	< 0,3 meq/kg*	2,3 meq/kg	< 0,3 meq/kg*
Aflatoxinas							
B1		< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg
B2		< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg
G1	Máx. 10	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg	< 1,50* ug/kg
G2	mcg/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg	< 0,50* ug/kg

Fonte: Autora. Legenda: * Menor que o limite de quantificação

5.3 Discussão

O tratamento com o gás ozônio na noz macadâmia, se mostrou eficiente na redução de Coliformes totais, Mesófilos Aeróbios (viáveis a 30 °C), Bolores e Leveduras, em relação às amostras sem tratamento. Durante o período de armazenamento (180 dias e 360 dias), houve crescimento desses microrganismos nas amostras sem tratamento e nas amostras tratadas, mas esses valores foram muito menores nas amostras tratadas. Em ambas as amostras (controle e tratada) o crescimento dos microrganismos não atingiram limites inaceitáveis.

Em carcaças bovinas o tratamento com ozônio diminuiu a contagem de mesófilos aeróbios, coliformes e clostrídios (sulfito redutores comuns em carne transportada), além de melhorar a qualidade de armazenamento. Carcaças tratadas por 9 dias com 0,03 ppm de ozônio a 1,6 °C e 95 % de umidade relativa, não apresentaram crescimento bacteriano na superfície das peças (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999).

Allende et al. (2007) encontrou redução de quase 1 ciclo log depois de 5 dias de armazenamento, no crescimento de bolores e leveduras quando era usado gás ozônio em combinação com atmosferas enriquecidas com oxigênio e dióxido de carbono. Sendo que a ação conjunta do ozônio e oxigênio apresentou a menor quantidade de unidades formadoras de colônias durante os 12 dias de armazenamento. Foi observada por Wang, Feng e Luo (2004) uma redução de 1,3 ciclos log em morangos minimamente processados que foram ozonizados por 60 minutos com gás na concentração de 50 mg L⁻¹ e fluxo de 15 L min⁻¹. Com ozonização por 20 minutos, Morais et al. (2015) foram capazes de reduzir a quantidade de bolores e leveduras aumentando a vida útil. Smilanick, Crisosto e Mlikota (1999) conseguiu reduzir 91 % da população de bolores e leveduras em morangos que foram imersos por dois minutos em água ozonizada com concentração de 4 µg mL⁻¹.

As amostras analisadas apresentaram ausência para *Salmonella* spp, tanto nas amostras tratadas, quanto nas amostras controle (sem tratamento), não sendo possível comprovar a eficiência do ozônio para esse microrganismo. O mesmo aconteceu com *Escherichia coli*, pois as amostras tratadas e controle (sem tratamento) apresentaram nas análises resultados menores que o limite de quantificação. Porém, estudos mostram que o ozônio é eficiente também para esses patógenos.

O uso de ozônio gasoso também já foi usado para redução de *Salmonella* e *Escherichia coli* em morango e framboesa. No caso do morango foi possível reduzir 2,6 e 2,9 ciclos log para esses patógenos respectivamente, com ozonização por 64 minutos seguido de ozonização pressurizada também por 64 minutos. Na ozonização contínua, foi possível reduzir de 0,1 a 0,9 ciclos log de *Salmonella* spp e de 0,3 a 1,8 ciclos log para *E. coli* (BIALKA; DEMIRCI, 2007).

Em nenhum das amostras (tratadas e sem tratamento), na instalação do experimento (0 dias), aos 180 dias e 360 dias de armazenamento, foram constatadas concentrações de Aflatoxinas (B1, B2, G1, G2) acima do limite de quantificação.

A produção de micotoxinas pelos fungos requer ambientes com condições apropriadas, sendo uma delas a temperatura mais elevada. Assim, o armazenamento à temperatura ao redor de 10 °C certamente contribuiu para os bons resultados obtidos neste estudo. Entretanto, há estudos comprovando a eficácia do ozônio na degradação da aflatoxina em outros produtos, como mostra Alencar et al. (2012) ao estudarem o efeito da ozonização em grãos de amendoim. Observaram reduções nos teores de aflatoxinas totais e aflatoxina B1 após 96 h de exposição ao gás ozônio na concentração de 21 mg L⁻¹. Ao estudar o efeito do O₃ em sementes de trigo, Wang et al. (2016) também observaram redução na incidência de desoxinivalenol (DON), micotoxina produzida por fungos do gênero *Fusarium*. A degradação de DON foi na ordem de 26,4 %, 39,2 % e 53,5 % após a exposição das amostras (34 a 75) mg L⁻¹ de ozônio, durante 30 min, 60 min e 90 min, respectivamente.

Durante o armazenamento, a produção de micotoxinas é afetada por diversos fatores, dentre os quais atividade de água, temperatura, presença de danos mecânicos ocasionados por insetos, composição nutricional, composição do gás intergranular, competição entre espécies, dentre outros (SHAPIRA e PASTER, 2004). A síntese de aflatoxinas por *A. flavus* ocorre em temperaturas entre 15 °C e 37 °C, sendo mais acentuada na faixa entre 20 °C e 30 °C (FAO, 2001).

A eficácia do processo de ozonização na degradação de aflatoxina em grãos de milho com teor de água (base úmida) entre 10 % e 12 % foi verificada por Prudente e King (2002). O gás ozônio foi aplicado na massa de grãos com vazão de 2 L min⁻¹, sendo observada uma redução de 92 % na concentração de aflatoxinas no produto. Inan et al. (2007) estudaram o poder detoxificante do gás ozônio sobre aflatoxinas em

pimentão. Foram utilizadas três concentrações do gás ozônio (16 mg L^{-1} , 33 mg L^{-1} , e 66 mg L^{-1}) e quatro períodos de exposição (7,5 min; 15,0 min; 30,0 min e 60,0 min). Os autores observaram uma redução de 80 % e 90 % de aflatoxina B1, após 60,0 min, para as concentrações do gás ozônio de 33 mg L^{-1} e 66 mg L^{-1} , respectivamente. Ressalta-se ainda que o ozônio não altera a composição nutricional dos cereais e que não são formados metabólitos prejudiciais à saúde humana e animal (KIM et al., 2003; MENDEZ et al., 2003; YOUNG et al., 2006).

Foram observados resultados favoráveis para o índice de peróxido. O aumento de 0,8 meq/kg no decorrer de 360 dias, pode ser considerado normal para as condições de armazenamento das amostras sem tratamento. Já nas amostras tratadas com ozônio (0 dias, 180 dias e 360 dias) o índice de peróxidos ficou abaixo do limite de quantificação.

O índice de peróxido do óleo bruto extraído de grãos de amendoim não variou significativamente em decorrência da concentração do gás ozônio e período de exposição ($p > 0,05$). Ressalta-se que os valores médios do índice de peróxido permaneceram abaixo de 10 meq kg^{-1} de amostra, limite estabelecido no Brasil para comercialização de óleo bruto de amendoim (ANVISA, 1999). Resultados semelhantes foram observados por Faroni et al. (2007) em óleo bruto extraído de grãos de milho, ozonizados e armazenados por 168 h.

Não esperados foram os resultados de umidade e acidez, visto que as amostras tratadas tiveram um acréscimo, mesmo que não significativo.

O experimento comprovou a eficiência do ozônio para tratar a noz macadâmia com casca, principalmente para os microrganismos Mesófilos Aeróbios Viáveis, a 30°C , Bolores e Leveduras e Coliformes Totais.

Dados os resultados obtidos, é perfeitamente recomendável a utilização desse processo para o beneficiamento da noz macadâmia, porém, ainda dando atenção especial à umidade e acidez do produto.

6 Conclusão

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso do ozônio é uma solução promissora para o tratamento da noz macadâmia, oferecendo vários benefícios ao longo da cadeia de processamento. A aplicação de ozônio mostrou-se eficaz na redução de Coliformes Totais, Mesófilos Aeróbios Viáveis a 30 °C, Bolores e Leveduras, além de contribuir significativamente para a diminuição do Índice de Peróxido.

A redução de Mesófilos Aeróbios Viáveis a 30 °C, Bolores e Leveduras é especialmente relevante, uma vez que esses microrganismos são notoriamente difíceis de manter em níveis aceitáveis e tendem a se proliferar durante o beneficiamento de nozes. A diminuição do Índice de Peróxido também se destaca, pois está diretamente relacionada à prevenção da rancificação, um fator crucial para a qualidade e a durabilidade do produto, principalmente em mercados de exportação, onde as especificações exigem índices extremamente baixos. Assim, a aplicação de ozônio se posiciona como uma tecnologia valiosa para garantir a segurança microbiológica e a conservação da noz macadâmia ao longo de sua armazenagem e comercialização.

7 Considerações Finais

Os bons resultados obtidos neste estudo abrem novas perspectivas para o tratamento da noz macadâmia sem casca. Neste estudo, o ozônio não foi aplicado diretamente à noz sem casca devido ao receio de que sua ação altamente oxidativa pudesse elevar o índice de peróxidos e acelerar o processo de rancificação, comprometendo a qualidade e a durabilidade do produto. Mas os bons resultados analíticos obtidos neste estudo, inclusive quanto a não elevação significativa dos índices de peróxidos, sugerem que resultados semelhantes talvez possam ser alcançados pela aplicação de ozônio também em macadâmia sem casca.

Neste estudo inicial, os testes foram realizados com apenas uma concentração de ozônio e um único período de exposição ao mesmo, variando-se apenas o período de armazenamento (0 dias, 180 dias e 360 dias) após tratamento com ozônio. Assim, é provável que outras combinações entre concentrações de ozônio e períodos de exposição ao mesmo possam proporcionar resultados ainda melhores.

Com base nos resultados obtidos para Coliformes Totais, Mesófilos Aeróbios Viáveis a 30 °C, Bolores e Leveduras, Índice de Peróxidos, e concentrações de Aflatoxinas, considera-se que os objetivos do estudo foram alcançados.

As amostras utilizadas para o experimento apresentaram ausência para *Salmonella spp.* e *Escherichia coli* ficou abaixo do limite de quantificação, mesmo nas amostras controle (sem tratamento). Portanto não foi possível determinar neste estudo, se o ozônio é eficiente no controle destes microrganismos. Todavia, estudos comprovam sua eficácia em outros produtos. Assim se faz necessários novos estudos com amostras de noz macadâmia nas quais estes patógenos estejam presentes de forma significativa, para então avaliar a eficácia do tratamento com ozônio no controle destes microrganismos em noz macadâmia.

8 Referências

- ABNC – Associação Brasileira de Nozes, Castanhas e Frutas Secas. **Uma História Aborígene e Europeia Entrelaçadas**. Disponível em <[Macadâmia – ABNC \(abncnuts.org.br\)](http://Macadâmia – ABNC (abncnuts.org.br))>, acesso em 01/09/2024
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A.; SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; CARVALHO, M.C.S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.92, n.4, p.899–905, 2012.
- ALLENDE, A.; MARÍN, A. BUENDÍA, B.; TOMÁS-BARBERÁN, F.; GIL, M. I. **Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries**. *Postharvest Biology and Technology*, v. 46, n. 3, p. 201-211, 2007.
- AMS - Australian Macadamia Society. **Uma História das Macadâmias Australianas e da MAS**. Wollongbar, NSW: AMS, 2014.
Disponível em: <<https://australianmacadamias.org/industry/resources/a-history-of-australian-macadamias-and-the-ams>> Acesso em: 10 out. 2023.
- ANVISA — Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN Nº 160, de 1º de Julho de 2022**. Brasília, DF: ANVISA. Disponível em: <[03a02bb0-7856-4da4-a6f8-6a1e99d487d9 \(anvisa.gov.br\)](https://anvisa.gov.br/03a02bb0-7856-4da4-a6f8-6a1e99d487d9)> Acesso em: 10 out. 2023.
- ANVISA — Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN Nº 161, de 1º de Julho de 2022**. Brasília, DF: ANVISA. Disponível em: <[b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2 \(anvisa.gov.br\)](https://anvisa.gov.br/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2)>. Acesso em: 21 dez. 2023.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC Nº 724, DE 1º DE JULHO DE 2022**. Brasília, DF: ANVISA. Disponível em: <[b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2 \(anvisa.gov.br\)](https://anvisa.gov.br/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2)> Acesso em: 25 novembro 2023.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC Nº 623, DE 9 DE MARÇO DE 2022**. Brasília, DF: ANVISA. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407691/RDC_623_2022_COMP.pdf/2016ba6c-08ee-4663-ae27-33081af1f015> Acesso em: 20 novembro 2023.
- BIALKA, K. L.; DEMIRCI, A. **Utilization of gaseous ozone for the decontamination of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella on raspberries and strawberries**. *Journal of Food Protection*, v. 70, n. 5, p. 1093-1098, 2007.
- BROADWATER, W. T.; HOEHN, R. C.; KING, P. H. **Sensitivity of three selected bacterial species to ozone**. *Applied Microbiology*, Washington, v. 26, n. 3, p. 391-393, 1973.
- Brodowska, A. J., Nowak, A., & Śmigielski, K. (2018). **Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2176-2201.

CHIATTONE, P. V.; TORRES, L. M.; ZAMBIAZI, R. C. Application of ozone in industry of food. **Alimentos e Nutrição**, v.19, p.341-349, 2008.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2005. 785p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2005. v. 2, 784 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Técnica utiliza gás ozônio para aumentar a qualidade e a segurança do milho**. Rio de Janeiro, RJ: c2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/43560420/tecnica-utiliza-gas-ozonio-para-aumentar-a-qualidade-e-a-seguranca-do-milho>> Acesso em: 08 dez. 2023.

ESTADO DE SÃO PAULO. Portaria CVS-6/99, de 10 de março de 1999. **Aprova o Regulamento Técnico sobre os parâmetros e critérios para o controle higiênico-sanitário em estabelecimentos de alimentos**. Diário Oficial do Estado [de São Paulo]. São Paulo, SP, 12 de março de 1999, seção 1, p. 24- 27.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed., São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 652 p.

FARONI, L.R.D.; PEREIRA, A.M.; SOUSA, A.H.; SILVA, M.T.C.; URRICHI, W.I. **Influence of corn grain mass temperature on ozone toxicity to Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) and quality of oil extracted from ozonized grains**. In: IOA Conference and Exhibition. 2007, Valência, Espanha. Proceedings... Valência, Espanha: 2007. v.1, p.1-6.

FAZENDA SUINDARA LTDA. Gestão da Qualidade: **Manual de APPCC para beneficiadora de noz macadâmia**. Cesário Lange, SP. 2020. 49 p.

FRANÇA, B. H. C., **Macadâmia - cultivo e produtos derivados.**, BRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007, 21 p., 02 out. 2007.

FREITAS, J. B., NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, vol. 23, n. 2, p. 269- 279, set. 2010.

FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. **Ozone applications to prevent and degrade mycotoxins: A review**. **Drug Metabolism Reviews**, v. 42, p.612-620, 2010.

FORNARI, A. M. D. **Geração de microbolhas de ozônio através de materiais porosos para aplicação em tratamento de efluentes**. 2011. 37 f. Monografia (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37457/000822126.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 20 out. 2023.

GABLER, F. M.; SMILANICK, J. L.; MANSOUR, M. F.; KARACA, H. **Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes.** [S. I]: Postharvest Biology and Technology, 2010. 55(2), 85- 90 p.

DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.004> Disponível em: <[Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926641010000552)> Acesso em :13 out. 2023.

GAMA, T.; WALLACE, H. M.; TRUEMAN, S. J.; HOSSEINI-BAI, S. **Quality and shelf life of tree nuts: A review.** Scientia Horticulturae, v. 242, n. July, p. 116–126, 2018.

GONÇALVES, A. A. & KECHINSKI, C. P. **Ozone Technology in the Food Industry.** 4. Ed. New York: Editora Nova Science Pub, 2011. 85- 146 p.

GREENE, A. K.; FEW, B. K.; SERAFINI, J. C. **A comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of stainless steel surfaces.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 76, n. 11, p. 3617-3620, may. 1993.

GUZEL–SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. **Use of ozone in the food industry.** Lebensmittel-Wissenschaft und Technology, San Diego, v. 37, n. 4, p. 453-460, 2004.

HAL, Horticulture Australia Limited. **Macadamia industry annual report 2010/2011. Sydney, 2012.** Disponível em: <<https://www.horticulture.com.au/globalassets/hort-innovation/historic-reports/on-farm-economic-analysis-in-the-australian-macadamia-industry-mc03023.pdf>> Acesso em: 19 jun. 2024.

HERTWIG, C., LESLIE, A., MENESES, N., REINEKE, K., RAUH, C., SCHLÜTER, O. **Inactivation of Salmonella Enteritidis PT30 on the surface of unpeeled almonds by cold plasma.** Innovative Food Science & Emerging Technologies, v. 44, p. 242-248, 2017.

HUI, Y. H., **Handbook of Fruits and Fruits Processing**, 1^a ed., Blackwell Publishing, 2006. 688 p.

ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). **Microorganisms in Foods 5: Characteristics of Microbial Pathogens.** Springer Science & Business Media, 1996.

INAN, F.; PALA, M.; DOYMAZ, I. **Use of ozone in detoxification of aflatoxin B1 in red pepper.** Journal of Stored Products Research, v.43, p.425-429, 2007.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J-G. **Microbiological aspects of ozone applications in food: A review.** Journal of Food Science, Chicago, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, jan. 2001.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; CHISM, Q.W. Use of ozone to inactivate microorganismos in lettuce. **Journal of Food Safety**, v.19, n.1, p.17-34, 1999

KOGELSCHATZ, U., Advanced ozone generation. In S. Stucki (Ed.), **Process technologies for water treatment**, New York: Plenum Publishers, p. 87–120, 1988.

KLUCZKOVSKI, A. M. **Fungal and mycotoxin problems in the nut industry.**

Current Opinion in Food Science, v. 29, p. 56–63, 2019.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. **Ozone in water treatment: application and engineering.** Chelsea: AWWARF and Lewis Publishers, 1991. 568 p.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In. GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica.** Vitória: PROSAB, 2003. p. 169-208.

LIANGJI, X. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 53, n.10, p. 58-61, out. 1999.

JUBEEN, F., SHER, F., HAZAFA, A., ZAFAR, F., AMEEN, A., RASHEED, T. **Evaluation and detoxification of aflatoxins in ground and tree nuts using food grade organic acids.** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 29, p. 101-749, 2020.

MACADAMIA SOCIETY OF MALAWI (MSM). **Macadamia Kernel Product Standard and Specification. 2024.** Disponível em: <https://macsm.org/wp-content/uploads/2024/04/MSM-Macadamia-Kernal-Product-Standard-and-Specification_ver1.pdf>. Acesso em: 16 julho 2024.

MORDOR INTELLIGENCE - **Tamanho do mercado de nozes de macadâmia e análise de ações – Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029).** Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/global-macadamia-market>> Acesso em 06/09/2024

MORAIS, M. L.; ALVINHÃO, J. E. O.; FRANCO, D. V.; SILVA, E. de B.; PINTO, N. A. V. D. **Application of ozone aiming to keep the quality of strawberries using a low cost reactor.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 37, n. 3, p. 559-567, 2015.

ÖLMEZ, H.; KRETZSCHMAR, H. **Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact.** LWT - Food Science and Technology, v.42, p.686-693, 2009.

PENONI, E. S.; PIO, R.; RODRIGUES, F. A.; MARO, L. A. C.; COSTA, F. C. **Análise de frutos e nozes de cultivares de noqueira-macadâmia.** Ciência Rural, v. 41, p. 2080-2083, 2011.

PERDONÁ, Marcos José; SUGUINO, Eduardo; MARTINS, Adriana Novais; PERES, Rogério. **Avaliação de Sistemas Produtivos Consorciados de Cafeeiro com**

Nogueira Macadâmia. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 22 a 25 de Agosto de 2011, Araxá — MG
 PERDONÁ, M. J. et al. **Fatores ecológicos e o cultivo da noqueira-macadâmia.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 7, 2014.

PIMENTEL, L. D. A cultura da macadâmia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 414-716, mar. 2007.

PIZA, P.L.B.T; MORIYA, L. M. **Cultivo da macadâmia no Brasil.** **Revista Brasileira de Fruticultura [online]**. 2014, vol.36, n.1, pp. 39-45. ISSN 0100-2945.

PIZA, P.L.B.T. **Secagem e escoamento da noz macadamia (*M. integrifolia*) em silo secador de fundo cônico.** 2000. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PRYOR, A. **Ozone toxicology and guidelines for safe use in food processing ozonation systems.** In: Ozone III: AGRICULTURAL & FOOD PROCESSING APPLICATIONS OF OZONE AS AN ANTIMICROBIAL AGENT. Abstracts... Fresno: California Agricultural Technology Institute, 2002.

PRUDENTE, A.D.; KING, J.M. **Efficacy and Safety Evaluation of Ozonation to Degrade Aflatoxin in Corn.** Journal of Food Science, v.67, n.8, 2002.

RAMASWAMY R.; RODRIGUEZ-ROMO, L.; VURMA, M.; BALASUBRAMANIAM, V. M.; YOUSEF, A. E. **Ozone Technology: Fact Sheet for Food Processors. Extension FactSheet, Food Science and Technology**, 2015 Fyffe Road, Columbus, Ohio. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/fse-fact/pdf/0005.pdf> > Acesso em: 25/08/2023

SAMAC – SOUTH AFRICA MACADAMIA. **Macadamia Kernel Product Specification. 2024.** Disponível em: <<https://www.samac.org.za/product-specification>>. Acesso em: 10 mai. 2024.

SHAPIRA, R.; PASTER, N. **Control of mycotoxins in storage and techniques for their decontamination.** In: MAGAN, N.; OLSEN, M. (Eds.) Mycotoxins in food. New York: CRC Press, pp.190-223, 2004.

SIMÃO, R.; RODRÍGUEZ, T. D. M. Utilização do ozônio no tratamento pós-colheita do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Revista de Estudos Sociais**, v.2, n.22, p.115-124, jun. 2009.

SOPHER, C. D.; GRAHAM, D. M.; RICE, R. G.; STRASSER, J. H. **Studies on the use of ozone in production agriculture and food processing.** In: INTERNATIONAL OZONE ASSOCIATION, Proceedings of the International Ozone Association. Chicago: American College of Healthcare Executives, 2002.

SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C.; MLIKOTA, F. Postharvest use of ozone on fresh fruit. *Perishables Handling Quarterly*, v. 99, p. 10-14, 1999.

STEPHENSON, R. **Macadamia: Domestication and commercialisation.** *Chronica*

Horticulturae, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 11-15, 2005.

SUSLOW, T.V. Basics of ozone applications for postharvest treatment of fresh produce. **Perishables Handling**, v.94, p. 9-11, 2003.

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.

TOLEDO PIZA, J.A.N. **A colheita e o beneficiamento da noz macadâmia**. In: Macadâmia: tecnologia de produção e comercialização. Vitória da Conquista, BA, DFZ/UESB, 1991. p.159-191.

TOLEDO PIZA, P.L.B. **Segunda etapa de secagem da noz macadâmia**. Botucatu, 2000. 93p. Tese (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP.

VICTORIN, K. Review of genotoxicity of ozone. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 227, n. 3, p. 221-238, 1992.

VIDAL, F. J. R. **Proceso de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización**. 3. ed. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, 2003, 253 p.

WANG, H.; FENG, H.; LUO, Y. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. *Food Research International*, v. 37, n. 10, p. 949-956, 2004.

WANG, L.; SHAO, H.; LUO, X.; WANG, R.; LI, Y.; LI, Y.; LUO, Y.; CHEN, Z. Effect of Ozone Treatment on Deoxynivalenol and Wheat Quality. *PLoS ONE*, v.11, n.1, p.1-13, 2016.

XIN, Y.; ZHANG, M.; XU, B.; ADHIKARI, B.; SUN, J. **Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables**: A review. *International Journal of Refrigeration*, v. 57, p. 11–25, 2015.

XU, L. **Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables**. *Food Technology*, Chicago, v. 53, n. 10, n. 58-61, 1999.

ZIYAINA, M.; ZOGNE, O. Al. **A study of effects of chlorine on bacteria pathogens in drinking water**. In: WSTA 9TH GULF WATER CONFERENCE SULTANATE OF OMAN, WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY 2010.n.34.2010, Sultanate of Oman. pp. 742-753.