

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

AMANDA GESSER CASTELAN

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM
FILÉS DE TILÁPIA FRESCOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2019

AMANDA GESSER CASTELAN

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM
FILÉS DE TILÁPIA FRESCOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, de Graduação em Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – *campus* Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Fábio H. P. Scopel

Coorientadora: Prof.^a Dra. Adriana A. Durval

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

EFEITOS DA APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM FILÉS DE
TILÁPIA FRESCOS

por

AMANDA GESSER CASTELAN

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado no dia ____ de _____ de 20__ como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profº. Drº. Fábio Henrique Poliselí Scopel

Profº. Drº. Evandro Bona

Profª. Drª. Leila Larisa Medeiros Marques

Nota: O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR *Campus* Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me guiado até aqui, por ser minha esperança e amparo nos dias mais difíceis. Sem Ele e todas suas bênçãos, nada disso seria possível. Obrigada Deus por todo seu amor e misericórdia!

À minha mãe Dioni, que sempre me deu o maior apoio emocional possível, sempre acreditando que eu iria conseguir, até mesmo quando eu não mais acreditava. Ao meu pai Altamiro que sempre me apoiou financeiramente e principalmente estruturalmente, me guiando sempre no caminho da honestidade e perseverança nos estudos. As minhas irmãs Daniella e Giovanna e meu irmão Matheus que sempre torceram e lutaram comigo, me apoiando em todos os momentos e me fazendo sorrir sempre. Sem vocês eu não sou nada, eu amo vocês incondicionalmente. Obrigada por me esperarem todo esse tempo, em breve estou de volta para casa.

As minhas avós Lourdes e Aparecida que infelizmente partiram no meio desta jornada, vocês me ensinaram a ser luz por onde eu passar, me ensinaram sobre fé e devoção, honestidade e principalmente me ensinaram sobre amar e respeitar o próximo. Toda essa vitória também é de vocês.

A todos meus amigos que me deram a mão e me trouxeram até aqui. Em especial Amanda, Thais, Vitória, Aline, Lorene, Maressa, Renata e Valéria que acompanharam de perto todos os momentos de tristeza e alegria. Sou grata a vocês por todas as vezes que bebemos, sorrimos e comemoramos juntas. Por todos os segredos compartilhados, obrigada! Eu amo vocês.

Aos que me ajudaram na parte técnica da elaboração deste trabalho, tanto nas análises em laboratório como no auxílio da escrita Letícia, Aline, Sidnei e Ana Carla. Obrigada pelo apoio, essa conquista também é de vocês.

Um agradecimento especial a equipe de Handebol da atlética demônios do campo, que por 3 anos confiaram nos meus ensinamentos e me ensinaram a liderar com sabedoria e amor. Vocês me ensinaram que trabalhar em equipe é fundamental para o sucesso.

Ao meu orientador, Professor Fábio, que se tornou um grande amigo no decorrer do curso e da elaboração deste trabalho. Por toda paciência,

ensinamentos, sugestões e correções que foram de suma importância. Você é exemplo da sua profissão, vou lhe carregar como um grande mestre sempre.

À banca examinadora, professora Dra. Leila Larisa Medeiros Marques e professor Dr. Evandro Bona pelas correções e sugestões.

A todos os professores do departamento de Engenharia de Alimentos e dos demais departamentos que me ensinaram, encorajaram e inspiraram. A todos os servidores do campus que sempre foram muito prestativos e gentis. E agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade de um dos melhores ensinamentos do país.

E por fim a todos os demais que não consegui citar nesses agradecimentos, que não são menos importantes. Obrigada por acreditarem em mim e contribuírem de alguma forma para eu ter chegado até aqui. Essa conquista é nossa!

A vida de quem inventa de voar é paradoxal, todo dia. É o peito eternamente dividido. É chorar porque queria estar lá, sem deixar de querer estar aqui. É ver o céu e o inferno na partida, o pesadelo e o sonho na permanência. É se orgulhar da escolha que te ofereceu mil tesouros e se odiar pela mesma escolha que te subtraiu outras mil pedras preciosas (...)

O preço é alto. A gente se questiona, a gente se culpa, a gente se angustia. Mas o destino, a vida e o peito às vezes pedem que a gente embarque. Alguns não vão. Mas nós, que fomos, viemos e iremos, não estamos livres do medo e de tantas fraquezas. Mas estamos para sempre livres do medo de nunca termos tentado.

Ruth Manus

RESUMO

CASTELAN, A. G. **Efeitos Da Aplicação Da Irradiação Ultravioleta Em Filés De Tilápia Frescos**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.

O consumo do pescado faz parte da dieta alimentar por ser saudável e de alto valor nutritivo. A demanda mundial por pescados vem crescendo de forma acelerada e a tilápia do Nilo é o peixe de água doce mais consumido no Brasil em função de suas características e preferência dos consumidores. Por apresentar alto valor biológico, o pescado possui fácil deterioração pela ação de microrganismos, e sua comercialização *in natura* está sujeita a diversas formas de contaminação. Os microrganismos Aeróbios Psicotróficos são responsáveis pelo processo de deterioração em alimentos refrigerados, portanto sua contagem é importante para indicar a qualidade sanitária. A aplicação de tecnologias não térmicas como alternativa as tecnologias convencionais vem se tornando comum na indústria alimentícia, a fim de alcançar a máxima segurança alimentar. O uso da irradiação da luz ultravioleta no comprimento de onda UVC-C é suficiente para causar danos no DNA dos microrganismos, levando-os a morte. O objetivo do presente trabalho foi determinar a melhor condição de tratamento de filés de tilápia frescos em um protótipo de LED, alterando comprimento de onda e tempo de exposição de luz UV-C por meio de modelos estatísticos de forma a prolongar a vida destes filés. Os efeitos deste tratamento foram avaliados por análise microbiológica da contagem de microrganismos Psicotróficos. Também foi realizada a análise da capacidade de retenção de água na melhor condição determinada. Pela análise microbiológica observou-se diferença significativa entre as amostras tratadas e amostra controle. O modelo aplicado apresentou boa predição dos resultados, sendo estatisticamente significativo. A melhor condição definida foi à exposição da amostra por 15 minutos a 265 nm. A análise de Capacidade de Retenção de água não apresentou diferença significativa, indicando que a aplicação de luz UV-C em filés de tilápia não causa degradação dos tecidos. Os resultados apontam a eficácia na aplicação de UV-C em filés de tilápia, porém faz-se necessário mais estudos para certificar a eficiência dessa tecnologia.

Palavras-chaves: Filés de tilápia, luz ultravioleta, tecnologia, análise microbiológica.

ABSTRACT

CASTELAN, A. G. **Effects Of The Application Of Ultraviolet Irradiation On Fresh Tilapia Fillets**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos). Departamento de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.

Eating fish is part of a healthy and highly nutritional diet. Demand for fresh fish has been growing and Nile tilapia is the most consumed freshwater fish in Brazil due to its characteristics and consumer choice. Due to its high nutritional content, tilapia can easily deteriorate due to microorganisms and fresh catch commercialization can be subject to several types of contamination. Airborne psychrotrophic bacteria are responsible for deterioration of refrigerated food products and measuring their numbers is important to determine sanitary quality. The application of non-thermal technologies as an alternative to conventional technologies is becoming more commonplace in the food industry with the objective of achieving the highest level of food safety. The use of ultraviolet irradiation at UVC-C wavelength is sufficient to cause DNA damage to microorganisms at the DNA level. The objective of the present study was to determine the best condition for the treatment of fresh tilapia fillets in an LED prototype, changing wavelength and exposure time of UV-C light by means of statistical models in order to prolong the life of these fillets. The effects of this treatment were evaluated by microbiological analysis of the count of psychrotrophic microorganisms. It was also performed the analysis of water retention capacity in the best determined condition. The result of the microbiological analysis showed significant difference between test and control samples. The applied model presented positive results which are statistically significant. The optimal conditions for sample exposure was for 15 minutes at 265 nm. The Water Retention Capacity analysis did not present significant differences indicating that the use of UV-C light on tilapia fillets does not cause tissue degradation. The results indicate the efficacy of UV-C application on tilapia fillets, however, more research is necessary to certify the effectiveness of this technology.

Keywords: Tilapia fillets, ultraviolet lights, technology, microbiological analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro Eletromagnético.....	19
Figura 2: Representação do dano causado pela radiação Ultravioleta no DNA dos microrganismos.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 3: Equipamento protótipo de luz ultravioleta do tipo UV-C com lâmpadas de LED.....	24
Figura 4: Comparação entre os tratamentos.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5: Superfície de resposta para log UFC mL ⁻¹	Erro! Indicador não definido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	144
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 QUALIDADE DO PESCADO FRESCO	Erro! Indicador não definido.
3.2 ASPÉCTOS GERAIS DA PRODUÇÃO DE TILÁPIA E SUA FILETAGEM.....	Erro! Indicador não definido.
3.3 LUZ ULTRAVIOLETA E SUAS APLICAÇÕES EM TRATAMENTO DE ALIMENTOS.....	18
3.3.1 As lâmpadas de Luz Ultravioleta	Erro! Indicador não definido.
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	24
4.2 PREPARO DAS AMOSTRAS	24
4.3 TRATAMENTOS APLICADOS NAS AMOSTRAS PELO EQUIPAMENTO PROTÓTIPO DE LUZ UV-C DE LED	24
4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	Erro! Indicador não definido.
4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL COM VÁRIAVEL DE PROCESSO	Erro! Indicador não definido.
4.6 ANÁLISE DE CRA (CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA)	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6 CONCLUSÃO	36
7 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por pescados vem crescendo de forma acelerada em decorrência do aumento populacional e da busca por alimentos mais saudáveis. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization of the United Nation - FAO*), a produção mundial de pescados alcançou em 2016 171 milhões de toneladas, o maior número já registrado. Devido ao aumento da produção, registrou-se o consumo mundial per capita de 20,3 kg (FAO, 2018; SILVA et al., 2016).

O pescado faz parte da dieta alimentar do ser humano e vem ganhando destaque cada vez mais por apresentar fácil digestibilidade e elevados teores de proteínas, vitaminas e sais minerais. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o consumo médio de 12 kg de pescado ou derivados por pessoa por ano. Porém no Brasil, a média de consumo é de apenas 9 kg por habitante (SILVA et al., 2016).

A demanda mundial por pescados vem crescendo de forma acelerada em decorrência do aumento populacional e da busca por alimentos mais saudáveis. De 2004 a 2009, o crescimento do consumo de pescados foi de aproximadamente 13% no acumulado (FAO, 2010). No relatório sobre o estado mundial da pesca e da aquicultura publicado pela FAO em 2018, a organização prevê um aumento significativo na demanda mundial de peixe estimando uma produção de 28 milhões de toneladas no início da década de 2020. Com essa produção a aquicultura mundial tenderia a crescer em nível mundial 9,9% ao ano (FAO, 2018).

A tilápia é uma das espécies de peixes mais produzidas mundialmente. De acordo com estimativas da FAO (2010), a produção de tilápia aumentará em 30% até 2030. No Brasil, de acordo com os dados do IBGE (2016) a produção total da piscicultura brasileira foi de 507,12 mil toneladas em 2016, representando um aumento de 4,4% em relação ao ano anterior. Nesse contexto a tilápia seguiu como a espécie mais produzida no Brasil, com 239,09 mil toneladas despescadas em 2016, representando quase metade (47,1%) do total da piscicultura.

A crescente produção da tilápia no Brasil e no mundo está associada aos

elevados índices de produção, em função de características relativas à rusticidade, genética, reprodução e potencial mercadológico, sendo o filé a preferência de consumo da carne de tilápia pelos brasileiros e, portanto, o principal produto comercializado pelas indústrias que beneficiam esta espécie (MONTEIRO, 2013).

O pescado é um alimento de alto valor nutritivo, constituindo uma das mais importantes fontes proteicas de alto valor biológico, além de sua composição rica em lipídios insaturados, vitaminas e sais minerais (MACEDO-VIEGAS & SOUZA, 2004). Devido suas características nutricionais ele é considerado como um produto altamente perecível e pode passar por processos de deterioração quando estocado, processado ou distribuído inadequadamente, levando ao crescimento microbiano, tornando-o inseguro para o consumidor (FERREIRA et al., 2014).

A comercialização de pescados *in natura* está sujeita a diversas formas de contaminação, como pelo meio ambiente por meio da contaminação de rios e lagos, armazenamento e manuseio inadequado, transporte, condições higiênico-sanitárias, entre outros que acarretam a diminuição da vida de prateleira deste alimento (SILVA et al., 2016; MACHADO et al., 2010).

Para que o consumidor adquira produtos de qualidade, com características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas ideais tem-se testado diversas tecnologias alternativas na indústria alimentícia. Os processos não térmicos vêm ganhando notória importância como tecnologia eficiente para substituir ou complementar os tratamentos térmicos tradicionais (VEGA-MERCADO et al., 1997).

Comparados aos processos térmicos, os processos não térmicos oferecem as vantagens de baixa temperatura de processamento, baixa utilização de energia e a retenção de nutrientes e de sabor semelhante ao produto fresco, enquanto elimina microrganismos e inativa enzimas (VEGA-MERCADO et al., 1997).

Entre os processos alternativos não térmicos, a irradiação por luz ultravioleta pode-se destacar como uma alternativa que aumenta a vida de prateleira de produtos *in natura*, devido ao efeito microbicida quando utilizada com intensidade e tempo de exposição suficiente, sendo encontrada em diversas aplicações no processamento de alimentos. Fontes com comprimentos de ondas inferiores a 200 nm são ineficientes, visto que as ondas são rapidamente absorvidas pelo oxigênio e pela água. As irradiações ultravioletas na faixa de 210 e 330 nm são mais eficientes

como germicidas por serem absorvidas pelas proteínas e ácidos nucléicos, provocando o rompimento de cromossomo, mutações genéticas e inativação de enzimas e, conseqüentemente, a morte da célula (CARDOSO, 2007).

Segundo Souza (2014) a utilização de luz UV em processamentos de alimentos é uma técnica de baixo custo se comparada à radiação gama, alta pressão ou atmosferas modificadas, ambientalmente segura, apresenta boa eficiência na descontaminação, pois reduz a multiplicação de bactérias psicrófilas, coliformes, bolores e leveduras e não produz odores e sabores desagradáveis ao produto.

Assim, frente ao exposto, torna-se viável ampliar o estudo de aplicação de tecnologias alternativas não térmicas, como a irradiação pela luz Ultravioleta (UV-C), com intuito de prolongar a vida útil deste pescado *in natura* mantendo sua qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo tratar, por meio de um equipamento protótipo de irradiação ultravioleta de luz de LED, filés de tilápias frescos adquiridos no comércio local e avaliando os efeitos nos filés por meio de análises microbiológicas e análise da capacidade de retenção de água.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar luz Ultravioleta do tipo UV-C de LED com comprimento de onda de 265 nm e 280 nm, por condições de tempos combinados de 10, 15 e 20 min em filés de Tilápias frescos, adquiridos no comércio local de Campo Mourão – PR;
- Avaliar o efeito dos diferentes tratamentos sobre os filés em comparação com amostra controle (sem tratamento) em relação a contagem padrão total de microrganismos aeróbios psicrotróficos;
- Utilizar modelagem estatística para descrever a inativação dos microrganismos psicrotróficos;
- Determinar, por meio do modelo estatístico, a condição em que se obterá o melhor resultado de inativação microbiana e reproduzi-la no modelo real para contrastar os resultados;
- Analisar a capacidade de retenção de água na amostra que apresentar melhor condição de tratamento em relação a amostras controle.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. QUALIDADE DE PESCADOS FRESCOS

Peixes *in natura*, identificados como pescados frescos pela legislação brasileira são aqueles que nunca foram congelados, obtidos de espécimes saudáveis e de qualidade adequada ao consumo humano, convenientemente lavado e que seja conservado somente pelo resfriamento a uma temperatura próxima a do ponto de fusão do gelo. Devem apresentar aparência úmida, firme e sem manchas na pele; e ausentes de areia, pedaços de metais, plásticos e demais sujidades físicas (BRASIL, 1997).

O pescado fresco é considerado um produto alta perecibilidade e de fácil deterioração quando estocado, processado ou distribuído inadequadamente, levando ao crescimento microbiano, tornando-o inseguro para o consumo humano (FERREIRA et al., 2014). Fatores como contaminação do ambiente, condições higiênico-sanitárias durante a captura e manuseio, armazenamento, transporte e acondicionamento inadequados interferem na qualidade do pescado e favorecem a degradação do mesmo (DUARTE et al., 2010).

Segundo Machado et al. (2010) o pescado é o tipo de proteína animal que está mais suscetível a decomposição por enzimas e bactérias devido à elevada atividade de água; menor quantidade de tecido conjuntivo; ácidos graxos oxidáveis e pH ideal que está próximo à neutralidade, fatores que alteram então a sua natureza física e química, colocando a saúde do consumidor em risco.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA) caracteriza pescado fresco próprio para consumo como as seguintes características organolépticas: os peixes devem apresentar a superfície do corpo limpa, com relativo brilho metálico; olhos transparentes, brilhantes e salientes, ocupando completamente as órbitas; guelras róseas ou vermelhas, úmidas e brilhantes com odor natural, próprio e suave; ventre roliço, firme, não deixando impressão duradoura à pressão dos dedos; escamas brilhantes, bem aderentes à pele e as

nadadeiras apresentando certa resistência aos movimentos provocados; carne firme, consistência elástica, de cor própria à espécie; vísceras íntegras, perfeitamente diferenciadas; ânus fechado; cheiro específico, lembrando o das plantas marinhas (BRASIL, 2017).

O manejo do pescado é importante para garantir a qualidade do pescado, desde a captura até o seu destino final, passando por fases de beneficiamento, transporte e comercialização. Durante o beneficiamento, pode ocorrer a contaminação se não houver boas práticas de fabricação no processamento, higienização e sanitização adequadas. A água para lavagem de equipamentos e manipulação do pescado deve ter padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano (LUCIANO, 2009).

O sucesso para garantir a segurança alimentar do peixe fresco está ligada a combinação de tempo, higiene e temperatura. O tempo é importante na agilidade para evitar reações autolíticas e/ou microbianas, que estão relacionadas com a higiene do barco, estrutura de processamento e dos manipuladores do pescado, adjuntos às temperaturas baixas que, se devidamente aplicadas, evitarão ou retardarão essas reações (MACHADO et al., 2010).

Os riscos a contaminação dos pescados estão desde as condições ambientais do seu cultivo ou habitat até o final da sua cadeia produtiva. Peixes capturados em rios ou lagos poluídos, ou próximos a locais poluídos podem sofrer contaminações e ocasionar infecções ao consumidor por parasitas, doenças associadas a bactérias e vírus, resíduo de drogas veterinárias, e contaminação por agrotóxicos ou metais pesados (SANTOS, 2006).

Os microrganismos aeróbios mesófilos e psicotróficos são responsáveis pelo processo de deterioração de diversos alimentos, sendo os psicotróficos mais comumente relacionados a alimentos refrigerados, portanto sua contagem é importante para indicar a qualidade sanitária de alimentos frescos (MONTEIRO, 2013). Algumas bactérias são frequentemente encontradas em peixes *in natura*, que ocasionam a sua contaminação, como: *Vibrio cholerae*, *V. parahemolyticus*, *V. vulnificus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, *Aeromonas hydrophila*; *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Shigella sp*, *Campylobacter sp*, *Yersinia enterocolitica*,

Bacillus cereus, *Staphylococcus aureus* e *Clostridium perfringens* (LUCIANO, 2009; SANTOS, 2006).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (2001a) preconiza a RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, que os valores de tolerância máxima para amostras de carnes, pescados e similares crus sejam: Coliformes a 45°C, 10² NMP/g; Estafilococos coagulase positiva, 5x10³ UFC/g; *V. parahaemolyticus*, 10³ NMP/g; e *Salmonella* spp, ausência/25 g.

A qualidade dos produtos cárneos, como o pescado fresco está ligada a diversas características físico-químicas, como a capacidade de retenção de água (CRA) que é definida como a capacidade da carne reter água ou umidade durante a aplicação de forças externas e/ou armazenamento. A menor CRA no produto implicará perdas do valor nutritivo, formação de ácido lático e conseqüentemente a queda do pH, o que ocasiona em uma carne mais seca e com menos maciez diminuindo a sua qualidade (ROQUE-SPECHT et al., 2009)

A indústria de pescado atua com diversos tipos de peixes em seu processamento, com diferentes tipos de apresentação, como a filetagem que é uma operação manual e segundo o Franzon (2011) esse processo oferece um risco maior quanto às contaminações do produto, onde não sofrerá esterilização no final do processo, aumentando o risco ao consumidor final em caso de falhas na aplicação de boas práticas de fabricação.

3.2. ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO DE TILÁPIA E SUA FILETAGEM

A produção de peixes de água doce tem se mostrado promissora, sendo a Tilápia uma das espécies mais consumidas e com maior potencial de cultivo. A demanda pelo seu consumo, em especial o filé, tem crescido substancialmente nos últimos anos. Ela uma das espécies mais indicadas para o cultivo intensivo, devido as suas qualidades para a produção e excelente textura e paladar da sua carne. Diferente de algumas espécies, a Tilápia não apresenta microespinhas e por isso

possui vantagem no processo de filetagem e no comércio de sua carcaça (SOUZA et al., 1999).

Segundo Souza (2002) as características que tornam a Tilápia uma das espécies mais produzidas são: facilidade de reprodução, possibilidade de manipulação hormonal, excelente crescimento em cultivo intensivo, resistência a doenças, aproveitamento da carcaça e aceitação do consumidor devido ao seu sabor, textura e ausência de odor desagradável. Lemes et al. (2011) corrobora que para obter-se uma produção de Tilápia com qualidade é necessário atender diversas exigências para adaptação da espécie no seu cultivo, cuidados que envolvem seu local de produção, propriedades da água, alimentação adequada, entre outros.

O processo de filetagem da Tilápia gera grande quantidade de resíduos que são aproveitados na fabricação de outros produtos alimentícios (SIMÕES et al., 2007). Os resíduos são processados na forma de subprodutos como silagem, farinha de peixe e Carne Mecanicamente Separada (CMS), tornando o aproveitamento de resíduo viavelmente econômico para a indústria e minimizando os impactos ambientais (JAMAS, 2012). De acordo com Vidotti e Gonçalves (2006) a quantidade de resíduos gerados na industrialização de pescados pode variar de acordo com o processamento empregado, da espécie do peixe, do seu tamanho entre outros fatores.

A espécie de peixe de água doce mais industrializada no Brasil é a Tilápia, e tem como seu principal produto o filé fresco ou congelado. O rendimento do filé de Tilápia é de aproximadamente 30% e o resíduo restante é dividido em: cabeça, carcaça, vísceras, pele e escamas. Os rendimentos das partes geradas pelo processo de industrialização da Tilápia estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Rendimento industrial de filé e resíduos em indústria de processamento de Tilápia para duas classes de peso. Fonte: Adaptado de Vidotti & Gonçalves, 2006.

Produtos	Peso Médio	Peso Médio
	901g	703g
Filé (%)	33,95	31,57
Cabeça + Vísceras (%)	37,28	36,64
Carcaça (%)	19,23	19,69
Escamas (%)	4,39	5,38
Pele (%)	5,36	5,92
Corte "v" (%)	0,76	0,80

O processo de industrialização do filé pode ser feito mecanicamente ou manualmente e em ambos os casos é necessário realizar pré-tratamento antes da realização da filetagem, e lavagem com água corrente por imersão em solução de tripolifosfato a 1% após a filetagem, a fim de reduzir a quantidade de água liberada do peixe. Todos os cuidados oriundos do cultivo e da industrialização do filé de Tilápia irão refletir na qualidade final do produto (LEMES et al., 2011).

3.3. LUZ ULTRAVIOLETA E SUAS APLICAÇÕES EM TRATAMENTOS DE ALIMENTOS

Com o aumento da produção de alimentos em função do aumento da população mundial, e ainda da demanda por alimentos que propriedades nutricionais e sensoriais preservadas, faz-se necessário o uso de tecnologias alternativas para aumentar o tempo de prateleira e manter a qualidade da matéria-prima de diversos produtos, principalmente produtos *in natura*. Durante o processamento é necessário que o uso das tecnologias alternativas não interfira no alimento de forma a alterar sua cor, sabor, textura e qualidades nutricionais. Para isso ocorrer, a indústria precisa de uma tecnologia eficiente que diminua a carga microbiana do produto, mantendo as características originais do mesmo, sem causar danos em sua composição e que não deixe resíduos oriundos de sua utilização (DUGATTO, 2012).

O uso da tecnologia de luz Ultravioleta na indústria alimentícia vem sendo estudado como uma alternativa aos métodos tradicionais para a redução ou inativação da carga microbiana, como o uso de calor (GUEDES et al., 2009). De acordo com vários estudos científicos o uso de radiação em alimentos é um método eficaz na redução microbiana na superfície de alimentos. Diversos órgãos internacionais em vários países já aprovaram o seu uso em produtos alimentícios, porém a indústria ainda utiliza pouco essa tecnologia (STEFANOVA et al., 2010).

Existem diversas formas de energia radiante, dentre elas tem-se a radiação não ionizante, como a luz Ultravioleta, que tem sido foco de diversos estudos de

inativação microbiológica em água e superfícies de diversos materiais (GUEDES et al., 2009).

A luz Ultravioleta ocupa uma faixa de comprimento de onda no espectro eletromagnético de 200 a 400 nm, sendo uma região não ionizante. Ela é dividida pelo seu comprimento de onda em três tipos: UV-C, com comprimentos de ondas curtos, na faixa de 200 a 280 nm; UV-B, com comprimentos de ondas médios, na faixa de 280 a 315 nm; e UV-A, com comprimentos de onda longos, na faixa de 315 a 400 nm (BINTSIS et al., 2000).

A Figura 1 ilustra o espectro eletromagnético com seus respectivos comprimentos de ondas da luz Ultravioleta.

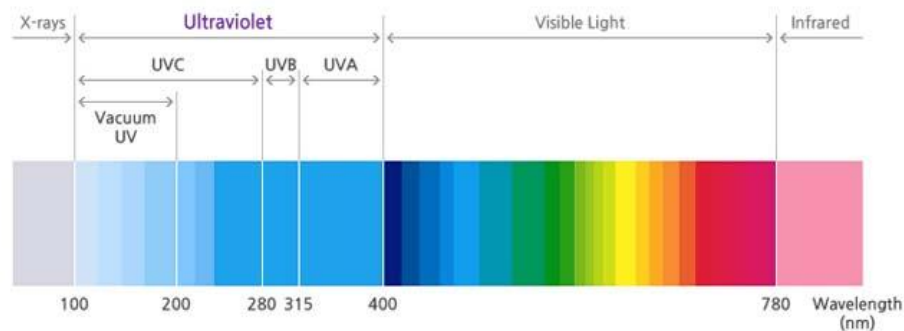


Figura 1: Espectro Eletromagnético. Fonte: CAVANILLAS, 2015.

A luz UV-C tem comprimento de onda germicida suficiente para causar danos aos microrganismos, causando deslocamento físico de elétrons e quebra de ligações no ácido desoxirribonucleico (DNA) e conseqüentemente altera seu metabolismo e reprodução, ou seja, a injúria ao seu sistema reprodutivo levam a morte das células microbianas (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004; GUEDES et al., 2009). O dano ao DNA causa ligação cruzada entre bases pirimidinas vizinhas na mesma fita, assim a formação de ligações de hidrogênio com as bases purinas na fita oposta é prejudicada, bloqueando a transcrição e replicação do mesmo, levando-o à morte celular (CHUN et al., 2010).

Segundo Guedes et al. (2009) por apresentar baixo comprimento de onda e intensa energia, a luz UV-C é capaz de provocar sérias conseqüências fisiológicas aos microrganismos, uma vez a faixa de comprimento de onda dela corresponde à

região específica em que são absorvidos pelo DNA celular. A Figura 2 representa o efeito da radiação UV-C no DNA dos microrganismos.

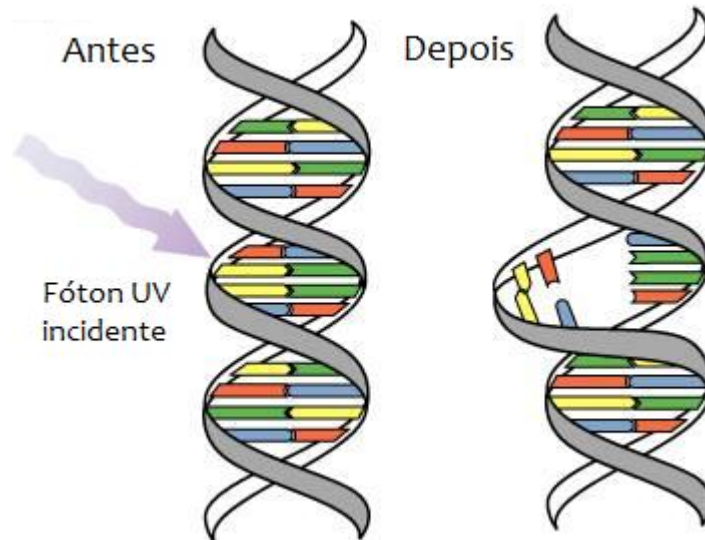


Figura 2: Representação do dano causado pela radiação Ultravioleta no DNA dos microrganismos.
Fonte: WALISSON, 2010.

Devido ao baixo grau de penetração a aplicação deve ser feita diretamente no alvo, tornando seu uso mais eficiente sobre superfícies ou materiais transparentes, como ar, água e polietileno. As bactérias suspensas no ar são mais sensíveis à radiação UV-C do que as suspensas em líquidos, devido à capacidade de penetração diferente da luz UV-C que varia de acordo com o coeficiente de absorção de cada meio de aplicação (GUEDES et al., 2009).

De acordo com Jay (2005), o uso da luz ultravioleta como alternativa de esterilização em alimentos se limita na superfície, tornando-se uma desvantagem, uma vez que se pode catalisar reações de oxidação levando a rancidez e a descoloração do alimento. Hobbs e Roberts (1999) corroboram com a afirmação que uma das poucas desvantagens do uso de luz UV-C em alimentos é a continuidade da atividade enzimática durante o armazenamento e possíveis alterações químicas como o ranço, para alimentos que possuem predisposição.

As vantagens do uso da irradiação UV-C aplicadas em alimentos são diversas, dentre elas se destaca o custo baixo do equipamento quando comparada a outras tecnologias de esterilização, como o ozônio. Diversos estudos apontam demais vantagens em seu uso, tais quais: não geração de resíduos químicos ou

subprodutos indesejáveis, inativação de algumas enzimas indesejáveis como a PPO (Polifenol Oxidase) em tecidos vegetais, não alteração nas características organolépticas e aumento da vida útil. No entanto, o uso da luz Ultravioleta no tratamento de alimentos requer certas precauções de segurança, como o uso de EPI's específicos para evitar a exposição direta do manipulador à radiação (SOUZA, 2014; DUGATTO, 2012).

A eficácia da tecnologia de irradiação em alimentos está relacionada com a dosagem na aplicação. A dosagem é medida pela função da intensidade do fluxo (W/m^2) com o tempo de exposição da amostra no equipamento de luz Ultravioleta, sendo expressa como exposição radiante (J/m^2). Os níveis de dosagem de descontaminação podem variar de acordo com a finalidade do tratamento, devido à carga microbiana e à ampla variedade de microrganismos e suas linhagens (GUEDES et al., 2009).

As especificações de uso e dosagem de radiação em tratamento de alimentos estão expressas nas legislações mundiais e de âmbito nacional. O Codex Alimentarius (1983) determina que a radiação em alimentos só se justifica quando corresponde a uma necessidade tecnológica ou quando contribui a alcançar um objetivo de higiene alimentar, onde a dosagem média de absorção da radiação em um alimento não deve exceder de 10 kGy. No Brasil, a ANVISA regulariza o uso da radiação em alimentos através da Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, no qual define que qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento (ANVISA, 2001b).

3.3.1 As lâmpadas de luz Ultravioleta

A luz ultravioleta pode ser aplicada de dois modos, a luz UV contínua chamada de convencional e a luz UV pulsada (PUV). A luz PUV é produzida a partir da acumulação da energia em um capacitor, que é liberado como um pulso de curta duração, onde a energia elétrica é passada através de uma lâmpada que é preenchida com gás inerte, resultando a ionização do gás na lâmpada produzindo

então o espectro de luz com diversos comprimentos de onda. A luz UV convencional tem seu funcionamento a partir da produção contínua de luz, através do vapor de mercúrio de baixa pressão ionizante, com uma potência de dissipação na faixa de 100 - 1000 W, gerando energia de alta intensidade. Em comparação, a PUV fornece intensidades instantâneas de energia e mais altas do que a luz UV convencional, portanto, é o método mais utilizado para a desinfecção de superfícies e alimentos (JAISWAL, 2016).

Dentre as luzes UV convencionais destaca-se o LED pelo seu custo de manutenção reduzido e boa eficiência. A luz de LED (*Light Emitting Diode*) é composta por diodos emissores de luz, com camadas diferentes de semicondutores em estado sólido que convertem a energia elétrica em luz. O comprimento de onda emitido depende da banda de energia entre os dois níveis consecutivos do material semicondutor, no qual cada material tem seu próprio nível de energia e estrutura atômica. Portanto, a radiação emitida pelos LEDs pode ir de ultravioleta até infravermelha (MARTELETO, 2011).

A tecnologia de fabricação e o uso de leds-UV-C é recente. Eles foram pesquisados e desenvolvidos pela empresa *Sandia National Laboratories*, lançados comercialmente em 2003 e posteriormente aprimorados por outras empresas. No Brasil essa tecnologia é pouco explorada ainda, visto que as fontes dos semicondutores para a composição do LED estão em crescente evolução de pesquisas, a fim de aumentar a eficiência e a eficácia energética na região do ultravioleta bactericida (BARBOSA, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a execução deste trabalho foram usados materiais e equipamentos dispostos no laboratório da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Câmpus Campo Mourão. Os filés de tilápia frescos utilizados para a aplicação da luz UV-C foram adquiridos no comércio local da cidade de Campo Mourão – PR, em maio de 2019. Para realização das análises utilizou-se os seguintes equipamentos: Protótipo de luz ultravioleta tipo UV-C por aplicação de LED, balança analítica, homogeneizador de amostra tipo Stomacher, contador de colônias, cabine de fluxo laminar e peso calibrado de 10 kg. Os produtos e reagentes foram: Meio de cultura Plate Count Agar (PCA), Água destilada e Peptona bacteriológica.

4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras de filé de tilápia adquiridas frescas à temperatura de resfriamento foram manuseadas à temperatura ambiente. Dentro da cabine de fluxo laminar já esterilizada, as amostras foram cortadas com auxílio de uma faca a uma espessura fina e pesadas em balança analítica com uma massa de 25 g. Com auxílio de uma pinça, as amostras foram inseridas no equipamento protótipo de luz UV e após o devido tratamento, estas foram retiradas e encaminhadas para a realização das análises.

4.3. TRATAMENTOS APLICADOS NAS AMOSTRAS PELO EQUIPAMENTO PROTÓTIPO DE LUZ UV-C DE LED

O equipamento protótipo possui uma estante em seu meio para que as amostras dos alimentos a serem tratadas fiquem centralizadas entre as luzes de LED. Quando posicionada no centro do equipamento, as amostras ficam a 8,5 cm das fontes luminosas superior e inferior e 5 cm dos LEDs das laterais, conforme a imagem ilustrada na Figura 3.

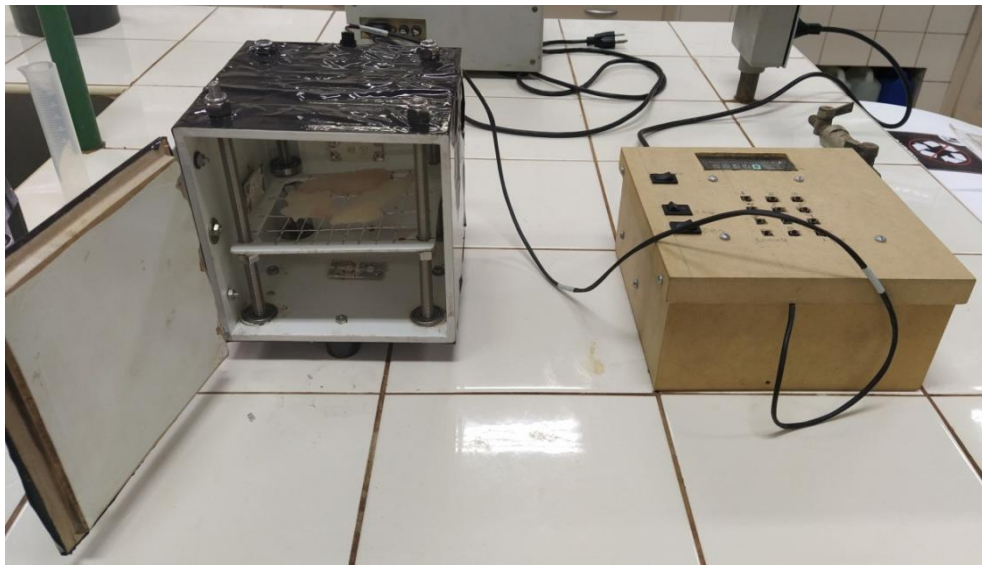


Figura 3: Equipamento protótipo de luz ultravioleta do tipo UV-C com lâmpadas de LED. Fonte: Autoria própria.

As amostras de filé foram posicionadas no centro da grelha do equipamento e foram aplicadas diferentes condições de comprimento de onda de 265 nm e 280 nm, ambos com 200 mW de potência em diferentes intervalos de tempo, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Planejamento experimental para tempo de exposição e comprimento de onda no tratamento de amostras de filé de tilápia frescos. Fonte: Autoria própria.

Tratamento	Tempo de exposição total (min)	Proporção para 265 nm (min)	Proporção para 280 nm (min)
T1	10	10	0
T2	10	0	10
T3	10	5	5
T4	15	15	0
T5	15	0	15
T6	15	7,5	7,5
T7	20	20	0
T8	20	0	20
T9	20	10	10

Os pontos centrais T3, T6 e T9 foram replicados para aplicação do modelo matemático, com a finalidade de medir o erro experimental.

4.4. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A análise microbiológica foi realizada de acordo com a metodologia descrita na Portaria N° 101, de 11 de agosto de 1993, para a contagem padrão de microrganismos psicotróficos em placas de Petri (BRASIL, 1993).

As diluições das amostras tratadas e amostra controle foram realizadas depositando-as em um saco Stomacher contendo 225 mL de água peptonada bacteriológica 0,1% (diluição 10^{-1}) e então homogeneizadas no equipamento de homogeneizador por 5 minutos. A partir desta diluição, realizou-se as demais diluições decimais sucessivas de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} utilizando-se o mesmo diluente, porém na quantidade de 9 mL em cada tubo. Transferiu-se 0,1 mL de cada diluição, em duplicata, em placas de Petri e adicionou-se em torno de 15 mL de ágar PCA em cada placa. Realizou-se o espalhamento do inóculo nas placas manualmente, até a completa absorção. Após a completa solidificação do ágar nas placas, incubou-as invertidas a 10°C por 10 dias.

Logo após os 10 dias de incubação, com auxílio de um contador de colônias realizou-se a contagem de colônias formadas manualmente em todas as placas e em seguida realizou-se a comparação dos dados obtidos por meio do teste de ANOVA, seguido pelo de Tukey.

4.5. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL COM VÁRIAVEL DE PROCESSO

Para os resultados da análise microbiológica utilizou-se tratamento de dados estatísticos por meio do software MATLAB R2008b, a fim de definir a melhor condição de tratamento. Como variável de processo foi utilizada o tempo de exposição, codificada como z_1 e avaliada em três níveis 10 (-1), 15 (0) e 20 (+1) minutos. Assim, para essa variável é possível escrever um modelo quadrático:

$$w(\mathbf{z}) = \alpha_0 + \alpha_1 z_1 + \alpha_{11} z_1^2$$

Onde α_i são coeficientes empíricos relacionados à variável de processo.

O tempo de exposição foi dividido em LED de 265 nm e LED de 280 nm e foram representados, respectivamente, por x_1 e x_2 que correspondem à proporção do tempo total de exposição. As variáveis LED de 265 nm e LED de 280 nm devem seguir a restrição de mistura, ou seja, $x_1 + x_2 = 1$. Para as variáveis de mistura também foi ajustado um modelo quadrático com a restrição de mistura incorporada:

$$y(\mathbf{x}) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2$$

Onde β_j são coeficientes empíricos relacionados às variáveis de mistura.

Os modelos para a variável de processo e o modelo das variáveis de mistura podem ser combinados em um único modelo (TORMENA et al., 2017):

$$\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = y(\mathbf{x})w(\mathbf{z})$$

$$\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \gamma_1^0 x_1 + \gamma_2^0 x_2 + \gamma_{12}^0 x_1 x_2 + \gamma_1^1 x_1 z_1 + \gamma_2^1 x_2 z_1 + \gamma_{12}^1 x_1 x_2 z_1 + \gamma_1^{11} x_1 z_1^2 + \gamma_2^{11} x_2 z_1^2 + \gamma_{12}^{11} x_1 x_2 z_1^2$$

Onde $\gamma_j^i = \alpha_i \beta_j$ são os coeficientes empíricos do modelo combinado determinados pelo método dos mínimos quadrados e $\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z})$ é o valor previsto para log UFC mL⁻¹. Para o ajuste dos coeficientes empíricos os experimentos foram executados seguindo o planejamento disposto na Tabela 2.

4.6. ANÁLISE DE CRA (CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA)

Após os resultados da análise microbiológica definiu-se a melhor condição de tratamento da amostra e realizou-se a análise da Capacidade de Retenção de Água (CRA) na amostra desta condição e na amostra controle. Para isto foi utilizado o método de perda de água por pressão descrito por Boccard et al. (1981).

Em triplicata, pesou-se 5 g das amostras e, sobre uma superfície plana, colocou-se cada uma entre dois papéis filtros qualitativos circulares de 5,5 cm de diâmetro. Sobre esse conjunto, aplicou-se uma pressão uniforme utilizando peso calibrado de 10 kg por 10 minutos. Após, as amostras foram novamente pesadas e a diferença entre peso final e inicial foi expressa em porcentagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a contagem nas unidades formadoras de colônia das placas, definiram-se os resultados mais próximos dentro de cada tratamento que melhor se enquadraram no tratamento de dados estatístico. Os resultados obtidos pelo modelo aplicado no planejamento experimental estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3: Planejamento experimental para o ajuste dos coeficientes do modelo combinado. Valores codificados.

Experimento	Tempo de Exposição z_1	Proporção		log UFC mL ⁻¹	η^*	Desvio relativo **
		265 nm x_1	280 nm x_2			
T1	-1	1	0	1,954	1,944	-0,51 %
T2	-1	0	1	1,892	1,892	0,00 %
T3	-1	0,5	0,5	1,892	1,7935	-5,21 %
T3	-1	0,5	0,5	1,695	1,7935	5,81 %
T4	0	1	0	0,929	0,929	0,00 %
T5	0	0	1	1,415	1,415	0,00 %
T6	0	0,5	0,5	1,633	1,623	-0,61 %
T6	0	0,5	0,5	1,613	1,623	0,62 %
T7	1	1	0	1,934	1,944	0,52 %
T8	1	0	1	1,407	1,407	0,00 %
T9	1	0,5	0,5	1,924	1,880	-2,29 %
T9	1	0,5	0,5	1,836	1,880	2,39 %
Controle	-	-	-	2,353	-	-
Controle	-	-	-	2,203	-	-

* Valor previsto pelo modelo empírico para log UFC mL⁻¹.

** Desvio relativo dos valores previstos pelo modelo em relação ao valor médio.

Realizou-se a reprodução das análises microbiológicas nos pontos centrais dos tratamentos, a fim de realizar ajustes dos coeficientes empíricos. Antes de fazer a modelagem empírica, foi realizada a comparação do experimento controle com os tratamentos T3, T6 e T9 usando ANOVA seguida pelo teste de Tukey. A Figura 4 representa as diferenças significativas entre os resultados das análises nos pontos centrais.

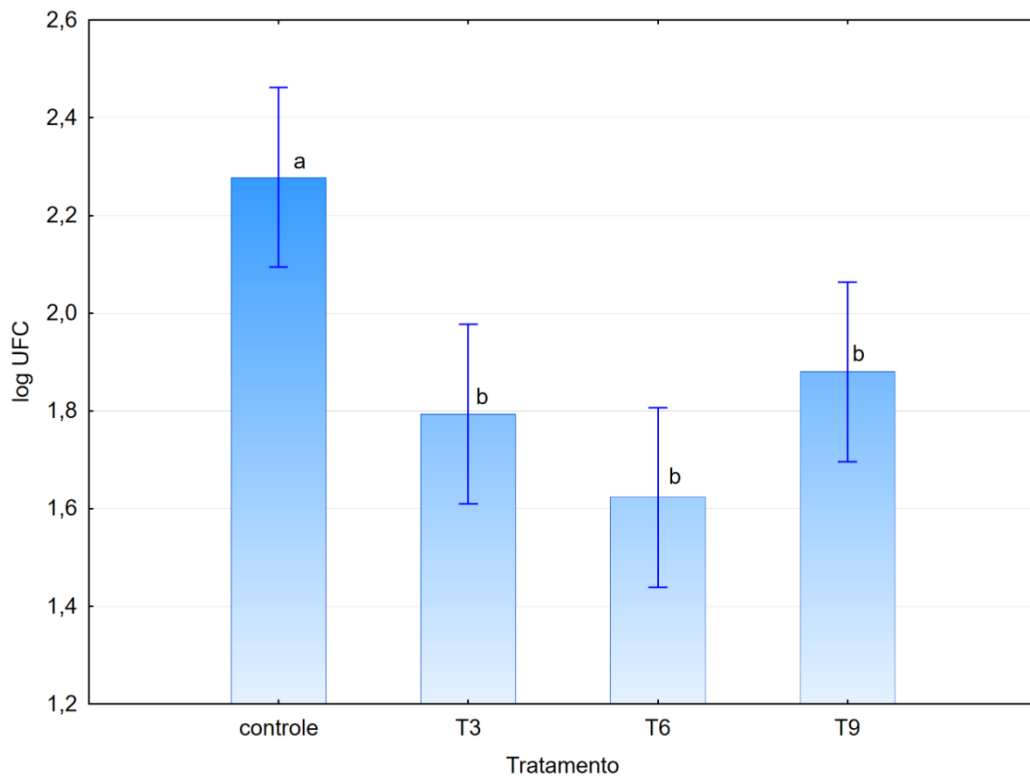


Figura 4: Comparação entre o tratamento 3, tratamento 6, tratamento 9 e amostra controle. Os valores estão expressos em redução logarítmica por amostras tratadas e amostra controle. Barras marcadas com a mesma letra não apresentam diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Fonte: Autoria Própria.

Conforme a Figura 4 observa-se que os tratamentos T3, T6 e T9 apresentaram diferença significativa para o experimento controle. Isso indica que, apesar dos resultados dos tratamentos serem próximos ao resultado da amostra controle, houve interferência no crescimento microbiano após a aplicação da luz UV-C nas amostras de filés de tilápia frescas. Entre as repetições do ponto central, observa-se que a combinação de 5 min de exposição a 265 nm mais 5 min a 280 nm (tratamento T3) produziu uma redução de 0,39 unidades logarítmicas. Para o tratamento T6, ou seja, 7,5 min a 265 nm combinado com 7,5 min a 280 nm de exposição proporcionou redução de 0,66 unidades logarítmicas. Por último, o tratamento T9, ou seja, 10 min de exposição a 265 nm combinado com 10 min de exposição a 280 nm, proporcionou redução logarítmica de 0,40 unidades. Desta forma, pode-se observar que apesar de não haver diferença significativa na inativação dos microrganismos, observa-se uma tendência a que a combinação de 7,5 min de exposição a 265 nm, mais 7,5 min de exposição a 280 nm poderia proporcionar o melhor resultado na inativação de microrganismos psicrotróficos.

A aplicação de luz ultravioleta ainda é pouco utilizada na descontaminação de produtos alimentícios devido ao seu baixo grau de penetração, mas sabe-se que pode ser facilmente aplicada a esses produtos (GUEDES et al., 2012). Dugatto (2012) aplicou diferentes tratamentos UV-C em sobrecoxas de frangos para avaliar a sua influência nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em diferentes dias de armazenamento e constatou que o número de bactérias psicotróficas reduziu significativamente logo após a aplicação.

Ainda no estudo anterior, observou-se que durante os dias de armazenamento, apenas a partir do 6º dia houve início de deterioração da característica de carnes frescas. Também se constatou que ao analisar as bactérias mesófilas totais obteve-se um tempo de vida útil de 6 a 9 dias, evidenciando a efetividade na redução microbiana por meio da aplicação de irradiação ultravioleta em produtos cárneos (DUGATTO, 2012).

Siqueira (2001) em um estudo de aplicação de irradiação não ionizante em filés de tilápias fresca observou que ao analisar o crescimento microbiano de *E. coli*, coliformes totais e bactérias psicotróficas, a irradiação foi efetiva nos resultados, apresentando segurança microbiológica mesmo após 20 dias de armazenamento refrigerados a uma temperatura de 0,5 a -2°C.

A luz UV-C se mostra eficiente não só em produtos de origem animal, mas em outros alimentos *in natura* como frutas e verduras. Souza (2014) e Chaves (2018) estudaram a aplicação de luz ultravioleta em mangas minimamente processadas e alface do tipo americana *in natura*, respectivamente. Os autores constataram que mesmo em tratamentos de baixa intensidade alcançou-se diminuição de carga microbiana de bactérias aeróbias mesófilas, psicotróficas, entre outras.

A análise de regressão do presente trabalho foi realizada no software MATLAB R2008b utilizando-se os valores observados dispostos na Tabela 3 (exceto o experimento controle). Eliminando-se os coeficientes que não são estatisticamente significativos, foi obtido o seguinte modelo:

$$\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = 0,929x_1 + 1,415x_2 + 1,804x_1x_2 - 0,243x_2z_1 + 0,658x_1x_2z_1 + 1,015x_1z_1^2 + 0,235x_2z_1^2 - 1,644x_1x_2z_1^2$$

O modelo apresentou um bom ajuste aos dados experimentais como pode ser observado pelos baixos desvios relativos (Tabela 3). Além disso, o modelo é estatisticamente significativo e não foi observada falta de ajuste conforme a ANOVA apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Tabela de ANOVA para verificar a qualidade geral de ajuste do modelo proposto.

FV	SQ	GL	MQ	F _{calc}	p-valor
Regressão	1,0052	7	0,1436	24,2614	0,0040
Resíduo	0,0237	4	0,0059		
Falta de ajuste	0,0002	1	0,0002	0,0256	0,8831
Erro puro	0,0235	3	0,0078		
Total	1,0289	11			

Ainda com relação à ANOVA foi observado $R^2 = 0,9770$, $R_{adj}^2 = 0,9367$ e um desvio padrão de estimativa de 0,0769. Portanto, o modelo pode ser considerado válido para fazer previsões. Ramos (2017) ao estudar a influência da irradiação ultravioleta na inativação de *Weissella viridescens in vitro* realizou testes de modelos secundários e apurou que o modelo que melhor representou os dados experimentais foi o modelo Exponencial, com $R^2 = 0,96$. Baseando-se em um modelo primário de Weibull e resolvido utilizando o software MATLAB, apresentou-se também uma boa predição dos resultados.

Aplicando-se a restrição de mistura ao modelo, obtém-se:

$$\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = 0,929(1 - x_2) + 1,415x_2 + 1,804(1 - x_2)x_2 - 0,243x_2z_1 + 0,658(1 - x_2)x_2z_1 + 1,015(1 - x_2)z_1^2 + 0,235x_2z_1^2 - 1,644(1 - x_2)x_2z_1^2$$

Assim, é possível fazer um gráfico tridimensional para representar a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes x_2 e z_1 , conforme a Figura 5.

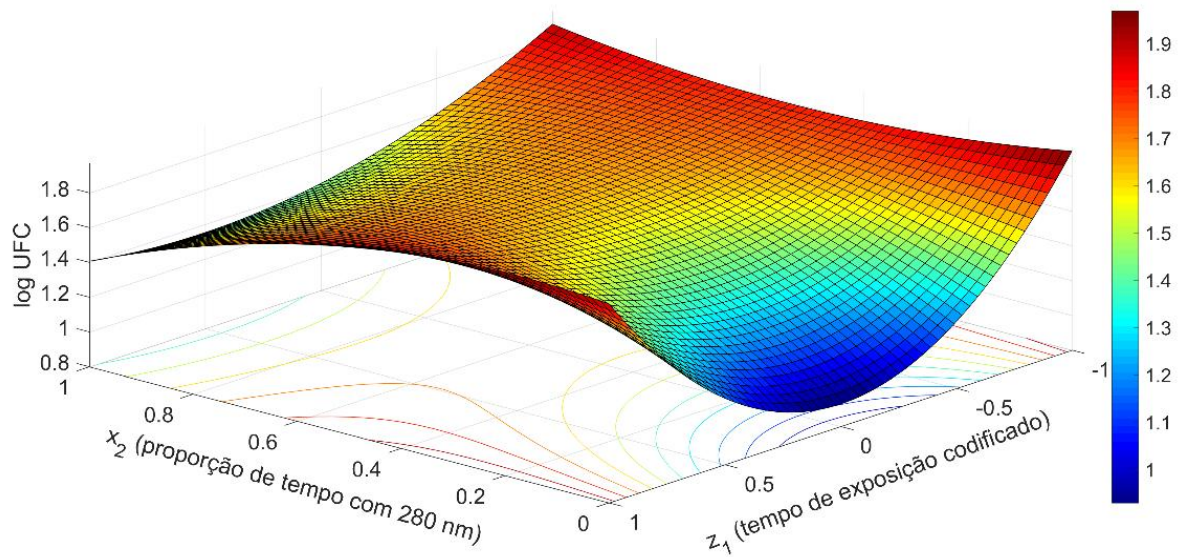


Figura 5: Superfície de resposta para log UFC mL⁻¹.

Por meio da análise da superfície de respostas é possível definir que os menores valores de log UFC mL⁻¹ são obtidos o tempo de exposição intermediário (15 min) com 100% do tempo de exposição usando o LED de 265 nm (Tratamento 4). Isto significa dizer que este tratamento proporcionou redução microbiana de 1,35 unidades logarítmicas. Do ponto de vista da redução microbiana para um produto processado, este valor é relativamente baixo. Esperava-se que a luz ultravioleta de LED fosse capaz de produzir maiores valores de redução o que implicaria diretamente sobre a vida útil do produto fresco.

Ao analisar a redução microbiana, Dugatto (2012) em seu estudo de aplicação de luz UV-C em sobrecoxas de frango, constatou que no 9º dia de armazenamento ocorreu uma redução de até 1,49 unidades logarítmicas em relação a amostra controle. Isso indica que a aplicação da luz UV-C pode causar injúrias ou danos nas células microbianas que ao longo do tempo represente diminuição na contagem. Isso seria dizer que o tratamento UV-C poderia estar associado ao aumento da vida útil dos produtos *in natura*, apresentando melhores resultados em seu armazenamento do que no instante da aplicação. Gouvêa et al. (2014) observaram que a aplicação da irradiação por UV para tratamento de alimentos aumenta o seu tempo de vida nas prateleiras, justificando que ao penetrar na superfície do alimento, a irradiação age diretamente na célula microbiana, levando à formação de dímeros de bases pirimídicas. Esta formação impossibilita a replicação

do DNA, compromete a síntese proteica e, conseqüentemente, dificulta o crescimento microbiano aumentando então o tempo de vida útil do alimento tratado.

Guedes et al. (2012) acrescentam que melhores resultados de controle microbiano podem ser obtidos quando há aplicações de baixa intensidade por longo tempo ou alta intensidade por tempo curto, e que fatores que interferem na eficiência do tratamento devem ser considerados na apuração dos resultados, tais como presenças de outras microfloras, sólidos solúveis ou insolúveis, pH, fase de crescimento do microrganismos e temperatura da lâmpada.

Definido que a melhor condição de tratamento foi o Tratamento 4, realizou-se a análise da capacidade de retenção de água pelo método de perda de água por pressão neste tratamento e na amostra controle, pesando-se antes e após aplicar a pressão através do peso calibrado de 10kg. O cálculo da CRA foi expresso pela porcentagem utilizando a seguinte equação:

$$CRA\% = 100 - \left(\frac{PAI - PAPP}{PAI} \times 100 \right)$$

Onde *PAI* = Peso da amostra inicial e *PAPP* = Peso da amostra pós-pressão.

Os valores obtidos nas pesagens antes e após aplicar-se a pressão, e os valores em porcentagem das médias aritméticas de CRA estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5: Resultada em média aritmética da análise de Capacidade de Retenção de Água (CRA) para amostra controle e amostra tratada em peso (g) e porcentagem de CRA%.

	Amostra controle	Amostra T4
Peso Inicial (g)	5,066	5,096
Peso Pós-pressão (g)	4,150	4,162
CRA (%)	81,915	81,664

Para analisar com mais precisão os resultados obtidos, aplicou-se o Teste de Tukey e observou-se que as amostras não apresentam diferença significativa entre si ($p > 0,05$), indicando que a aplicação da luz ultravioleta nos filés de tilápia não ocasiona interferência na perda de água por pressão.

Roque-Specht et al. (2009) definem a capacidade de retenção de água em capacidade da carne reter sua umidade ou água durante a aplicação de forças externas, influenciando nos aspectos sensoriais como textura, maciez, coloração e suculência. Goes (2015) complementa que a CRA está relacionada com a

degradação estrutural das proteínas musculares da carne, e que, portanto a diminuição da CRA acarreta na diminuição da qualidade final do produto.

A CRA está diretamente ligada a outras características que definem a qualidade do pescado. Goes (2015) relacionou a perda de água por pressão com a suculência em carne de tilápia e constatou que quanto maior a CRA, menor é perda de água por pressão e conseqüentemente maior será sua suculência, interferindo positivamente nas características sensoriais da carne.

6 CONCLUSÃO

A busca pelo uso de tecnologias alternativas na indústria alimentícia para aumentar a qualidade dos produtos e a segurança alimentar vem tornando-se cada vez mais comum. A aplicação de luz ultravioleta no comprimento de onda UV-C como alternativa aos tratamentos convencionais é alvo de diversas pesquisas e tem se mostrado significativamente eficiente. Com os resultados obtidos pelo presente trabalho, pode-se concluir que se apresentou eficaz o tratamento de filés de tilápia frescos com irradiação de luz ultravioleta, uma vez que o tratamento de dados estatísticos pelo teste de Tukey indicou diferença significativa ($p > 0,05$) na redução de microrganismos psicrotróficos.

O modelo aplicado utilizado como referência de Tormenta *et al.* (2017) pode ser considerado válido para uma boa predição dos resultados, uma vez que o mesmo apresentou bom ajuste aos dados experimentais e um desvio padrão de estimativa baixo. O modelo torna-se então, estatisticamente significativo sem haver necessidade de algum ajuste, conforme assegurado pelo teste de ANOVA.

Pode-se concluir também que a melhor condição de aplicação da luz ultravioleta pelo protótipo de LED utilizado é a exposição a 265 nm por 15 minutos, nomeada de Tratamento 4 conforme o planejamento experimental. A análise da capacidade de retenção de água na amostra do Tratamento 4 em comparação com a amostra controle não apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), indicando assim que a aplicação da luz ultravioleta pelo protótipo de luz de LED não causa degradação estrutural proteica nos tecidos musculares do filé de tilápia fresco, não ocasionando o aumento significativo de CRA capaz de modificar a qualidade sensorial da amostra.

Vale ressaltar a importância de se estudar mais detalhadamente a aplicação de luz ultravioleta utilizando outras análises para assegurar a eficiência desta tecnologia, tais como, análises sensoriais, análise de textura e cor, tempo de prateleira e demais análises comumente para esse tipo de produto.

7 REFERÊNCIAS

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001.** 2001a. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001.** 2001b. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/Resolucao_RDC_n_21_de_26_de_janeiro_de_2001.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

BARBOSA, F. D. **Desenvolvimento de um sistema de radiação pulsada com LEDs UV-C para redução de patógenos pós-colheita e manutenção da qualidade de produtos agrícolas.** 2015. f. 81. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R. K. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry a critical review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 6, p. 637–645, 2000.

BOCCARD, R.; BUCHTER, L.; CASTEELS, E.; COSENTINO, E.; DRANSFIELD, E., HOOD, D.; JOSEPH, R. L.; MACDOUGALL, D.; RHODES, D. N.; SCHON, I.; TINBERGEN, B. J.; TOURAILLE, C. Proceedings for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. **Livestock Production Science**, v.8, p.385-397, 1981.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO – MAPA. SECRETARIA ESPECIAL DE AQUICULTURA E PESCA - SEAP/PR. **Manual de Procedimento para Implantação de Estabelecimento Industrial de Pescado.** Brasília – DF, 2007. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-animal/empresario/arquivos/copy_of_Manualdeprocedimentoparaimplantacaodeestabelecimentodepescadocompleto.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2019.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Decreto Nº 9.013, de 29 de março de 2017. RIISPOA: Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 29 de março de 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9013.htm>. Acesso em: 07 de novembro de 2019.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Portaria Nº 101, DE 11 DE AGOSTO DE 1993. Métodos Analíticos Oficiais para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 11 de agosto de 1993. Disponível em:

<<http://www.crmvgo.org.br/legislacao/OVOS/POR00000101.pdf>>. Acesso em: 07 de novembro de 2019.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Portaria nº 185, de 13 de maio de 1997. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e Eviscerado). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília - DF, 19 de maio de 1997. Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/portaria-185-1997.pdf>>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

CARDOSO, C. F. **Avaliação da esterilização de filme de polietileno com peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

CAVANILLAS, B. Seoul Viosys adquire SETi para ampliar su gama de LED UV. **Smart Lighting**. 2015. Disponível em: <<https://smart-lighting.es/seoul-viosys-adquiere-seti-para-ampliar-su-gama-de-led-uv/>>. Acesso em: 29 de setembro de 2019.

CHAVES, T. F. H. **Desenvolvimento de um protótipo de luz ultravioleta para tratamento de alimentos**. 2018. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão.

CHUN, H. H.; KIM, J. Y.; LEE, B. D.; YU, D. J.; SONG, K. B. Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. **Food Control**, v. 21, p. 276-280, 2010.

CODEX ALIMENTARIU. **Codex STAN 106-1983: General Standard for Irradiated Food**. (1983). Disponível em: <http://www.fao.org/input/download/standards/16/CXS_106s.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

DUARTE, D. A. M.; RIBEIRO, A. R.; VASCONCELOS, A. M. M.; SILVA, J. V. D.; ANDRADE, P. L. A.; SANTANA, A. A. P. Ocorrência de *Salmonella spp.* e *Staphylococcus coagulase* positiva em pescado no nordeste, Brasil. **Arquivo do Instituto Biológico.**, São Paulo, v.77, n.4, p.711-713, out./dez., 2010.

DUGATTO, J. S. **Qualidade de sobrecoxas de frangos submetidas à radiação UV-C**. 2012. f. 98. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais da UFSM. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Agriculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Rome – Italy, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Agriculture**. Rome – Italy, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i1820e.pdf>>. Acesso em: 07 de agosto de 2019.

FERREIRA, E. M.; LOPES, I. S.; PEREIRA, L. C. R.; COSTA, F. N. Qualidade microbiológica do peixe serra (*Scomberomerus brasiliensis*) e do gelo utilizado na sua conservação. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.81, n.1, p. 49-54, 2014.

FRANZON, G. **Inspeção de pescado**. Universidade Luterana do Brasil, Canoas - RS, 2011.

GOES, E. S. R. **Expressão gênica da proteína receptora da rianodina e qualidade da carne em tilápia-do-nylo submetida ao estresse antes do abate**. 2015. f. 63. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias da UEM. Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR.

GOUVÊA, M. M.; LIMA, G. S.; SILVA NETO, A. A.; NETTO, A. D. P.; MARQUES, F. F. C. Aplicação da radiação ultravioleta como forma de contribuição para a química verde e construção de um reator fotoquímico alternativo e de baixo custo, para pré-tratamento de amostras. **Quim. Nova**, Niterói – RJ, Vol. 37, No. 2, 337-343, 2014

GUEDES, A. M. M.; NOVELLO, D.; MENDES, G. M. P.; CRISTIANINI, M. Tecnologia de Ultravioleta para preservação de alimentos. **B.CEPPA**, Curitiba v. 27, n. 1, p. 59-70 jan./jun. 2009.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food Science and Technology International**, v. 10, n. 3, p.137-147, 2004.

HOBBS, B.C.; ROBERTS, D. **Toxinfecções e controle higiênico-sanitário de alimentos**. São Paulo: Varela, 1999. 376p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 44, p.1-51, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf>. Acesso em: 08 de agosto de 2019.

JAISWAL, A. K. **Food Processing Technologies: Impact on Product Attributes**. Taylor & Francis Group, Boca Raton – FL, p. 596-598, 2016.

JAMAS, E. **Valor agregado aos Resíduos do processamento de Tilápia: Aspectos tecnológicos, químicos e microestruturais**. 2012. f. 53. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da UNESP. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal – SP.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LEMES, I. K.; LIMA, J. F.; TRENTIN, L. S.; ROCHA, J. L. Fatores de produção aplicados à piscicultura: manejo da criação e processo de filetagem da Tilápia. In: V Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. Campo Mourão – PR, 2011.

LUCIANO, L. G. **Qualidade microbiológica de peixes e frutos do mar em Botucatu, SP**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Botucatu – SP, 2009.

MACEDO-VIEGAS, E. M.; SOUZA, M. L. R. Pré-processamento e conservação do pescado produzido em piscicultura. In: CYRINO, J. E. P. *et al.* **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt. 2004. cap. 14, p. 405-480.

MACHADO, T. M.; FURLAN, E. F.; NEIVA, C. R. P.; CASARINI, L. M.; ALEXANDRINO DE PÉREZ, A. G.; LEMOS NOTE, M. J.; TOMITA, R. Y. Fatores que afetam a qualidade do Pescado na pesca artesanal de municípios da Costa Sul de São Paulo, Brasil. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, 36(3): 213 – 223, 2010

MARTELETO, D. C. **Avaliação do Diodo Emissor de Luz (LED) para iluminação de interiores**. Rio de Janeiro – RJ, 2011.

MONTEIRO, M. L. G. **Aproveitamento de resíduos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para elaboração de novos produtos com valor agregado**. 2013. 177f. Tese (Doutorado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ.

RAMOS, L. V. **Inativação de *Weissella Viridescens* in vitro por radiação ultravioleta**. Florianópolis – SC, 2017.

ROQUE-SPECHT, V. F.; SIMONI, V.; PARISE, N.; CARDOSO, P. G. Avaliação da capacidade de retenção de água em peitos de frango em função do pH final. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.15, n.1-4, p.77-81, jan-dez, 2009.

SANTOS, R. M. **Avaliação da qualidade higiênico-sanitária de peixes comercializados em Mercados Municipais da cidade de São Paulo, SP**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, R. X.; ABRANTES, M. R.; NASCIMENTO, J. P. A.; PINHEIRO, C. G. M. E.; FIGUEIRA, C. L. P.; SILVA, J. B. A. Qualidade higiênico-sanitária da Tilápia (*Oreochromis SPP.*) fresca e congelada em mercados públicos. **Ciência Animal Brasileira**. Goiânia, v.17, n.4, p. 574-580 out./dez. 2016.

SIMÕES, M. R.; RIBEIRO, C. F. A.; RIBEIRO, S. C. A.; PARK, K. J.; MURR, F. E. X. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(3): 608-613, jul./set. 2007.

SIQUEIRA, A. A. Z. C. **Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2001. f. 154. Dissertação

(Mestrado em Ciências e Tecnologia em Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Pública – USP. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, M. L. R.; MACEDO-VIEGAS, E. M.; KRONKA, S. N. Influência do Método de Filetagem e Categorias de Peso sobre Rendimento de Carcaça, Filé e Pele da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.1, p.1-6. Piracicaba – SP, 1999.

SOUZA, M. L. R. Comparação de Seis Métodos de Filetagem, em Relação ao Rendimento de Filé e de Subprodutos do Processamento da Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1076-1084. Piracicaba – SP, 2002.

SOUZA, J. F. **Utilização de luz ultravioleta contínua (UV-C) e luz pulsada para conservação de mangas cv. Tommy atkins minimamente processadas**. 2014. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal – SP, 2014.

STEFANOVA, R.; VASILEV, N. V.; SPASSOV, S. L. Irradiation of food, Current legislation Framework, and Detection of Irradiated Food. **Food analytical Methods**, v. 3, p. 255-252, 2010.

TORMENA, M. M. L.; DE MEDEIROS, L. T.; DE LIMA, P. C.; POSSEBON, G.; FUCHS, R. H. B.; BONA, E. Application of multi-block analysis and mixture design with process variable for development of chocolate cake containing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and maca (*Lepidium meyenii*). **J. Sci. Food Agric**, v. 97, p. 3559-3567, 2017.

VEGA-MERCADO, H.; MARTÍN-BELLOSO, O.; QIN, B. L.; CHANG, F. J.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Non-thermal food preservation: pulsed electric fields. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 151-156, 1997.

VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S. **Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de Tilápia e sua utilização na alimentação animal**. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Pescado Continental Instituto de Pesca - APTA – SAA. São José do Rio Preto – SP, 2006.

VICENTE, I.S.T.; FONSECA-ALVES, C.E. Impact of Introduced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on Non-native Aquatic Ecosystems. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 16, n. 3, p. 121-126, 2013.

WALISSON, H. C. As exposições a raios UV aumentam ao longo dos últimos 30 anos, mas estabilizam desde meados de 1990. **Astrofísica Brasil**, 2010. Disponível em: <<http://astrofisicabrasil.blogspot.com/2010/03/exposicao-raios-uv-tem-aumentado-ao.html>>. Acesso em: 29 de setembro de 2019.