



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL

JULIANNA PAULA DO VALE FIGUEIREDO

**USO DO PLASMA NÃO TÉRMICO NA VIDA DE PRATELEIRA DO CAMARÃO
BRANCO (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931)**

MOSSORÓ

2018

JULIANNA PAULA DO VALE FIGUEIREDO

**USO DO PLASMA NÃO TÉRMICO NA VIDA DE PRATELEIRA DO CAMARÃO
BRANCO (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr^a Patrícia de Oliveira Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Jean Berg Alves da Silva

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

F475u FIGUEIREDO, JULIANNA PAULA DO VALE.

USO DO PLASMA NÃO TÉRMICO NA VIDA DE PRATELEIRA
DO CAMARÃO BRANCO (*Litopenaeus vannamei*, Boone
1931) / JULIANNA PAULA DO VALE FIGUEIREDO. - 2018.

40 f. : il.

Orientadora: PATRÍCIA DE OLIVEIRA LIMA.

Coorientador: JEAN BERG ALVES DA SILVA.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal, 2018.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JULIANNA PAULA DO VALE FIGUEIREDO

**USO DO PLASMA NÃO TÉRMICO NA VIDA DE PRATELEIRA DO CAMARÃO
BRANCO (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Produção Animal

Defendida em: 16 / 02 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra. Patrícia de Oliveira Lima (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Jean Berg Alves da Silva (UFERSA)
Membro Examinador



Prof.^a Dra. Maria Rociene Abrantes (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus avós Maria Inês e João Batista.

*Aos meus pais, Iaci Vale e Nelson Batista,
meus irmãos Júlio e Nelson Luís, meus
familiares e amigos, por todo
carinho e paciência.
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por sempre me dar força e me mostrar que sou capaz, mesmo diante das dificuldades.

Aos meus pais, Nelson e Iaci, e aos meus irmãos Júlio e Nelson Luís, por toda paciência e motivação.

A minha orientadora, Prof^a Dra. Patrícia de Oliveira Lima, por me acolher quando mais precisei e acreditar que valeria a pena. Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Jean Berg Alves da Silva, por todo incentivo. Vocês foram essenciais nessa jornada, meu muito obrigada!

A Banca Examinadora por aceitar o convite e contribuir com sugestões excepcionais.

Às amigas, Gabriella Cynara, Mirella Cymara, minha afilhada Beatriz Vale, minha prima Gabriella Loyane, por entenderem às recusas de muitos convites enquanto estava ocupada com a dissertação.

Aos amigos Lucas Rebouças, Vanessa Clarice, Cecília Mesquita e Odonil por toda ajuda.

A Carla Campelo, Jovilma Maria, Lázaro, Maurício, por toda contribuição no desenvolvimento do experimento.

A antiga equipe, Tanyla, Josué, Lyzandra e Micaela, por dividirmos alegrias e dificuldades, foi bom conviver mais com vocês melhor.

Aos amigos Xandinho, Abílio, Amanda, Rafinha, Lelinho, Ellano, Rafael Fernandes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro como agente financiador da bolsa do mestrado.

Enfim, a todos que ajudaram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada!!

“Cada um terá a vista da montanha que subir”.
Autor desconhecido.

RESUMO

O pescado é um alimento que se deteriora facilmente, devendo ser bem manipulado, conservado e armazenado. Para isso, é considerável o uso de novas tecnologias afim de manter suas características sensoriais e nutricionais, de preferência livre do uso de aditivos químicos. Isso pode ser observado com a utilização de tecnologias limpas (como embalagem em atmosfera modificada, ozônio e radiação UV) e o plasma não térmico, que tem demonstrado aplicabilidade satisfatória no tratamento antimicrobiano, com um futuro promissor na indústria alimentícia. Assim, objetivou-se avaliar a qualidade química (nitrogênio de bases voláteis totais, nitrogênio de trimetilamina e substâncias reativas ao ácido 2-tiubarbitúrico), física (pH, coloração, perda de peso na cocção, capacidade de retenção de água e força de cisalhamento), microbiológica (mesófilas, psicotróficas e *salmonella* sp) e sensorial (método do índice de qualidade - MIQ) do camarão branco (*Litopenaeus vannamei*), inteiro, fresco, submetido ao tratamento com plasma não térmico, em diferentes frequências, na conservação do mesmo. Para isso, foram divididos 4 grupos amostrais sendo um controle e os demais grupos submetidos ao plasma frio às frequências de 5, 10 e 15 MHz, durante 10 minutos de aplicação. Em seguida foi avaliado o efeito da utilização do plasma não térmico, sobre as características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais. O grupo submetido ao plasma não térmico contribuiu significativamente na manutenção da qualidade do camarão durante o armazenamento, retardando o processo de melanização, o crescimento microbiano, melhorando as qualidades físico-químicas e sensoriais das amostras. A exposição do camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) ao plasma não térmico sob frequência de 15 MHz promoveu melhores resultados nas qualidades física, química, microbiológica e sensorial (comprovada por meio do MIQ), aumentando a vida de prateleira das amostras em 5 dias, sugerindo que o tratamento é eficaz na manutenção da qualidade do camarão.

Palavras-chave: Pescado; Deterioração; Tecnologia limpa de alimentos.

ABSTRACT

Fish is a food that deteriorates easily and must be well handled, preserved and stored. For this, the use of new technologies is important to maintain its sensorial and nutritional characteristics, preferably free of the use of chemical additives. This can be observed with the use of clean technologies (such as modified atmosphere packaging, ozone and UV radiation) and non-thermal plasma, which has demonstrated satisfactory applicability in antimicrobial treatment, with a promising future in the food industry. The objective of this study was to evaluate the chemical quality (nitrogen of total volatile bases, nitrogen of trimethylamine and substances reactive to 2-tiubarbituric acid), microbial (mesophilic, psychrotrophic and salmonella sp) and sensory (quality index method - MIQ) of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), whole, fresh, treated with non-thermal plasma, at different frequencies, in the same. For this, 4 sample groups were divided into one control and the other groups submitted to cold plasma at the frequencies of 5, 10 and 15 MHz during 10 minutes of application. The effect of the use of non-thermal plasma on the microbiological, physicochemical and sensorial characteristics was then evaluated. The group submitted to non-thermal plasma contributed significantly to the maintenance of shrimp quality during storage, retarding the melanization process, microbial growth, improving the physical-chemical and sensorial qualities of the samples. The exposure of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) to non-thermal plasma under 15 MHz frequency promoted better results in physical, chemical, microbiological and sensory (proven by MIQ), increasing the shelf life of the samples in 5 days, suggesting that the treatment is effective in maintaining shrimp quality.

Keywords: Seafood; Deterioration; Clean food technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema experimental para geração de plasma não térmico à pressão atmosférica.	21
Figura 2. Índices de qualidade do camarão <i>L. vannamei</i> , submetidos ao plasma não térmico.	24
Figura 3. Contagens totais de bactérias mesófilas em camarão <i>L. vannamei</i> submetido ao plasma não térmico.	26
Figura 4. Contagens totais de bactérias psicrotróficas em camarão <i>L. vannamei</i> submetido ao plasma não térmico.	27
Figura 5. Efeito do plasma não térmico no pH do camarão <i>L. vannamei</i> , armazenados a 5 ± 1 C°	28
Figura 6. Efeito do plasma não térmico no Δ e values do camarão <i>L. vannamei</i> , armazenado a 5 ± 1 C°	29
Figura 7. Efeito do plasma não térmico no Nitrogênio de Bases Voláteis Totais (N-BVT) no camarão <i>L. vannamei</i> , armazenados a 5 ± 1 C°	31
Figura 8. Efeito do plasma não térmico no Nitrogênio de Tri-metilamina (N-TMA) do camarão <i>L. vannamei</i> , armazenados a 5 ± 1 C°	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Esquema do Método de Índice de Qualidade (MIQ) utilizado no experimento.....	22
Tabela 2. Vida de prateleira do camarão <i>L. vannamei</i> submetido ao plasma não térmico estimada através de regressões lineares.....	25
Tabela 3. Caracterização da Capacidade de Retenção de Água (CRA) do camarão <i>L. vannamei</i> submetidos ao plasma não térmico.	30
Tabela 4. Caracterização da Perda de Peso por Cocção (PPC) do camarão <i>L. vannamei</i> submetido ao plasma não térmico.	30
Tabela 5. Caracterização da Força de Cisalhamento (FC) do camarão <i>L. vannamei</i> submetido ao plasma não térmico.	31
Tabela 6. Caracterização da substância reativas ao Ácido 2-Tiubarbitúrico (TBARS) em camarão <i>L. vannamei</i> , submetidos ao plasma não térmico.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CRA	Capacidade de Retenção de Água
DBD	Descarga em Barreira Dielétrica
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FC	Força de Cisalhamento
MHz	Mega Hertz
N-BVT	Nitrogênio de Bases Voláteis Totais
N-TMA	Nitrogênio de Trimetilamina
pH	Potencial Hidrogeniônico
PCI	Produtos de Combustão Incompleta
PPC	Perda de Peso por Cocção
PPO	Polifenoloxidase
RNS	Espécies Reativas de Nitrogênio
ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
TBARS	Substâncias reativas ao ácido 2- tiobarbitúrico
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UV	Radiação Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 DETERIORAÇÃO DO PESCADO	16
2.2 PLASMA.....	17
2.2.1 Ação antimicrobiana do plasma	18
2.2.2 Aplicação do plasma não térmico em alimentos	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 MATERIAL	20
3.2 ÍNDICE DE QUALIDADE	21
3.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	22
3.4 ANÁLISES FÍSICAS.....	23
3.5 ANÁLISES QUÍMICAS.....	23
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 DO ÍNDICE DE QUALIDADE.....	24
4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	25
4.3 ANÁLISES FÍSICAS.....	27
4.4 ANÁLISES QUÍMICAS.....	31
5 CONCLUSÕES.....	34

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de pescado tem crescido constantemente nas últimas cinco décadas, com uma taxa média anual de 3,2%, alcançando um recorde histórico de 90,4 milhões de toneladas em 2012 (FAO, 2014). Por ser um alimento de valores nutricionais elevados, seu consumo vem crescendo, seja a matéria-prima proveniente da pesca extrativa ou produto da aquicultura (ABABOUCHE, 2005).

No consumo de pescado destaca-se o camarão devido às suas características sensoriais. Porém, em função de alguns aspectos de sua composição, como elevada umidade (entre 70% a 85%), é altamente perecível, tendo uma vida de prateleira curta (TSIRONI et al., 2009). Tais fatores aliados a precárias condições de armazenamento e comercialização resultam na perda de valor comercial (FARIA, 2011), pois a vida de prateleira, qualidade e segurança dos alimentos são determinadas pela presença de deterioração e o crescimento de microrganismos patogênicos (McMEEKIN et al., 1993).

Por ser um alimento de fácil deterioração, o pescado necessita de alguns cuidados para retardar o crescimento microbiológico (TSIRONI et al., 2009). Para isto, métodos de conservação são aplicados. Entre eles, o mais utilizado para o camarão são os sulfitos, que agem como antioxidante e antimicrobianos, além de apresentarem baixo custo e grande eficiência. No entanto, seu uso gera uma preocupação em relação à sua qualidade, que pode ser comprometida, desencadear reação alérgica nos consumidores, bem como degradar o meio ambiente, quando descartado de forma incorreta (TAYLOR et al., 1986; OGAWA et al. 2003; ARAÚJO, 2010; LOVATTO et al., 2012).

A deterioração do camarão, acontece de forma gradual, marcada por maus odores, alterações no sabor, perda do aspecto branco-perolado da carne, perda da elasticidade dos músculos da cauda, coloração amarela forte ou castanho amarelado ao extremo, perda da elasticidade, aparição de manchas negras. O processo de putrefação dos crustáceos é muito mais intenso do que o de peixes ou moluscos, daí a necessidade do uso de baixas temperaturas e tecnologias, logo após a despesca, como método de conservação (PEDRAJA, 1970;).

Devido a esta problemática, as indústrias de pescado buscam cada vez mais aprimorar suas tecnologias limpas no processo de beneficiamento do camarão, visando vantagens competitivas e preocupação social quanto aos impactos ambientais (BASSETO et al., 2017). Entre as tecnologias limpas e de baixas temperaturas, pode-se destacar o plasma não térmico, o qual pode ser definido como um gás parcialmente ionizado contendo moléculas, partículas carregadas na forma de íons positivos, íons negativos, radicais livres, elétrons, radiações UV e

fótons. O plasma produzido por oxigênio pode interagir com as células bacterianas inativando de forma eficaz uma ampla gama de microrganismos, incluindo esporos e vírus (MISRA et al., 2011).

Essa eficácia antimicrobiana do tratamento com plasma não térmico pode ser benéfica para alimentos, a fim de prolongar a vida de prateleira de produtos frescos e manter a segurança ao longo de toda a cadeia alimentar (SMEU, 2014). Dessa forma, a tecnologia tem demonstrado sua aplicabilidade como tratamento antimicrobiano e tem um futuro promissor em aplicação na indústria alimentícia.

Estudos desenvolvidos na última década têm relatado o plasma não térmico como uma alternativa favorável na tecnologia alimentar capaz de esterilizar a maioria dos microrganismos em alimentos sensíveis ao calor (SELCUK et al., 2008; GUROL et al., 2012; NORIEGA et al., 2011; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014), podendo ser usada para desinfecção das superfícies antes da embalagem ou como parte integrante do processo de embalagem (BANU, 2012).

Com isso, objetivou-se avaliar a vida de prateleira do camarão branco (*Litopenaeus vannamei*), exposto ao uso do plasma não térmico em diferentes frequências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DETERIORAÇÃO DO PESCADO

O camarão *Litopenaeus vannamei* pertence a ordem Decapoda. Pode ser obtido através da pesca extrativa ou de cultivo, em ambiente marinho ou de água doce (QUEIROZ et al., 2013). Devido à sua rusticidade, o *L. vannamei* demonstrou-se bastante adaptável às condições climáticas brasileiras, pois além de sua rapidez no crescimento, ele tolera ampla faixa de salinidade e é de grande aceitação no mercado mundial (NIRMAL; BENJAKUL, 2009).

De acordo com a FAO (2014), o cultivo do *L. vannamei* cresceu como nenhuma outra espécie o fez em toda a história da carcinicultura marinha, tornando-se o cultivo aquático mais produzido mundialmente, o qual é responsável por maior geração de renda em relação a outros cultivos como o de salmão e carpa, correspondendo a 15,4% da renda total gerada pela produção de pescado (FAO, 2009).

Logo após a captura o pescado passa por diversas alterações até deteriorar-se completamente. Essas alterações estão relacionadas a processos autolíticos, químicos, microbiológicos e sensoriais (SANT'ANA; FREITAS, 2011). Por possuir alto conteúdo de metabólitos de pequeno peso molecular e aminoácidos livres, os quais contribuem intensamente com o desejável sabor adocicado, o camarão se torna mais perecível que os peixes e estas alterações ocorrem mais rapidamente (KONOSU; YAMAGUCHI, 1982; ZENG et al., 2005).

O processo de deterioração do pescado ocorre em fases, nas quais cada evento acontece em uma sequência lógica e crescente. Estas desencadeiam mudanças sensoriais e favorecem o crescimento microbiológico desde a captura, entretanto, a manipulação, o armazenamento e a correta conservação, determinarão sua qualidade (SANT'ANA; FREITAS, 2011).

Entre os processos de armazenamento de crustáceos, destaca-se o gelo, porém, surgem alterações na sua aparência, marcada por manchas pretas, mais conhecidas como melanose ou *black spots*, que consiste no escurecimento progressivo das articulações e exoesqueleto desses animais, principalmente na região do cefalotórax (SANT'ANA; FREITAS, 2011). Trata-se de uma reação bioquímica catalisada por enzimas conhecidas como polifenoloxidasas, a melanose nada mais é do que o acúmulo de melanina (PARDIO, WALISZEWSKI; ZUÑIGA 2011; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2016).

Apesar de parecer inofensivo para os consumidores e não está diretamente associada à deterioração microbiana, a melanose afeta características sensoriais, reduzindo a vida de prateleira e a qualidade dos produtos (OGAWA et al., 1984; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2016).

Visto que atualmente os consumidores estão mais exigentes em relação a segurança dos alimentos, de forma que estes mantenham seus nutrientes e características organolépticas atraentes, a área de tecnologia de alimentos tem buscado técnicas de processamento mais amenas em substituição ao processamento térmico convencional (RAWSON et al., 2011; PALA; TOKLUCU, 2013). Entre as tecnologias de processamento sem utilização de calor, o plasma não térmico vem se destacando como uma das mais promissoras (MONTENEGRO et al., 2002; HATI et al., 2012; AFSHARI; ZIUZINA et al., 2014).

2.2 PLASMA

O plasma, também conhecido como o quarto estado da matéria, trata-se de um gás ionizado formado por diferentes espécies reativas, tais como elétrons livres, íons positivos e negativos, radicais livres, fótons e átomos de gás. É formado a partir da excitação de um gás ou mistura de gases mediante aplicação de uma pressão e energia (MISRA et al., 2014).

Embora esteja presente de forma natural no universo, o plasma pode ser produzido em laboratório através da diferença de potencial entre dois eletrodos. Quando uma diferença de potencial é aplicada em um sistema hermeticamente fechado, a uma pressão suficientemente baixa, elétrons e íons são acelerados pelo campo elétrico, colidindo com outras partículas e produzindo o plasma (SUROWSKY et al. 2013).

De acordo com o tipo e quantidade de energia transferida, o plasma pode ser classificado como térmico ou não térmico. Plasmas térmicos possuem seus elétrons, íons e espécies neutras em equilíbrio termodinâmico, enquanto o plasma não térmico não apresenta este equilíbrio (AFSHARI, HOSSEINI, 2014).

Devido à alta temperatura do gás, o plasma térmico é utilizado em processos industriais de soldagem, corte e destruição de resíduos (MACHALA et al. 2007). As vantagens mais importantes do sistema de plasma térmico são as emissões muito baixas resultantes da alta eficiência em destruição e eliminação, combinadas com baixas formações de PCI (Produtos de Combustão Incompleta) e com a capacidade de recuperar produtos químicos úteis dos fluxos de resíduos (FACÓ, 2004).

O plasma não térmico pode ser definido como um gás constituído de elétrons, átomos

e moléculas altamente excitadas, íons, radicais, fótons e partículas neutras, no qual os elétrons têm muito mais energia do que as partículas gasosas neutras (LIU et al., 1999; ISTADI, 2006). Este tipo de plasma não apresenta equilíbrio termodinâmico, possui elétrons com uma temperatura muito mais elevada em relação aos demais constituintes (SHÜLTER et al., 2013).

Entre as áreas de interesse de aplicação do plasma não térmico destacam-se as ambientais (controle da poluição do ar, limpeza das águas residuais e reciclagem de materiais não degradáveis), biomédicas (biodescontaminação e esterilização), industriais (tratamento de superfícies de materiais, blindagem de ondas eletromagnéticas, beneficiamento de carbono, análise de elementos, lâmpadas, televisores) (MACHALA et al., 2007) e, recentemente, em alimentos na qualidade microbiológica (NIEMIRA, 2012; SHÜLTER et al, 2013).

Sua aplicabilidade no tratamento de alimentos tem um potencial específico, pois pode-se trabalhar em temperaturas ambiente sem que haja perda de suas propriedades, caracterizando-o como uma tecnologia de baixa temperatura (LAROUSSE, 2001).

2.2.1 Ação antimicrobiana do plasma

Por meio do plasma não térmico, uma sequência complexa de respostas biológicas pode ser desencadeada nos microrganismos. Diversos mecanismos podem ser considerados como responsáveis pela inativação microbiana ocasionada pelo plasma, tais como a radiação UV, as partículas carregadas e as espécies reativas. Entretanto, o mecanismo exato a sua atividade ainda não está claro (GUO et al, 2015).

Trata-se de um composto de moléculas de gás que por uma indução de energia, dissociam-se em fótons, elétrons, íons positivos e negativos, átomos, moléculas e radicais livres excitados e não excitados que, em combinação, possuem a capacidade de inativar microrganismos (RAMOS; BRANDÃO; SILVA, 2013).

As bactérias têm diferença de potencial e as cargas elétricas na membrana da célula podem ajuda-las a absorver nutriente. Se as bactérias são tratadas com uma alta voltagem, a estrutura da membrana da célula e a distribuição de cargas da membrana podem ser destruídas. Além disso, com o efeito penetrante do fluxo de partícula de alta velocidade na estrutura exterior das bactérias, poderia destruir a parede da célula, e o citoplasma seria liberado causando a morte das bactérias (MENDIS et al., 2000).

O primeiro relato da utilização desta tecnologia como um agente de esterilização aconteceu em 1968 por Menashi, que em menos de um segundo inativou 106 esporos

presentes em tubos de ensaio, utilizando plasma atmosférico gerado em gás argônio energizado por campos pulsados de radiofrequência (NIEMIRA, 2012).

Embora não esteja totalmente elucidado pela literatura, há três mecanismos prováveis pelos quais os plasmas atmosféricos inativam microrganismos. O primeiro é o efeito oxidativo provocado pela interação química entre espécies reativas do plasma na superfície externa de células microbianas. A segunda possibilidade é o ressecamento das membranas celulares provocadas por componentes internos da luz ultravioleta gerada pelo plasma. E por fim, as cadeias de DNA do microrganismo que podem ser quebradas pela radiação ultravioleta gerada durante a recombinação de espécies reativas do plasma, e como resultado, dificultar a sua replicação celular (NIEMIRA, 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014).

2.2.2 Aplicação do plasma não térmico em alimentos

Relatos de Deng et al. (2007), afirmaram que após seis semanas de armazenamento, nenhuma célula viável de *Escherichia coli* foi encontrada em amêndoas expostas por 30 segundos a um plasma gerado por descarga de barreira dielétrica em 30kV e 2000Hz.

Quanto a utilização do plasma em contaminação fúngica, Selcuk, Ossuz, Basaran (2008) mostraram uma redução significativa de *Aspergillus spp.* e *Penicillium spp.* presentes em superfícies de sementes após 15 minutos de tratamento, sem comprometimento na qualidade de germinação.

Segundo Shi et al. (2011), a aplicação do plasma em amostras de suco de laranja fresco inoculadas com *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ou *Candida albicans*, após 10, 12 e 24 segundos respectivamente, eliminou todas as células microbianas. Além disso, o alimento permaneceu estéril após 16 dias de armazenamento em temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ e nenhuma modificação nos valores de pH, sólidos solúveis, acidez e vitamina C foram encontradas em relação a amostra não processada. Para este experimento o plasma utilizado foi produzido a partir de uma descarga de barreira dielétrica com pico de tensão de 30kV e frequência de 60kHz.

O plasma não térmico induzido por uma descarga de barreira dielétrica foi explorado por Misra et al. (2014) como um mecanismo de melhoramento das características reológicas de massas de farinhas de trigo fortes e moles. Os resultados indicaram que esta tecnologia pode ser explorada como um meio para modular a funcionalidade da farinha de trigo visto que o processamento melhorou a elasticidade e viscosidade das massas.

Ao analisar a eficácia do plasma em alimentos líquidos de origem animal, Gurol et al.

(2012) inocularam *Escherichia coli* em amostras de leite com diferentes concentrações de gordura (desnatado, semidesnatado, integral). Após utilização de um plasma não térmico com tensão de 9kV, foi constatada em todas as amostras uma redução de 54% da carga microbiológica após 3 minutos de processamento, sem haver mudanças nas características de cor e pH.

Song et al. (2009) investigaram a influência do plasma em fatias de queijo e presunto inoculadas com *Listeria monocytogenes* e expostas a uma descarga de barreira dielétrica (75,100, 125 e 150 W) durante 60, 90 e 120 segundos. A redução microbiana foi mais eficaz com o aumento da potência e tempo de exposição. Os resultados indicaram que, reduções após 120 segundos a 75, 100, 125, 150 W variaram de 1,7 a 8 log UFC/g em fatias de queijo e em fatias de presunto foram 0,25 a 1,73 log UFC/g. Estes resultados confirmaram que o tipo de alimento a ser tratado tem forte efeito na inativação por plasma atmosférico.

Poucos estudos foram realizados com a aplicação de plasma não térmico em pescado. Segundo Lee et al (2011), a utilização do plasma com mistura do gás hélio e oxigênio, mostrou uma redução no crescimento de *L. monocytogenes* em salmão defumado. Park e Ha (2014) relataram que as contagens de *Cladosporium* e *Penicillium citrinum* em filés de peixes secos diminuiu significativamente com o aumento dos tempos de tratamento com plasma não térmico atmosférico (3-20 min).

Por se tratar de uma tecnologia nova, o plasma não térmico tem algumas limitações. Entre elas, o grau de esterilização que é fortemente influenciado pelo tipo de microrganismo, tempo de aplicação e alimento exposto, ausência de informações suficientes sobre o efeito do plasma nas características organolépticas, físico-químicas e fitoquímicas dos alimentos processados (RAMOS et al., 2013; AFSHARI; HOSSEINI, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Foram utilizados aproximadamente 20 kg de camarão branco (*L. vannamei*) inteiro, fresco, com peso médio de 10 gramas, livre de aditivos, adquirido em fazenda de cultivo localizada próximo à cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte. Os camarões foram pesados e separados em quatro grupos amostrais, o grupo controle e 3 grupos onde as amostras foram expostas ao tratamento do plasma à 5 MHz, 10 MHz e 15 MHz.

O sistema gerador de plasma não térmico atmosférico foi executado com a configuração do tipo descarga em barreira dielétrica (DBD), fazendo uso de placas coplanares fenolíticas, as quais proporcionam descargas elétricas no ar atmosférico (saturado de nitrogênio e oxigênio em concentrações padrão), gerando deste modo, espécies reativas de oxigênio (ROS) e nitrogênio (RNS), radiação ultravioleta (UV) e elevado campo elétrico (Figura 1).

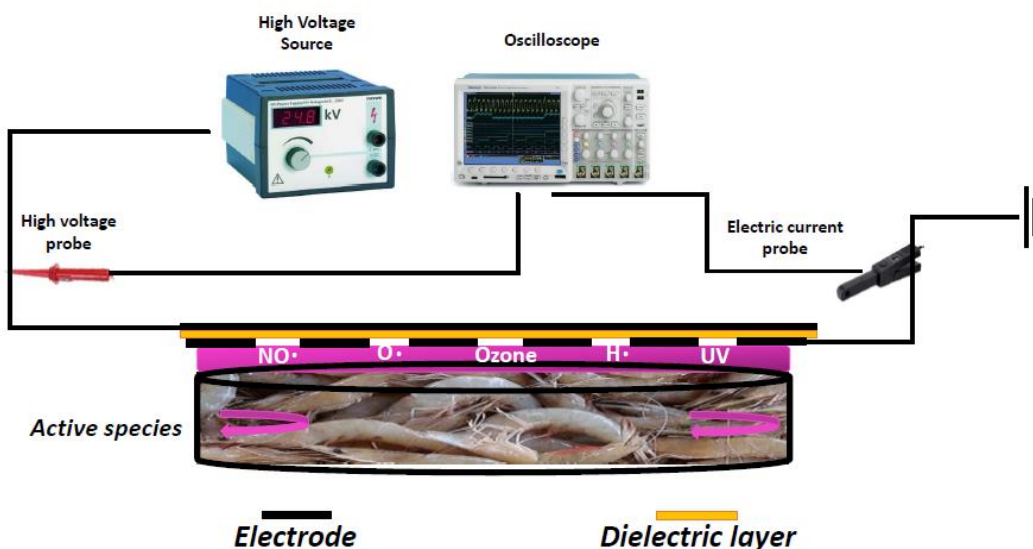


Figura 1. Sistema experimental para geração de plasma não térmico à pressão atmosférica.

As amostras foram posicionadas dentro de uma placa de petri com dimensões de 80 mm de diâmetro e 15 mm de profundidade. O plasma permaneceu durante o tratamento a uma distância de aproximadamente 3 mm das amostras (não havendo contato efetivo entre o plasma e os camarões tratados, logo, não houve formação de descargas localizadas). Deste modo, as amostras foram submetidas às seguintes condições experimentais: 10 minutos com os parâmetros energéticos de frequência equivalente a 5 MHz, 10 MHz e 15 MHz, e tensão elétrica de 40 Kv. Após o tratamento das amostras, os grupos foram acondicionados em embalagens plásticas estéreis e armazenados a $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ para análises posteriores.

3.2 ÍNDICE DE QUALIDADE

O Método do Índice de Qualidade (MIQ) consiste em um sistema de controle de qualidade do frescor do pescado e tem como base a avaliação objetiva dos principais atributos sensoriais da espécie avaliada, através de um sistema de pontos de demérito. Apesar de ser uma importante ferramenta, o MIQ deve ser estimado com o apoio de outros métodos de avaliação, como as análises microbiológicas e físico-químicas (MARTINSDÓTTIR et al.,

2003; HYLDIG et al, 2011, SANT'ANA et al., 2011).

A análise do Índice de Qualidade seguiu o esquema proposto por Oliveira (2013), onde cinco avaliadores foram previamente treinados de acordo com a norma ISO 8586 (ISO, 1994) para avaliar as amostras de camarão. Os parâmetros de qualidade observados nas amostras foram: aroma; presença de melanose; textura; aderência da cabeça; aderência da carapaça; e aparência geral. O Índice de Qualidade (IQ) representa a soma de todos os pontos de demérito de determinada amostra, variando de 0 a 36.

Tabela 1. Quadro do Método de Índice de Qualidade (MIQ) utilizado no experimento.

Parâmetro de qualidade	Descrição	Escore
Aroma	Fresco, suave de algas marinhas	[0]
	Fraco, lembrando o mar (maresia)	[2]
	Amoniacal fraco	[4]
	Amoniacal forte, pútrido	[6]
Melanose	Ausente	[0]
	Pouca, pequenos pontos pretos isolados, presentes em até 50% dos camarões da amostra	[2]
	Moderada, pequenos pontos pretos isolados, presentes em mais de 50% dos camarões da amostra	[4]
	Moderada, manchas pretas presentes em até 50% dos camarões da amostra	[6]
	Muita, manchas pretas presentes em mais de 50% dos camarões da amostra	[8]
	Muita, manchas pretas presentes em 100% dos camarões da amostra	[10]
Textura	Normal	[0]
	Amolecida	[2]
Aderência da carapaça	Fortemente aderida	[0]
	Aderência média	[2]
	Aderência fraca	[4]
Aderência da cabeça ao corpo	Fortemente aderida	[0]
	Aderência média	[2]
	Aderência fraca	[4]
Aparência geral	Excelente	[0]
	Ótima	[2]
	Boa	[4]
	Ruim	[6]
	Péssima	[8]
	Inaceitável	[10]
Índice de Qualidade (IQ)		0-36

Fonte: Oliveira (2013)

3.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As análises microbiológicas das amostras foram realizadas em duplicata nos tempos 0, 1, 3, 6, 9 e 12 dias de armazenamento refrigerado a $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. Para estas análises, as amostras foram submetidas às técnicas para determinação de contagem total de bactérias mesófilas e psicrótróficas e *Salmonella* sp. (BRASIL, 2003).

3.4 ANÁLISES FÍSICAS

A aferição do potencial hidrogeniônico foi feita por processo eletrométrico com o pH-metro digital da marca HANNA® modelo HI 99163, previamente calibrado. A mensuração foi feita no camarão descascado.

Para determinação da cor, foi utilizado o Espectofotômetro Portátil Konica Minolta, CM-700d/600d (Sistema CIE $L^*a^*b^*$), cujo sistema considera as coordenadas L^* luminosidade (preto/branco), a^* teor de vermelho (verde/vermelho) e b^* teor de amarelo (azul/amarelo) (ZHANG et al., 2015). A variação total das coordenadas de cor (Δe values), que é a amplitude das diferenças das coordenadas de cor dos camarões no início e durante o armazenamento, serão calculadas seguindo a equação descrita por Yuan et al., (2016), $\Delta e = [(L^* - L^*0)^2 + (a^* - a^*0)^2 + (b^* - b^*0)^2]^{1/2}$, onde L^*0 , a^*0 e b^*0 , são os valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* no início do armazenamento.

A capacidade de retenção de água (CRA) foi avaliada segundo a técnica de Hamm (1960), pelo método de pressão com papel-filtro e também calculada segundo a metodologia adaptada de Osório et al. (1998), que pesa-se a amostra inicial e a amostra final, e por diferença calcula-se a quantidade de água perdida. Os resultados serão obtidos por diferença entre os pesos das amostras, antes e depois de ser submetida à pressão de 5 kg, durante cinco minutos.

As perdas de peso durante a cocção (PPC) foram calculadas pela diferença de peso das amostras antes e depois da cocção e expressas em porcentagem. As amostras de camarão serão envolvidas em papel alumínio e grelhadas até atingir 70° C de temperatura interna (WARRIS, 2003).

A força de cisalhamento foi mensurada por meio de um TEXTURE ANALYZER TAXT-125, acoplado ao dispositivo Warner-Bratzler, o qual expressa a força em kgf/cm² (HAMM, 1960).

3.5 ANÁLISES QUÍMICAS

Para determinação do Nitrogênio de Bases Voláteis Totais (N-BVT) e Nitrogênio de Trimetilamina (N-TMA) foi utilizado o protocolo de LANARA (BRASIL, 1981) e para aferição das Substâncias Reativas ao Ácido 2-Tiobarbitúrico (TBARS), foi utilizado o método descrito por Tarladgis et al. (1960).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC),

fatorial, onde todas as variáveis foram analisadas em função do tempo de armazenamento. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e logo em seguida aos testes de comparação de média, teste t de Student e teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Para o MIQ, foi realizado uma análise de regressão linear utilizando o programa SISVAR, versão 5.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DO ÍNDICE DE QUALIDADE

No método do índice de qualidade (MIQ) o grupo controle apresentou maior escore ($p < 0,05$) em todos os dias de armazenamento, em relação às amostras de camarão submetidos a diferentes frequências do plasma. Foi possível observar que o plasma possuiu eficiência na manutenção da qualidade do camarão, onde, quanto maior a frequência utilizada, menores foram os escores no MIQ (Figura 2). Dentre os atributos avaliados pelo MIQ, o aparecimento da melanose foi o que mais contribuiu para a perda de qualidade das amostras, principalmente as do grupo controle.

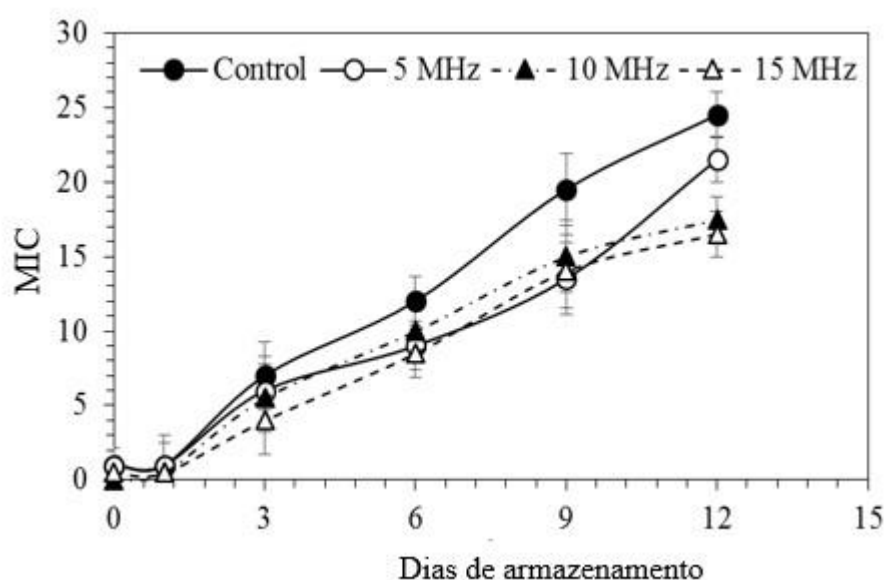


Figura 2. Índices de qualidade do camarão *L. vannamei*, submetidos ao plasma não térmico.

A melanose, ou como é popularmente conhecida "mancha preta", é um problema comum em crustáceos durante o armazenamento, isto ocorre devido a reações bioquímicas catalisadas pela enzima polifenoloxidase (PPO) em contato com oxigênio, formando pigmentos escuros chamados de melanina, que se concentram principalmente sobre o cefalotórax do animal (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2016). Segundo Nirmal & Benjakul,

(2009), o camarão geralmente apresenta vida de prateleira limitada devido à formação de melanose, embora a presença desta seja inofensiva para os consumidores, causa redução drástica na aceitação e no valor comercial do produto.

A eficiência do plasma na redução do processo de melanização pode ser explicada pelo potencial do mesmo na redução da atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO). Segundo Surowsky et al, (2013), os componentes ativos gerados na formação do plasma como raios UV e espécies reativas ao oxigênio como oxigênio atômico e hidroxilas (OH), atacam a membrana celular, levando a insaturação dos lipídeos, desintegração dos peróxidos, modificando a estrutura da proteína, com a oxidação de alguns aminoácidos aromáticos sensíveis que são encontrados na PPO e são essenciais para sua atividade, retardando o processo de melanização.

Através da análise de regressão linear foi possível observar um aumento na vida de prateleira das amostras de acordo com o aumento da frequência do plasma (Tabela 2). O camarão tratado com plasma não térmico a uma frequência de 15 MHz, apresentou 16,28 dias de vida de prateleira, enquanto as amostras do grupo controle foram de apenas 11,28 dias.

Tabela 2. Vida de prateleira do camarão *L. vannamei* submetido ao plasma não térmico estimada através de regressões lineares.

	Modelo de regressão linear	r ²	Vida de prateleira (dias)
Controle	$y = 2,0541x + 0,2203$	0,9922	11,28
5 MHz	$y = 1,6586x + 0,097$	0,9747	13,52
10 MHz	$y = 1,5466x + 0,0925$	0,9832	15,07
15 MHz	$y = 1,4451x - 0,1331$	0,9877	16,28

y = IQ máximo aceitável (65% do total dos pontos deméritos, i.e., 23,4); x = dias refrigerado; r² = coeficiente de regressão

4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As análises microbiológicas de bactérias mesófilas apontaram que houve uma redução da contaminação das amostras de camarão expostas ao tratamento do plasma à frequência de 15 MHz, diferindo das demais amostras, onde a contagem foi superior ao longo dos dias de armazenamento, atingindo aproximadamente 4 log CFU g⁻¹ no final do experimento, conforme mostra a figura 3.

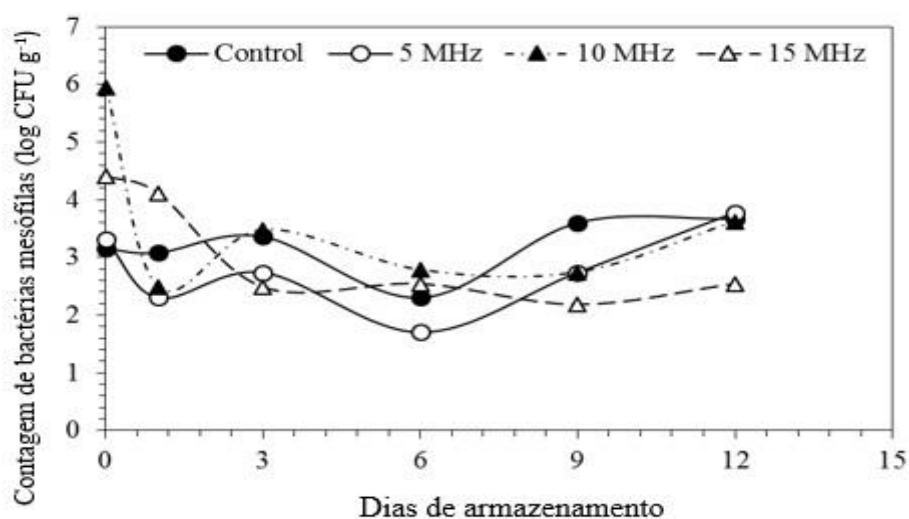


Figura 3. Contagens de bactérias mesófilas em camarão *L. vannamei* submetido ao plasma não térmico.

O plasma gerado através do sistema de descargas de barreiras dielétricas (DBD) com a utilização do ar atmosférico como gás de trabalho gera raios UV, algumas espécies reativas ao oxigênio (O^2) como, ozônio (O^3), oxigênio atômico e dependendo da umidade do ar, radicais OH (GUO et al., 2015). Segundo Scholtz et al. (2015) tais compostos gerados pelo plasma possuem capacidade bactericida, agindo diretamente na célula como é o caso dos raios UV onde a incidência do mesmo no ácido nucléico faz com que ocorra a formação de dímeros de timina na qual inibe a capacidade de replicação da bactéria. Além dos raios UV, o ozônio gerado pelo plasma também já teve seu potencial relatado na redução da carga microbiana em camarão (OKPALA et al., 2015).

Em relação à contagem de bactérias psicrotróficas, a utilização do plasma não térmico à frequência de 15 MHz demonstrou efeito bactericida significativo ($p < 0,05$), frente aos demais tratamentos e ao grupo controle. Com manutenção de poucas unidades formadoras de colônia ao longo do armazenamento ($0,6 \log CFU g^{-1}$), já os demais grupos demonstraram uma tendência de crescimento durante o armazenamento, atingindo $5 \log CFU g^{-1}$ no último dia de armazenamento no grupo controle (Figura 4).

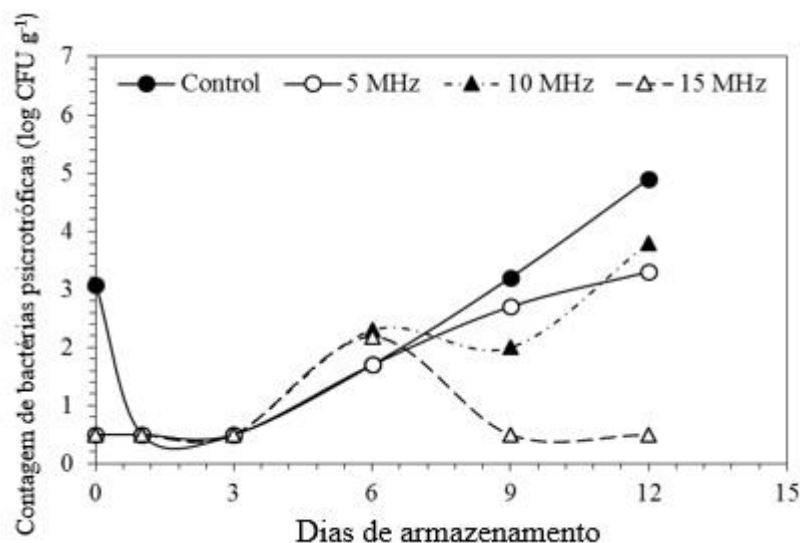


Figura 4. Contagens de bactérias psicotróficas em camarão *L. vannamei* submetido ao plasma não térmico.

Os efeitos do plasma não térmico como agente bactericida em camarão ainda não foram reportados, mas alguns trabalhos com produtos de origem animal já vêm sendo realizados. Noriega et al., (2011) observaram a eficiência do plasma não térmico na redução da bactéria psicotrófica *Listeria innocua* na superfície de peito de frango, os autores reportaram uma redução de 3,3 log CFU g⁻¹.

As análises de *Salmonella* sp. mostraram resultado negativo (ausência), conforme preconizado pelo Regulamento e Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA, 2017).

4.3 ANÁLISES FÍSICAS

O pH das amostras se mostrou estável até o 3º dia de armazenamento, onde todas as amostras possuíam pH entre 6,1 a 6,4. A partir do 6º dia, houve acréscimo no grupo controle sendo significativamente superior às amostras submetidas ao plasma, atingindo um pH de 7,8 ao final do experimento. Já as amostras submetidas ao plasma mantiveram o pH estável, permanecendo dentro da legislação (RIISPOA, 2017) até o final do experimento.

De acordo com López-Caballero et al., (2007) os crustáceos possuem altos índices de nitrogênio não-proteico, facilitando a atividade bacteriana ou de algumas enzimas endógenas, tais atividades resultam na elevação do pH durante o armazenamento, através da presença de compostos nitrogenados já citados anteriormente e que são liberados na presença de microrganismos.

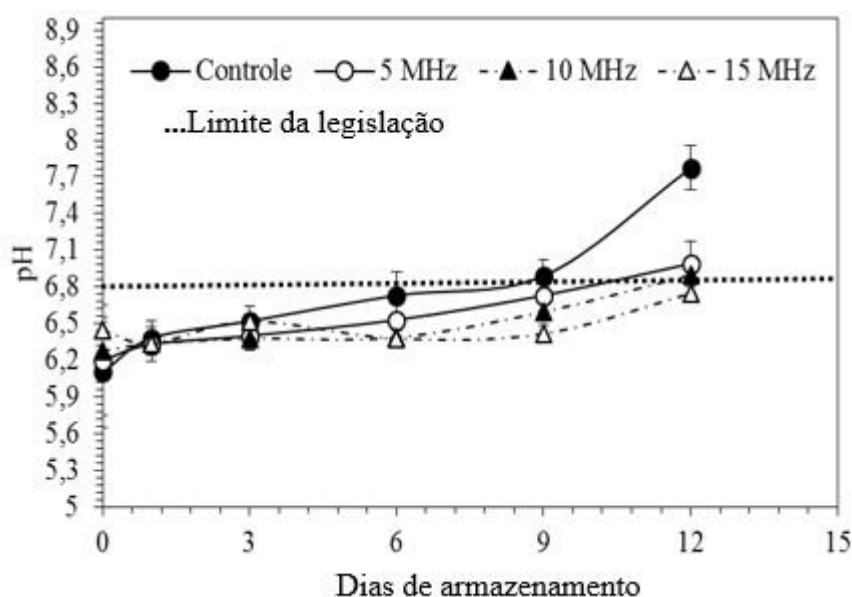


Figura 5. Efeito do plasma não térmico no pH do camarão *L. vannamei*.

Em relação a cor, foi observado aumento gradativo nos valores de ΔE (variação de cor) com o aumento do tempo de armazenamento, a utilização do plasma foi eficaz na manutenção da cor dos camarões, a frequência de 15 MHz foi a mais eficiente dentre os tratamentos, já o grupo controle obteve a maior variação de cor durante o armazenamento (Figura 6).

Segundo Hsu et al, (2017) um dos principais parâmetros de qualidade para determinação do frescor do camarão é a cor, e o responsável pela grande variação da cor (ΔE) em crustáceos durante o armazenamento, é o desenvolvimento da melanose, processo resultante da ação da enzima polifenoloxidase na presença de oxigênio. No presente estudo, a ocorrência do processo de melanização foi maior no grupo controle, explicando os maiores valores de ΔE . A utilização do plasma não térmico, foi eficiente no retardo do processo de melanização, consequentemente resultando em menores variações de cor (ΔE) no camarão durante o armazenamento.

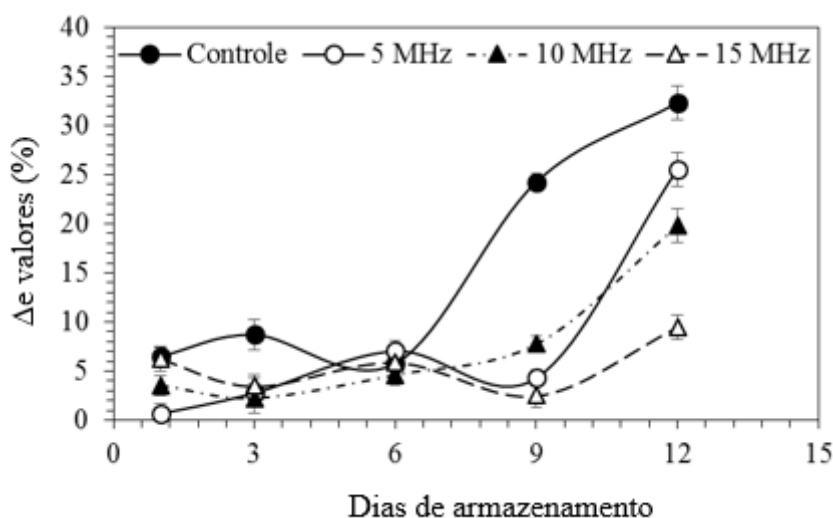


Figura 6. Efeito do plasma não térmico na Δe variação de cor do camarão *L. vannamei*.

O plasma contribuiu significativamente ($p < 0,05$) para o aumento da capacidade de retenção de água nas amostras, demonstrando possuir uma relação proporcional com a capacidade da amostra em reter líquido, atingindo uma CRA de 80,4% no início do experimento para as amostras submetidas ao plasma com frequência de 15 MHz, enquanto que o grupo controle possuiu 67,1% (Tabela 3).

Para Wachirasiri et al, (2016) a CRA está diretamente associada ao pH da carne. Em amostras com pH baixo a acidez faz com que ocorra rápida desnaturação das proteínas, diminuindo consequentemente a capacidade da carne reter líquido. Segundo Carneiro et al., (2013) com o aumento do pH no músculo as proteínas se afastam do seu ponto isoelétrico, resultando em um aumento da carga líquida negativa e por sua vez, um aumento da repulsão eletrostática entre elas, está repulsão favorece a retenção de água no produto.

Para Moreno, Loureiro e Souza (2008), a CRA influencia a aparência da amostra antes e durante o cozimento, determinando a suculência no momento do consumo. Além de determinar a habilidade da carne em reter água após a aplicação de forças externas (MUCHENJE et al., 2009), uma baixa CRA também promove a perda do valor nutritivo e traz como consequência a produção de uma amostra seca com maciez comprometida (MORENO, LOUREIRO; SOUZA, 2008), já que neste processo ocorre a desnaturação proteica (GOÑI E SALVADORI, 2010).

Tabela 3. Caracterização da Capacidade de Retenção de Água (CRA) do camarão *L. vannamei* submetidos ao plasma não térmico.

Dias de armazenamento	Variáveis	Frequências do plasma				CV (%)
		Controle	5 MHz	10 MHz	15 MHz	
0		67,1 Ca	73,0 Ba	75,1 Ba	79,5 Aa	1,49
1		67,3 Da	70,9 Cab	75,2 Ba	80,4 Aa	
3	CRA	67,0 Ca	68,4 BCbc	70,6 Bb	75,3 Ab	
6	(%)	66,3 Ca	71,0 Bab	71,7 Bb	74,8 Ab	
9		64,1 Ca	67,3 Bc	69,7 Bb	72,9 Ab	
12		59,9 Cb	68,6 Bbc	69,9 Bb	74,3 Ab	

^{A,B} Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey 5%.
^{a, b, c} Letras minúsculas distintas na coluna indicam diferença entre os tempos de armazenamento pelo teste Tukey 5%.

De acordo com Freire et al. (2016), por meio do processo de cocção, várias características do produto são alteradas, dentre elas os teores de gordura e umidade, consequentemente, interferindo no peso/volume do alimento, sendo uma característica importante para o rendimento final. As menores perdas de peso ocorreram nas amostras tratadas com plasma, sendo o grupo tratado com a frequência de 15 MHz, o mais satisfatório, pois mostrou-se mais eficiente na manutenção do peso, apresentando um resultado inversamente proporcional com a CRA.

Tabela 4. Caracterização da Perda de Peso por Cocção (PPC) do camarão *L. vannamei* submetido ao plasma não térmico.

Dias de armazenamento	Variáveis	Frequências do plasma				CV (%)
		Controle	5 MHz	10 MHz	15 MHz	
0		45,4 Aa	42,1 ABa	39,5 BCa	37,1 Ca	3,02
1		46,6 Aab	44,3 Aab	40,4 Bab	39,2 Bab	
3	PPC	46,7 Aab	43,4 ABab	42,2 Babc	40,3 Bab	
6	(%)	47,0 Aab	44,7 ABab	41,7 Bab	41,2 Bb	
9		49,7 Ab	46,7 ABbc	44,1 BCab	41,8 Cb	
12		54,1 Ac	48,9 Bc	46,3 BCc	42,8 Ca	

^{A,B} Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey 5%.
^{a, b, c} Letras minúsculas distintas na coluna indicam diferença entre os tempos de armazenamento pelo teste Tukey 5%.

Em relação à força de cisalhamento, não houve diferença entre as amostras tratadas com plasma e ao grupo controle, os valores variaram de 0,6 a 1,2 kgf/cm². Com o tempo de armazenamento, a força de cisalhamento das amostras foi diminuindo, atingindo os valores mais baixos ao final do experimento (tabela 5).

Tabela 5. Caracterização da Força de Cisalhamento (FC) do camarão *L. vannamei* submetido ao plasma não térmico.

Dias de armazenamento	Variáveis	Frequências do plasma				CV (%)
		Controle	5 MHz	10 MHz	15 MHz	
0	FC (kgf/cm ²)	1,2 Aa	1,2 Aa	1,2 Aab	1,2 Aab	12,18
1		1,2 Aa	1,0 Aab	1,2 Aa	1,3 Aa	
3		0,8 Ac	1,0 Aab	0,9 Abc	1,0 Aabc	
6		0,8 Ac	0,9 Aabc	0,9 Abc	0,9 Abcd	
9		1,0 Aab	0,7 Ac	0,9 Abc	1,0 ABcd	
12		0,8 Ac	0,9 Abc	0,8 Ac	0,6 Ac	

^{A,B} Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey 5%.
^{a, b, c} Letras minúsculas distintas na coluna indicam diferença entre os tempos de armazenamento pelo teste Tukey 5%.

4.4 ANÁLISES QUÍMICAS

As bases voláteis totais (BVT), apresentaram acréscimo durante o tempo de armazenamento, no entanto, as amostras encontraram-se dentro dos valores permitidos pela legislação vigente (BRASIL, 017). O grupo controle apresentou valores superiores ($p < 0,05$) aos demais tratamentos, atingindo $24,76 \text{ mg N } 100 \text{ g}^{-1}$ ao final do experimento. O plasma não térmico teve efeito direto na produção de bases voláteis totais das amostras de camarão, quanto maior a frequência do plasma utilizado menores foram os valores encontrados. As amostras submetidas a frequência de 15 MHz atingiram valor máximo de $12,33 \text{ mg N } 100 \text{ g}^{-1}$ no 12º dia (Figura 7), equivalente a 50% do valor de N-BVT produzido nas amostras controle.

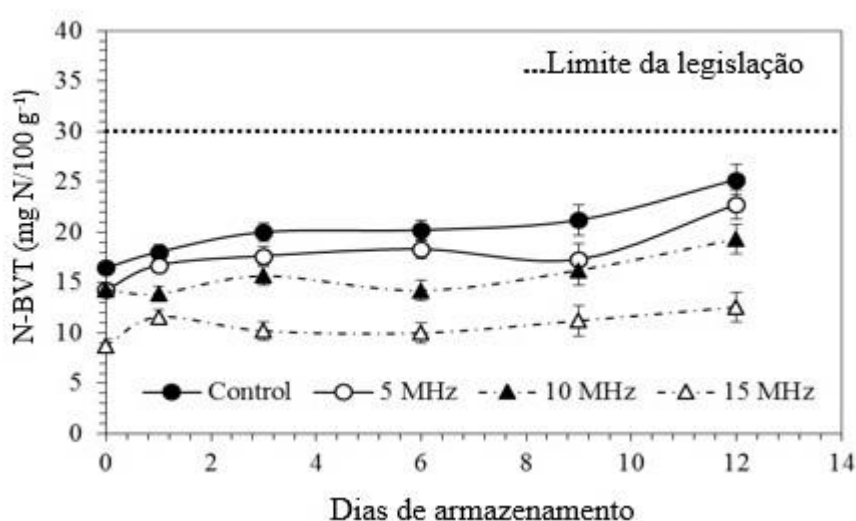


Figura 7. Efeito do plasma não térmico no Nitrogênio de Bases Voláteis Totais (N-BVT) no camarão *L. vannamei*.

Em relação à trimetilamina (TMA), não houve diferença ($p>0,05$) entre as amostras, com valores variando de 2 a 4 mg N 100 g⁻¹ que é o limite máximo permitido por legislação (BRASIL, 2017) como pode ser visto na Figura 8. A trimetilamina (TMA) é a principal responsável por alterações nos valores de BVT durante a estocagem de pescado marinho em gelo (MENDES; LAJOLO, 1975).

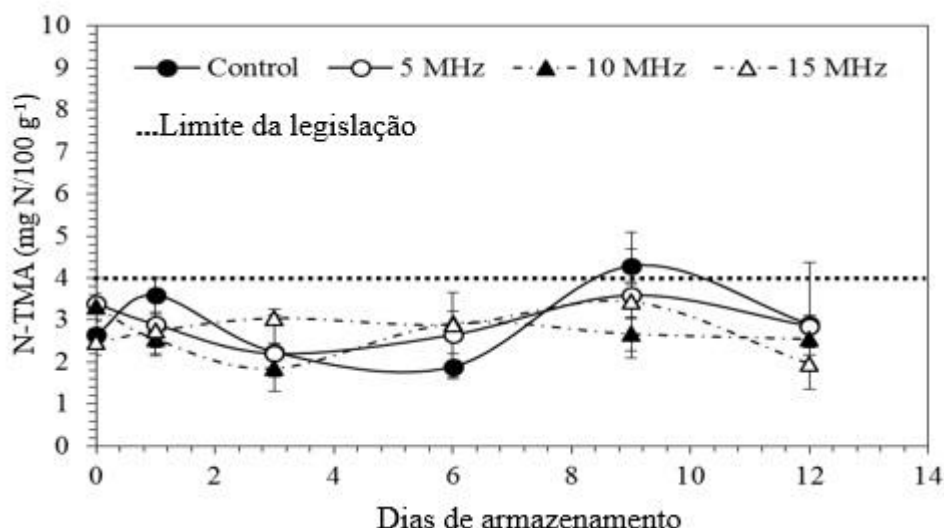


Figura 8. Efeito do plasma não térmico no Nitrogênio de Tri-metilamina (N-TMA) do camarão *L. vannamei*.

No processo de catabolismo bacteriano, compostos voláteis são produzidos como resultado da degradação de nutrientes do pescado como, por exemplo, os aminoácidos e o óxido de trimetilamina (OTMA) que são utilizados, pela degradação, como indicadores de deterioração microbiana, ao dar origem as bases voláteis totais (BVT), que incluem, dentre outras, a amônia e a trimetilamina (GIANNINI, 2003). Logo, as bases voláteis totais, e especificamente a trimetilamina possuem relação diretamente proporcional ao nível de contaminação das amostras, podendo observar tal comportamento no presente estudo.

A análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBArS) não mostrou diferença significativa entre os tratamentos. O produto pode ser considerado em bom estado, apresentando valores abaixo de 3,0 mg de malonaldeído/kg de amostra, sendo os limites de oxidação lipídica para o consumo de 7-8 mg de MA/kg no alimento (CADUN et al., 2008). Os valores para todos os grupos, não chegaram a 0,5 MA/kg, estando dentro do preconizado pela legislação.

Tabela 6. Caracterização da substância reativas ao Ácido 2-Tiubarbitúrico (TBARS) em camarão *L. vannamei*, submetidos ao plasma não térmico.

Dias de armazenamento	Variáveis	Controle	Frequências do plasma			CV (%)
			5 MHz	10 MHz	15 MHz	
0	TBARS (mg MDA / kg)	0,30 Ab	0,29 Aab	0,31 Aab	0,29 Ab	0,96
1		0,27 Ab	0,29 Aab	0,28 Aab	0,27 Ab	
3		0,31 Ab	0,29 Aab	0,29 Aab	0,31 Aab	
6		0,33 Aab	0,28 Ab	0,31 Aab	0,34 Aab	
9		0,34 Aab	0,36 Aa	0,34 Aa	0,32 Aab	
12		0,41 Aa	0,36 Aa	0,36 Aa	0,39 Aa	

^{A,B} Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey 5%.

^{a, b, c} Letras minúsculas distintas na coluna indicam diferença entre os tempos de armazenamento pelo teste Tukey 5%

5 CONCLUSÕES

A exposição do camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) ao plasma não térmico sob frequência de 15 MHz promoveu melhores resultados nas qualidades física, química, microbiológica e sensorial (comprovada por meio do MIQ), aumentando a vida de prateleira das amostras em 5 dias, sugerindo que o tratamento é eficaz na manutenção da qualidade do camarão.

REFERÊNCIAS

- ABABOUC, L. Fisheries and Aquaculture topics. Composition of fish. Topics Fact Sheets. **FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome: FAO, 2005.**
- AFSHARI, R.; HOSSEINI, H. Non-thermal plasma as a new food reservation method, its present and future prospect. **Journal of Paramedical Sciences (JPS)**. v. 5, p.116-120, 2014.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4 ed. Viçosa: UFV. 2010. 596 p.
- BANU, M. S. Cold Plasma as a Novel Food Processing Technology. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Developments*, 2012.
- BASSETO, A. L. C.; GONÇALVES, M. A. A.; BARROS, M. V.; VIEIRA, F. D.; STRADIOTO, J. P. **Contribuições de tecnologias limpas para a indústria de laticínios**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR. 2017.
- BRASIL – Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes: II – Métodos físicos e químicos**. Brasília, Cap. 11, 5-6 p., Pescado, 1981.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC n. 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. Diário Oficial [da] **República Federativa do Brasil**. Brasília, 10 jan 2001. Seção 1, n. 7-E. p. 45-53.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, aprova o novo **Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, Seção 1, No. 62, p. 3-27, 30 de março de 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003**. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de agosto de 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 185, de 13 de Maio de 1997. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 Maio 1997.
- CADUN, A.; KISLA, D.; CAKLI, S. Marination of deep-water pink shrimp with rosemary extract and the determination of its shelf-life. **Food Chemistry**, v. 109, p. 81–87, 2008.
- CARNEIRO, C. DA S.; MÁRSICO, E. T.; RIBEIRO, R. D. O. R.; JÚNIOR, C. A. C.; ÁLVARES, T. S.; DE JESUS, E. F. O. Studies of the effect of sodium tripolyphosphate on frozen shrimp by physicochemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF 1H NMR). **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 401-407, 2013.

DENG, S.; RUAN, R.; MOK, C. K.; HUANG, G.; LIN, X.; CHEN, P. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. **Food Microbiology and Safety**. V. 72, nº2, p.62-66, 2007.

FACÓ, J. L. D. **Otimização de um sistema de plasma térmico para destruição de resíduos industriais tóxicos**. XXXVI SBPO. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). São João Del Rei – MG, 2004.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma SOFIA, 2014.

FAO, Fisheries. Aquaculture Department (2009). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2008**, 2009.

FARIA, J. A. F.; CRUZ, A. G. & GONÇALVES, A. A. Embalagem Ativa e com Atmosfera Modificada (Capítulo 2.2.1 – p. 209-216). In: Gonçalves, A. A. (Ed.). Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. São Paulo, SP: **Atheneu**, 608 p., 2011.

FREIRE, B. C. F.; DE PAIVA SOARES, K. M.; DE AZEVEDO COSTA, A. C. A.; DE SOUZA, A. S.; DA SILVA, L. K. C.; DE GÓIS, V. A.; GOMES, H. A. N. Qualidade de camarão (*Litopenaeus vannamei*) minimamente processado. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, n. 2, p. 150-155, 2016.

GIANNINI, A.; SARAVANAN, R.; CHANG, P. Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. **Science**, v. 302, n. 5647, p. 1027-1030, 2003.

GONÇALVES, A. A.; OLIVEIRA A. R. M. Melanosis in crustaceans: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 791-799, 2016.

GOÑI, Sandro M.; SALVADORI, Viviana O. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 1, p. 1-11, 2010.

GUO, J.; HUANG, K.; WANG, J. Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: A review. **Food Control**, v. 50, p. 482-490, 2015.

GUROL, C.; EKINCI, F. Y.; ASIAN, N.; KORACHI, M. Low Temperature Plasma for decontamination of *E. coli* in milk. **International Journal of Food Microbiology**. v. 157, p. 1-5, 2012.

HAMM, Reiner. Biochemistry of meat hydration. In: **Advances in food research**. Academic Press, p. 355-463, 1961.

HATI, S.; MANDAL, S.; VIJ, S., MINIZ, P. S.; BASU, S.; KHERTRA, Y.; YADAV, D.; DAHIYA, M. Nonthermal plasma technology and its potential applications against foodborne microorganisms. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 36. p. 518- 524. 2012.

HSU, F. L. K. (Ed.). **Kinship and culture**. Routledge, 2017.

HYLDIG, G.; GREEN-PETERSON, D.M.B. Quality Index Methods. In: NOLLET, L. M. L. (Org.). **Hand book of Meat, Poultry & Seafood Quality**. Oxford: Black well Publishing, p.

529–549, 2007.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 1ª Versão Digital. São Paulo: IAL, 2008.

ISO. **Sensory Analysis: General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors**. ISO, 1994.

ISTADI, N.A.S.A. Co-generation of synthesis gas and C2C hydrocarbons from methane and carbon dioxide in a hybrid catalyticplasma reactor: A review. **Fuel**. v. 85, p. 577- 592, 2006.

KONOSU, S.; YAMAGUCHI, K. Chemistry and biochemistry of marine food products. by **RE Martin, GJ Flick, CE Hebard, and DR Ward**), **AVI Publishing Co., Connecticut**, p. 367-404, 1982.

LAROUSSI, Mounir; SAYLER, Gary S.; GLASCOCK, Battle B. **Electrodeless discharge at atmospheric pressure**. U.S. Patent n. 6,204,605, 20 mar. 2001.

Lee, H. J.; Jung, H.; Choe, W.; Ham, J.S.; Lee, J.H.; Jo, C. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiol.* 28, 1468–1471, 2011.

LIU, C. J.; XU, G. H.; WANG, T. Non-thermal plasma approaches in CO₂ utilization. **Fuel Processing Technology**. v. 58, p. 119-34, 1999.

LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, O.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. D. C.; MONTERO, P. Quality of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with melanosis-inhibiting formulations during chilled storage. **International journal of food science & technology**, v. 42, n. 9, p. 1029-1038, 2007.

LOVATTO, M. T.; BISOGNIN, D. D.; TREPTOW, R. O.; STORCK, L.; GNOCATO, F. S.; MORIN JUNIOR, G. Processamento mínimo de tubérculos de batata de baixo valor comercial. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 258-265, 2012.

MACHALA, Z.; JANDA, M.; HENSEL, K.; JEDLOVSKÝ, I.; LEŠTINSKÁ, L.; FOLTIN, V.; MARTIŠOVITŠ; MORVOVÁ, M. Emission spectroscopy of atmospheric pressure plasmas for bio-medical and environmental applications. **Journal of Molecular Spectroscopy**. v. 246, p 194-201, 2007.

MARTINDÓTTIR, E.; LUTEN, J.B.; SCHELVIS-SMIT, A.A.M.; HYLDIG, G. Developmentsof QIM – pastand future. In: LUTEN, J. B.; OEHLenschläger, J.; OLAFSDÓTTIR, G. (Org.). **Quality of Fish from Catch to Consumer**. Holanda: Wageningen Academic Publishers, p. 265–272. 2003.

McMEEKIN, T.; OLLEY, J.; ROSS, T.; RATKOWSKY, D. Basic concepts and methods. In *Predictive microbiology: theory and application*. **Research Studies Press Ltd**, Taunton, UK, p. 11–84, 1993.

MENDES, M. H. M.; LAJOLO, F. M. Evolução das bases voláteis totais e da trimetilamina em pescados e o seu uso como indicador da qualidade. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 303-322, jul./dez. 1975.

MENDIS, A.; ROSENBERG, M.; AZAM, F. A note on the possible electrostatic disruption of bacteria, *IEEE Trans. Plasma Science*, vol. 28, pp. 1304–1306, 2000.

MISRA, N. N.; TIWARI, B. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; CULLEN, P. J. Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*, v. 3, n. 3-4, p.159-170, 2011.

MISRA, N.N., MOISEEV, TAMARA; PATIL, S., PANKAJ, S. K.; BOURKE, J. P., KEENER, K. M., CULLEN, P. J. Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries, *Food Bioprocess Technology*, v.7, p. 3045-3054, 2014.

MONTENEGRO, J; RUAN, R.; MA, H.; CHEN, P. Inactivation of *E. coli* 157:H7 using a pulsed nonthermal plasma system. *Food Engineering and Physical Properties*. v. 67, n.2, p.146-148, 2002.

MORENO, G. M. B.; LOUREIRO, C. M. B.; SOUZA, H. B. A. Características qualitativas da carne ovina. *Revista Nacional da Carne*, v. 381, p. 76-90, 2008.

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P. E.; HUGO, A.; RAATS, J. G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food chemistry*, v. 112, n. 2, p. 279-289, 2009.

NIEMIRA, B. A. Cold plasma decontamination of foods. *Annual review of food science and technology*, v. 3, p. 125-142, 2012.

NIRMAL, N. P.; BENJAKUL, S. Melanosis and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) treated with catechin during iced storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 9, p. 3578-3586, 2009.

NORIEGA, L. G.; FEIGE, J. N.; CANTO, C.; YAMAMOTO, H.; YU, J.; HERMAN, M. A.; MATAKI, C.; KAHN, B. B.; AUWERX, J. CREB and ChREBP oppositely regulate SIRT1 expression in response to energy availability. *EMBO reports*, v. 12, n. 10, p. 1069-1076, 2011.

OGAWA, M.; PERDIGÃO, N. B.; SANTIAGO, M. E.; KOZIMA, T. T. On physiological aspects of black spot appearance in shrimp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v. 50, p. 1763–1769, 1984.

OGAWA, N. B. P., ARAÚJO, I. W. F., LUCENA, L. D., MAIA, E. L., & OGAWA, M. Teor residual de SO₂ em camarões congelados exportados pelo estado do Ceará. *Boletim Téc. Cient. CEPNOR*, 3(1), 191-196, 2003.

OKPALA, C. O. R. et al. Ozone (O₃) process technology (OPT): an exploratory brief of minimal ozone discharge applied to shrimp product. *Energy Procedia*, v. 75, p. 2427-2435, 2015.

OLIVEIRA, A.R.M. Efeito antimelanósico da acerola e metabissulfito de associado à embalagem em atmosfera modificada sobre a qualidade do camarão branco (*Litopenaeus vannamei*). Dissertação. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró-RN, 102p., 2013.

OSÓRIO, J. C. S.; OSÓRIO, M. T. M.; JARDIM, P. O. C.; PIMENTEL, M. A.; POUEY, J. L. O.; LÜDER, W. E. **Métodos para avaliação de carne ovina “in vivo”, na carcaça e na carne**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 1998.

PALA, Çiğdem Uysal; TOKLUCU, Ayşegül Kırca. Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 426-431, 2013.

PARDIO, V. T.; WALISZEWSKI, K. N.; ZUÑIGA, P. Biochemical, microbiological and sensory changes in shrimp (*Panaeus aztecus*) dipped in different solutions using face-centred central composite design. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 2, p. 305-314, 2011.

PARK, S.Y., HA, S.-D., 2015. Application of cold oxygen plasma for the reduction of *Cladosporium cladosporioides* and *Penicillium citrinum* on the surface of dried filefish (*Stephanolepis cirrhifer*) fillets. **Int. J. Food Sci. Technol.** 50, 966–973.

PEDRAJA, R. R. Change of composition of shrimp and other marine animals during processing. **Food Technology**, Chicago, v. 24, p. 1355–1360, 1970.

QUEIROZ, L.; ROSSI, S.; MEIRELES, J.; COELHO, C. Shrimp aquaculture in the federal state of Ceará, 1970- 2012: Trends after mangrove forest privatization in Brazil. **Ocean&Coastal Management**, Florida, v. 73, p.54-62, 2013.

RAMOS, B.; MILLER, F. A.; BRANDÃO, T. R. S. TEIXEIRA, P.; SILVA, C. L. M. Fresh fruits and vegetables – an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 20, p. 1-15, 2013.

RAWSON, A. et al. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1875-1887, 2011.

SANT’ANA, L. S.; FREITAS, M. Q. de. Aspectos sensoriais do pescado. In: GONÇALVES, A. A. (Ed.). **Tecnologia do Pescado - Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, p. 21–32, 2011.

SELCUK, M.; OKSUZ, L.; BASARAN, P. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. v. 99. p. 5104–5109, 2008.

SHI, X.M.; ZHANG GUAN-JUN; WU XI-LI; MA, Y.; SHAO XIAN-JUN. Effect of Low-Temperature Plasma on Microorganism Inactivation and Quality of Freshly Squeezed Orange Juice. **IEE Transactions on Plasma Science**. v. 39.n.7, 1591-1597, 2011.

SHÜLTER, O.; EHLBECK, J.; HERTEL, C.; HABERMEYER, M.; ROTH, A.; ENGEL K. H.; HOLZHAUSER, T.; KNORR, D.; EISENBRAND, G. Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods. **Molecular Nutrition & Food Research**. v. 57, p. 920-927, 2013.

SMEU, I.; IOANANICOLAU, A. Enhancement of food safety – Antimicrobial effectiveness of cold plasma treatments. **The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology**, v. 38, n. 1, p. 9-20, 2014.

SONG, H.P.; KIM, B.; CHOE, J. H.; JUNG, S.; MOON, S. Y.; CHOE, W.; JO, C. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. **Food Microbiology**, v. 26, p. 432-436, 2009.

SUROWSKY, B.; FISCHER, A.; SCHLUETER, O.; KNORR, D. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 19, p. 146-152, 2013.

TARLADGIS, B.G.; WATTS, B.M.; YOUNATHAN, M.T. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. **Journal of American Oil Chemist's Society**, v. 37, p. 44-48, 1960.

TAYLOR, S.L.; HIGLEY, N.A. & BUSH, R.K. Sulphites in foods: uses, analytical methods, residues, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity and hypersensitivity. **Adv. Food Res.**, v.30, p.1-75, 1986.

TSIRONI, T.; DERMESONLOUGLOU, E.; GIANNAKOUREOU, M.; TAOUKIS, P. Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 664–671, jul. 2009.

WACHIRASIRI, K., WANLAPA, S., UTTAPAP, D., & RUNGSARDTHONG, V. Use of amino acids as a phosphate alternative and their effects on quality of frozen white shrimps (*Penaeus vanamei*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 303-311, 2016.

WARRIS, P. D. **Ciência de la Carne**. Acribia: Zaragoza, 2003. 309p.

YUAN, G., LV, H., TANG, W., ZHANG, X., & SUN, H. Effect of chitosan coating combined with pomegranate peel extract on the quality of Pacific white shrimp during iced storage. **Food Control**, v. 59, p. 818-823, 2016.

ZENG, Q.Z.; THORARINSDOTTIR, K.A.; OLAFSDOTTIR, G. Quality of shrimp (*Pandalus borealis*) stored under different cooling conditions. *Journal of Food Science*, v.70, n.7, p.459-466, 2005.

ZHANG, B.; MA, L. K.; DENG, S. G.; XIE, C.; QIU, X. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. **Food Control**, v. 51, p. 114-121, 2015.

ZIUZINA, D. PAITI, P.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. **Food Microbiology**, v. 42, p. 109-116, 2014.