

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM VIGILÂNCIA SANITÁRIA
INSTITUTO NACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE EM SAÚDE
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Yago Alves de Aguiar Bernardo

**INDICADORES DE FRESCOR DE PEIXE PARA MONITORAMENTO DA
QUALIDADE: VISÃO CRÍTICA E ALTERNATIVAS**

Rio de Janeiro

2020

Yago Alves de Aguiar Bernardo

**INDICADORES DE FRESCOR DE PEIXE PARA MONITORAMENTO DA
QUALIDADE: VISÃO CRÍTICA E ALTERNATIVAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária, do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, da Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadores: Carlos Adam Conte Junior e Isabella Fernandes Delgado

Co-orientador: Denes Kaic Alves do Rosário

Rio de Janeiro

2020

Catálogo na Fonte

Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde

Biblioteca

Bernardo, Yago Alves de Aguiar

Indicadores de Frescor de Peixe para Monitoramento da Qualidade: Visão Crítica e Alternativas. / Yago Alves de Aguiar Bernardo. - Rio de Janeiro: INCQS/FIOCRUZ, 2020.

96 f. : fig. ; tab.

Dissertação (Mestrado Acadêmico em Vigilância Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2020.

Orientador: Carlos Adam Conte-Junior e Isabella Fernandes Delgado.

Co-orientador: Denes Kaic Alves do Rosário.

1. Qualidade de Peixe. 2. Método de Índice de Qualidade. 3. Tecnologias de Sensores Biônicos. 4. Análise de Perfil de Textura. 5. Delineamento Central Composto Rotacional. I. Título.

Fish Freshness Indicators for Quality Monitoring: Critical View and Alternatives.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil (FAPERJ) – Número de Concessão E-26/200.195/2020.”

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, and by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil (FAPERJ) – Grant Number E-26/200.195/2020.”

Yago Alves de Aguiar Bernardo

**INDICADORES DE FRESCOR DE PEIXE PARA MONITORAMENTO DA
QUALIDADE: VISÃO CRÍTICA E ALTERNATIVAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária, do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, da Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em 12 / 08 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Silvana do Couto Jacob (Doutor) – Titular
Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde

Sérgio Borges Mano (Doutor) – Titular
Universidade Federal Fluminense

Maria Lúcia Guerra Monteiro (Doutor) – Titular
Universidade Federal do Rio de Janeiro

ORIENTADORES

Isabella Fernandes Delgado (Doutor)
Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde

Carlos Adam Conte Junior (Doutor)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Denes Kaic Alves do Rosário (Doutor)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho a todos os profissionais
da Vigilância Sanitária e da área da saúde.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que fomentaram minha trajetória pessoal e profissional durante este último 1 ano e meio.

Primeiramente à minha família, meus pais José e Denise, meu irmão Yuri, minha noiva Júlia, meu primo Kaiky e minha avó Jacira. Agradeço pela dedicação, carinho e amor recebido ao longo do caminho.

Ao meu co-orientador, Dr. Denes. Agradeço pelo fomento científico e por toda contribuição intelectual empregada.

Aos meus orientadores, Professor Carlos e Professora Isabella. Agradeço pela disponibilidade e oportunidades.

Aos colegas de laboratório e do curso de Vigilância Sanitária. Agradeço pela troca de experiências e companheirismo.

Ao Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde. Agradeço pela infraestrutura e pela riqueza desta experiência profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). Agradeço pelo fomento aplicado a minha pesquisa.

O saber contra a ignorância, a saúde contra a doença, a vida a morte... Mil reflexos da Batalha Permanente em que todos estamos envolvidos.

Oswaldo Cruz

RESUMO

Peixe é uma matriz de alto valor nutricional, cuja produção e consumo vem aumentando nos últimos anos. Avanços na avaliação de frescor são essenciais para otimizar a avaliação da qualidade, melhorando a segurança do consumidor e reduzindo perdas econômicas, tornando necessárias metodologias rápidas, não-destrutivas e objetivas para analisar a qualidade nesta matriz. O objetivo do presente trabalho foi avaliar métodos físico-químicos (sensoriais e físicos) atualmente empregados para monitorar o frescor de peixe e propor novas tecnologias para determinar o frescor nesta matriz alimentar, como alternativas a serem adotadas pelos entes do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS). Para este propósito, foram realizados dois estudos. Primeiramente um levantamento bibliográfico acerca da utilização do Método de Índice de Qualidade (QIM), destacando seus princípios, limitações, validação e alternativas. O QIM é uma ferramenta aplicada para indicar frescor pela avaliação sensorial de um grupo de avaliadores treinados. Entretanto, seu uso é limitado pelo protocolo, tamanho da amostragem, especificidades das espécies, condições de armazenamento e experiência dos avaliadores, tornando esse método subjetivo. Posteriormente, foi avaliada a influência dos parâmetros de configuração do texturômetro na metodologia de análise de perfil de textura (TPA) como ferramenta de monitoramento de qualidade durante a estocagem de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Para este estudo foram aplicadas diferentes configurações dos parâmetros taxa de compressão (CR), entre 43,2 e 76,8%, intervalo entre ciclos (HT), entre 0,1 e 10 s, e velocidade de teste (TS), entre 0,3 e 3,7 mm/s, por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), para verificar de que forma estes fatores afetam os resultados das propriedades instrumentais (dureza, elasticidade, coesividade e resiliência) dos filés. As propriedades de textura foram significativamente afetadas por todos os fatores ($p < 0,05$). Os resíduos dos modelos gerados apresentaram-se distribuídos dentro da normalidade ($p < 0,05$), de acordo com teste de Shapiro-Wilk. O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) foi maior que 0,76 em todos os modelos, e a falta de ajuste (LOF) não foi significativa ($p > 0,05$). Desta forma, os modelos matemáticos foram capazes de descrever como as interações entre os fatores afetaram os resultados da TPA. A CR foi o principal fator afetando as propriedades. CR e TS influenciaram de forma semelhante a coesividade e a resiliência durante todo armazenamento ($p < 0,05$), com zonas de estabilidade entre 60-80% de CR. HT alterou a elasticidade, linear, quadraticamente e por interações ($p < 0,05$), e foram alcançadas zonas de estabilidade para nos dias 0 (3-5s de HT e 50-60% de CR) e 8 (55-75% de CR), onde foram obtidos resultados semelhantes. Portanto, a utilização do QIM e da TPA como ferramentas de monitoramento oficial de frescor em peixe não é recomendada, em vista das limitações de cada uma das metodologias, e novos métodos de avaliação da qualidade, como nariz eletrônico e língua eletrônica configuram como os melhores prospectos alternativos pela literatura científica.

Palavras-chave: Qualidade de Peixe. Método de Índice de Qualidade. Tecnologias de Sensores Biônicos. Análise de Perfil de Textura. Delineamento Central Composto Rotacional.

ABSTRACT

Fish is a matrix of high nutritional value, whose production and consumption has been increasing in recent years. Advances in freshness assessment are essential to optimize quality assessment, improving consumer safety and reducing economic losses, making fast, non-destructive and objective methodologies necessary to analyze quality in this matrix. The objective of the present study was to evaluate physical-chemical methods (sensory and physical) currently used to monitor the freshness of fish and propose novel technologies to determine the freshness in this food matrix, as alternatives to be adopted by the entities of the National Health Surveillance System (SNVS). For this purpose, two studies were carried out. Firstly, a bibliographic survey about the use of the Quality Index Method (QIM), highlighting its principles, limitations, validation and alternatives. QIM is a tool applied to indicate freshness through the sensory evaluation of a group of trained panelists. However, its use is limited by the protocol, sampling size, species specificities, storage conditions and experience of the panelists, making this method subjective. Subsequently, the influence of the texturometer configuration parameters on the texture profile analysis (TPA) methodology as a quality monitoring tool during the storage of Nile tilapia fillets (*Oreochromis niloticus*) was evaluated. For this study, different settings of the parameters compression rate (CR), between 43.2 and 76.8%, interval between cycles (HT), between 0.1 and 10 s, and test speed (TS), between 0.3 and 3.7 mm/s, were applied, through a Central Rotational Composite Design (DCCR), to verify how these factors affect the results of the instrumental properties (hardness, springiness, cohesiveness and resilience) of the fillets. The texture properties were significantly affected by all factors ($p < 0.05$). The residues of the generated models were normally distributed ($p < 0.05$), according to the Shapiro-Wilk test. The adjusted determination coefficient (R^2_{adj}) was greater than 0.76 in all models, and the lack of fit (LOF) was not significant ($p > 0.05$). In this way, mathematical models were able to describe how the interactions between the factors affected the TPA results. CR was the main factor affecting the properties. CR and TS similarly influenced cohesiveness and resilience throughout storage ($p < 0.05$), with stability zones between 60-80% of CR. HT changed the springiness, linearly, quadratically and by interactions ($p < 0.05$), and stability zones were reached for days 0 (3-5s of HT and 50-60% of CR) and 8 (55-75% CR), where similar results were obtained. Therefore, the use of QIM and TPA as tools for official monitoring of freshness in fish is not recommended, in view of the limitations of each of the methodologies, and novel methods of quality assessment, such as electronic nose and electronic tongue, are the best. alternative prospects in the scientific literature.

Key-words: Fish Quality. Quality Index Method. Sensory Bionic Technologies. Texture Profile Analysis. Central Composite Rotatable Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	Indicadores de frescor para peixe fresco e principais metodologias de monitoramento atualmente empregadas.....	20
Figura 1	Desenvolvimento das 3 etapas do QIM. Principais fatores que afetam a eficiência e a reprodutibilidade do QIM listados de (i)-(vi). Métodos artificiais alternativos listados de a-d.....	27
Quadro 2	Principais características dos esquemas QIM desenvolvidos para espécies de peixes entre 2017 e 2020.....	28
Figura 2	Visão macroscópica do desenvolvimento do QIM. O líder do painel é o responsável por recrutar avaliadores inexperientes, que nunca participaram de análises sensoriais (a). Estes avaliadores são então apresentados a análise sensorial (b) e, em seguida, um grupo menor é selecionado para compor o painel final (c). O painel selecionado continua com o treinamento, que corresponde ao primeiro passo do QIM (d). Durante o desenvolvimento do QIM, os dados de imagem obtidos durante o armazenamento e o protocolo final podem ser posteriormente utilizados por avaliadores não treinados para executar os métodos WA e CATA, respectivamente. Além disso, o trabalho dos avaliadores selecionados é monitorado pelo líder do painel (e) e, ao final do processo, eles podem se tornar avaliadores sensoriais especializados (f).....	34
Quadro 3	Descritores estatísticos multivariados do QIM.....	37
Quadro 4	Contagem bacteriana realizada para validação do esquema QIM.....	43
Quadro 5	Aplicação de tecnologias de sensores biônicos na avaliação da qualidade de peixes.....	48
Quadro 6	Níveis dos fatores (variáveis independentes) codificados e não codificados.....	54
Quadro 7	Os 19 tratamentos para análise do perfil de textura. Aplicação de diferentes taxas de compressão, tempo de espera e velocidade de teste em filés de tilápia do Nilo, combinados por meio do DCCR	54
Quadro 8	Configurações do texturômetro utilizadas para a análise de perfil de textura.....	56

Figura 3	Divisão de cada filé de tilápia do Nilo em quatro quadrantes (A, B, C e D) ao redor do ponto central para a avaliação da textura. Os resultados de TPA para cada tratamento foram o valor médio obtido pela avaliação dos quatro quadrantes.....	56
Figura 4	Curva instrumental típica da deformação tempo-força da TPA, apresentada por Friedman, Whitney e Szczesniak (1963), com modificações. A1 = área sob a curva na primeira compressão. A2 = área sob a curva na segunda compressão. D1 = tempo ou distância entre o início do primeiro ciclo e o primeiro pico. D2 = força ou distância entre o início do segundo ciclo e o segundo pico. R1 = área sob a curva para a primeira descida da sonda. R2 = área sob a curva para a primeira subida da sonda.....	58
Quadro 9	Modelos polinomiais (Eqs (2) a (13)) para propriedades instrumentais de textura.....	60
Figura 5	Gráfico de superfície de resposta da elasticidade (razão) do filé de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e do intervalo entre ciclos (s). Zona de estabilidade perceptível entre 3-5s de HT e 50-60% de CR.....	63
Figura 6	Gráfico de superfície de resposta da coesividade (razão) dos filés de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade perceptível entre 65-76,8% de CR.....	65
Figura 7	Gráfico de superfície de resposta da resiliência (razão) do filé de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade perceptível entre 65-76,8% de CR.....	65
Figura 8	Gráfico de superfície de resposta da dureza (N) do filé de tilápia no meio do armazenamento. O efeito do intervalo entre ciclos (s) e da velocidade do teste (mm/s). HT, TS e sua interação são fatores significativos, diferente do que ocorreu no dia 0.....	66
Figura 9	Gráfico de superfície de resposta da dureza (N) do filé de tilápia no final do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade formada em valores baixos de CR (< 60%) e TS (< 2 mm/s).....	69

Figura 10 Gráfico de superfície de resposta da elasticidade (razão) do filé de tilápia no final do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e do intervalo entre ciclos (s). Zona de estabilidade perceptível entre 55-75% de CR.....69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados da distribuição residual e índices de performance das propriedades instrumentais de textura dos filés de tilápia do Nilo para cada dia analisado.....	61
Tabela 2	Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 0.....	62
Tabela 3	Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 4.....	66
Tabela 4	Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 8.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADP	adenosina difosfato
AMP	adenosina monofosfato
ANN	rede neural artificial
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AQI	Índice de Qualidade Artificial
ATP	adenosina trifosfato
BA _s	aminas biogênicas
CATA	<i>Check All That Apply</i>
CFU	unidades formadoras de colônia
cm	centímetro
cm ²	centímetro quadrado
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
CR	taxa de compressão
CSA	matriz de sensores colorimétricos
DCCR	delineamento composto central rotacionado
DoE	<i>Design of Experiments</i>
DMA	dimetilamina
EE	efeito estimado
Eq.	equação
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
g	grama
HSPB	bactéria produtora de sulfeto de hidrogênio
HT	intervalo entre ciclos
Hx	hipoxantina
HxR	inosina
H ₂ S	sulfeto de hidrogênio
IMP	inosina monofosfato
INCQS	Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kg	quilograma
LAB	bactéria ácido-lática

LACEN	Laboratório Central de Saúde Pública
LOF	falta de ajuste
LSD	diferença menos significativa
MALDI-TOF-TOF	espectrometria de massa de tempo de vôo
MAP	embalagem de atmosfera modificada
MDA	malondialdeído
mg	miligrama
mg N/100 g	miligramas de nitrogênio por 100 gramas
mm	milímetro
mm/s	milímetro por segundo
MSE	erro padrão médio
MVS	sistema de visão computacional
N	Newton
Na ⁺	íon sódio
ND	não descrito
NH ₃	amônia
NS	não significativo
OTMA	óxido de trimetilamina
<i>p</i>	nível de significância
pH	potencial hidrogeniônico
PLS	mínimos quadrados parciais
PVC	policloreto de vinila
QI	índice de qualidade
QIM	Método de Índice de Qualidade
QR	<i>Quick Response</i>
R ²	coeficiente de determinação
R ² _{adj}	coeficiente de determinação ajustado
RIISPOA	Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
RSM	metodologia de superfície de resposta
s	segundo
SBT	Tecnologia de Sensores Biônicos
SE	erro padrão
SNR	relação sinal-ruído

SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO ₂	dióxido de enxofre
spp.	gênero
SUS	Sistema Único de Saúde
TMA	trimetilamina
TPA	Análise de Perfil de Textura
TS	velocidade do teste
TVC	contagem total de viáveis
VIP	variáveis de importância para a projeção
WA	Associação de Palavras
°C	graus Celsius
ΔE	diferença total de cor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Qualidade e frescor em peixes	18
1.2 Método de Índice de Qualidade	20
1.3 Análise de Perfil de Textura	21
2 OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo geral	24
2.2 Objetivos específicos	24
3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 Levantamento bibliográfico sobre o Método de Índice de Qualidade	25
3.1.1 Princípios do Método de Índice de Qualidade	25
3.1.2 Limitações do QIM	29
3.1.2.1 <i>Lacunas no protocolo de QI</i>	29
3.1.2.2 <i>Tamanho da amostragem</i>	30
3.1.2.3 <i>Especificidades das espécies</i>	31
3.1.2.4 <i>Condições de estocagem</i>	32
3.1.3 QIM vs. análise sensorial descritiva.....	32
3.1.3.1 <i>Experiência dos avaliadores</i>	33
3.1.3.2 <i>Métodos sensoriais relacionados ao QIM</i>	35
3.1.4 Modelos estatísticos para avaliar a performance do QIM	36
3.1.5 Validação Química do QIM.....	38
3.1.5.1 <i>Valor K</i>	39
3.1.5.2 <i>Bases voláteis totais nitrogenadas</i>	40
3.1.5.3 <i>Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico</i>	40
3.1.6 Validação Bacteriológica do QIM	41
3.1.7 Índice de Qualidade Artificial (AQI)	45
3.1.7.1 <i>Nariz eletrônico</i>	46

3.1.7.2 Língua eletrônica	47
3.1.7.3 Sistemas de visão computacional.....	49
3.1.7.4 Matriz de sensores colorimétricos	50
3.1.7.5 Desafios para aplicação de AQL.....	51
3.1.7.6 Estado da arte dos métodos instrumentais para monitoramento da qualidade de peixe	52
3.2 Delineamento experimental da Análise de Perfil de Textura	54
3.2.1 Desenho Experimental.....	54
3.2.2 Preparação das amostras.....	55
3.2.3 Avaliação da textura instrumental	56
3.2.4 Modelagem matemática.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Análise de Textura Instrumental	59
4.1.1 Performance do modelo e validação matemática	59
4.1.2 Dia 0	59
4.1.3 Dia 4	64
4.2.4 Dia 8	67
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS.....	73
APÊNDICE A – RESPOSTA AOS COMENTÁRIOS DOS EDITORES E REVISORES AO ARTIGO DE REVISÃO	86
APÊNDICE B – CARTA DE ACEITE DO ARTIGO DE REVISÃO	93
APÊNDICE C – ARTIGO DE REVISÃO	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade e frescor em peixes

A qualidade de um alimento pode ser entendida como o total de características de um produto que representam fatores que influenciam em sua capacidade de satisfazer necessidades pré-estabelecidas. Em outras palavras, a qualidade pode ser descrita como os requerimentos necessários para satisfazer as expectativas do consumidor (AUNG; CHANG, 2014). Sob a égide da Vigilância Sanitária, a percepção e definição deste termo podem ser avaliadas por meio de uma visão integrada de diferentes fatores, como o frescor, a segurança, a rastreabilidade e a autenticidade, sendo estes os principais requisitos para a qualidade de um alimento.

O frescor, numa ampla definição, representa um estado ideal ou perfeito de conservação, no qual as propriedades da matéria-prima (de origem animal) encontram-se o mais próximo possível daquelas apresentadas antes do abate ou imediatamente após a captura/despesca (OEHLENSCHLÄGER; SORËNSEN, 1997). De forma específica, este parâmetro apresenta como principais indicadores as propriedades sensoriais, químicas, físicas e microbiológicas, cujas análises têm como objetivo prover respostas que descrevam uma ou mais alterações *post mortem* ocorridas na matéria-prima, sejam estas derivadas dos mecanismos de autólise enzimática, processos oxidativos ou degradação microbiana (FREITAS; VAZ-PIRES; CÂMARA, 2020).

O peixe é um produto composto de proteínas com alto valor biológico e rico em vitaminas A e D, minerais e ácidos graxos insaturados (RODRIGUES et al., 2017a). Devido a busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis, a procura por peixes, à nível global, tem aumentado significativamente nas últimas décadas, o que também é estimulado pelo aumento populacional (BRABO et al., 2016). Neste contexto, a aquicultura ganha destaque como melhor alternativa para o crescimento da produção nos próximos anos, e estima-se que até 2025 torne-se maior que a produção por captura (OTTINGER; CLAUSS; KUENZER, 2016). Além de essencial para a garantia da segurança alimentar mundial, no Brasil, o saldo comercial da exportação deste produto (aquicultura e captura) ultrapassou 140 bilhões de dólares anuais em 2014, demonstrando sua força no mercado internacional (SIQUEIRA,

2018). No entanto, trata-se de uma matriz altamente perecível devido aos altos níveis de aminoácidos livres e outras substâncias não nitrogenadas utilizadas como fontes de nutrientes para o crescimento microbiano (MONTEIRO et al., 2018). Sua composição proteica possui uma grande proporção de aminoácidos essenciais que, embora benéficos para a saúde do consumidor, apresentam rápida deterioração. Após a dissolução do *rigor mortis* e o estabelecimento do processo de autólise, as proteases endógenas são algumas das primeiras enzimas a agir, promovendo a hidrólise de proteínas e levando a perdas de qualidade (DELBARRE-LADRAT et al., 2006). Portanto, o controle rápido e eficiente da qualidade desses produtos, sobretudo o frescor, configura um desafio para as autoridades de saúde pública, e em particular para o campo da Vigilância Sanitária.

Para promoção da garantia da qualidade, o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), definido pela Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, no papel de instrumento do Sistema Único de Saúde (SUS), é incumbido por regulamentar, controlar e fiscalizar produtos e serviços que envolvam risco à saúde pública, o que inclui alimentos (BRASIL, 1999). Ainda no âmbito do SNVS, à nível estadual, os Laboratórios Centrais de Saúde Pública (LACEN) são os responsáveis pela realização de análises de interesse de Saúde Pública, no tocante as Vigilâncias Ambiental, Epidemiológica, Sanitária e da Saúde do Trabalhador.

Ademais, as análises laboratoriais preconizadas para controle de qualidade de peixe compreendem aquelas descritas pelo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) (BRASIL, 2017), como pH e bases voláteis totais nitrogenadas, e pela Instrução Normativa nº 60 (BRASIL, 2019), incluindo limites para histamina, estafilococos coagulase positiva e *Escherichia coli*, e presença ou ausência de *Salmonella*. Além destas, diferentes metodologias sensoriais, físicas, químicas e microbiológicas têm sido empregadas ao longo da cadeia produtiva de pescado, como descrito no Quadro 1. Estas, em sua maioria, apresentam inúmeras limitações em diversos aspectos. Entretanto, dentre os indicadores sensoriais destaca-se o Método de Índice de Qualidade (QIM), considerado preciso e não destrutivo, em contraste às demais metodologias sensoriais (Esquemas de Torry e da União Europeia), descritas como destrutivas e altamente específicas (FREITAS; VAZ-PIRES; CÂMARA, 2020). Além disso, dentre os indicadores instrumentais, a análise de perfil de textura (TPA) destaca-se por ser

rápida, não destrutiva, de baixo custo e não requer grande experiência profissional, em detrimento às demais metodologias propostas, como as análises microbiológicas (demoradas), químicas (demoradas, de alto custo e requerem especialização profissional) e espectroscópicas (alto custo e não padronizadas) (FREITAS; VAZ-PIRES; CÂMARA, 2020).

Quadro 1: Indicadores de frescor para peixe fresco e principais metodologias de monitoramento atualmente empregadas

Indicadores	Metodologia
Sensorial	Método de Índice de Qualidade, Esquema da União Europeia, Esquema de Torry
Microbiológico	Bactérias ácido-láticas, Bactérias produtoras de sulfeto de hidrogênio, Contagem total de mesófilos e psicrotóxicos, <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas spp.</i>
Químico	Bases voláteis totais nitrogenadas, Oxidação lipídica, pH, Valor <i>K</i>
Físico	Análises de textura e cor instrumentais
Espectroscopia	Espectrofotometria ultravioleta, Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier, Ressonância Magnética Nuclear

Fonte: Adaptado de Freitas, Vaz-Pires e Câmara (2020).

1.2 Método de Índice de Qualidade

Para avaliar o frescor do peixe, alguns protocolos para a detecção e quantificação de alterações em suas características sensoriais. Atualmente, o *Codex Alimentarius*, programa internacional que objetiva estabelecer normas na área de alimentos, como padrões, diretrizes e guias, estabelece a utilização de análises sensoriais por avaliadores treinados como um dos métodos de avaliação de frescor para peixes (FAO/WHO, 2017), demonstrando a importância e aplicabilidade deste índice de qualidade. Dentre os principais métodos de avaliação sensorial, destacam-se (i) o Esquema da União Europeia (EU, 1996), (ii) o Esquema de Torry, e (iii) o Método de Índice de Qualidade (BREMNER, 1985) foram desenvolvidos (SHEWAN et al., 1953). O Esquema da União Europeia classifica o peixe de acordo com seu grau de frescor e pela observação de características complementares, por meio de listas específicas de parâmetros (EU, 1996). O Esquema de Torry avalia o frescor do peixe cozido, atribuindo pontuações decrescentes que variam de 10 a 0, de acordo com a

avaliação sensorial (SHEWAN et al., 1953; ALASALVAR et al., 2002). No entanto, o método mais utilizado para avaliação sensorial é o Método de Índice de Qualidade (QIM).

Segundo Olafsdottir et al. (1997), as pontuações atribuídas pelo QIM são precisas e imparciais. Entretanto, dependem de alguns avaliadores altamente treinados, pois trata-se de um método sensorial. Métodos qualitativos, como o QIM, estão sujeitos ao tamanho da amostragem, às condições de armazenamento e à especificidade da espécie, acarretando em lacunas no protocolo. Além disso, a validação bacteriológica mostra resultados controversos (BAIXAS-NOGUERAS et al., 2003; SANT'ANA; SOARES; VAZ-PIRES, 2011), o que limita seu uso como método oficial de avaliação da qualidade de peixe. Embora estudos recentes tenham demonstrado que o QIM é uma ferramenta útil (AHMADI SHALHE; KHODANAZARY; HOSSEINI, 2018; GHANI KUVEI; KHODANAZARY; ZAMANI, 2019; KHODANAZARY, 2019), novos métodos instrumentais mostraram alto desempenho e precisão (HASSOUN; KAROUI, 2015; WU; PU; SUN, 2019).

1.3 Análise de Perfil de Textura

A textura é uma das principais propriedades para avaliação física instrumental da qualidade de peixe para produtores e consumidores (SINGH; BENJAKUL, 2018). Importantes estudos foram publicados avaliando e descrevendo como a textura desta matriz se altera ao longo do processo de degradação, e os estudos mais recentes utilizam a análise instrumental de textura ou análise de perfil de textura (TPA) como método de avaliação (BOUGHATTAS et al., 2020; BRUNI et al., 2020; CROPOTOVA et al., 2019; HARIMANA et al., 2019; JIANG et al., 2018b; LI et al., 2018; MONTEIRO et al., 2019; PAVÓN et al., 2018; ROCO et al., 2018; RODRIGUES et al., 2017b; SREELAKSHMI et al., 2019; SUN et al., 2018; TANG et al., 2019; WANG et al., 2019; WU et al., 2018).

A TPA é empregada para mimetizar o que ocorre dentro da boca humana, permitindo obter uma curva de força-tempo por meio de dois ciclos de compressão da amostra, significativos para identificar algumas características de textura dos alimentos. (NISHINARI; FANG; ROSENTHAL, 2019). A ideia de realizar duas “mordidas” através de dois ciclos sucessivos de compressão obtidos com uma sonda

cilíndrica foi primeiramente descrita por Bourne (1968), em um dos estudos pioneiros na área. No entanto, esse foi o único parâmetro que permaneceu constante desde que as primeiras metodologias foram descritas (NISHINARI et al. 2019). Além disso, como retratado por Peleg (2019), a TPA apresenta, em todas as suas variações, inúmeras divergências, como a questão mecânica, incluindo a geometria e dimensões da amostra e a velocidade de descida e subida da sonda. Essas divergências podem ser supostamente responsáveis por diferentes resultados de textura para uma propriedade da amostra analisada sob diferentes condições. Entretanto, os trabalhos mais recentes apresentam uma ampla gama de variações nos parâmetros que regem esta técnica, incluindo a taxa de compressão (CR), que varia de 30 a 80%, o intervalo entre ciclos (HT), numa faixa de 1 a 60 s, e a velocidade de teste (TS), de 0,2 a 10 mm/s).

Conforme descrito por Rosenthal (2010), um analisador de textura é capaz de mensurar as principais propriedades da textura instrumental de filé de peixe (por exemplo, dureza e coesividade). No entanto, dureza, elasticidade, coesividade, resiliência e mastigabilidade têm sido as propriedades mais comumente aceitas e estudadas para avaliação da textura dos filés (BONFIM et al., 2020; CROPOTOVA et al., 2019; IACONISI et al., 2017; MONTEIRO et al., 2019; RODRIGUES et al., 2017b; SUN et al., 2018; TANG et al., 2019; WANG et al., 2019).

Segundo Casas et al. (2006), a dureza pode ser definida como a força necessária para comprimir as amostras no primeiro ciclo, o que na prática corresponde à força de pico alcançada pelo primeiro ciclo de compressão uniaxial (“primeira mordida”). Desta forma, a aplicação de diferentes CRs resultaria em diferentes valores de dureza para amostras semelhantes (PELEG, 2019). Portanto, o mesmo problema parece afetar os resultados de resiliência e coesividade, ou “recuperabilidade estrutural”, uma vez que correspondem à razão entre a área de subida e a área de descida da sonda no primeiro ciclo e a proporção das áreas sob os picos de duas “mordidas”, respectivamente (NISHINARI; FANG, 2018). Além disso, essas duas propriedades primárias são afetadas pela TS, pois esta deve mimetizar a velocidade da mastigação humana (NISHINARI; FANG; ROSENTHAL, 2019; ROSENTHAL, 2010). Por sua vez, a elasticidade parece ser afetada pelo intervalo entre ciclos (HT), uma vez que essa é uma razão entre o tempo para iniciar a segunda compressão e o tempo para atingir o segundo pico (SUN et al., 2018). Por fim, a

mastigabilidade é uma propriedade instrumental secundária, resultante do produto entre dureza, coesividade e elasticidade (SUN et al., 2018), e definida como a energia necessária para mastigar um produto alimentar sólido a um estado pronto para engolir (NISHINARI; FANG, 2018). Desta forma, as influências exercidas pelos parâmetros do texturômetro têm um efeito indireto sobre esta propriedade, tornando-se fundamental avaliar as respostas das propriedades primárias, que são diretamente afetadas pelas variações nas configurações de análise do perfil de textura. Em um âmbito geral, o melhor entendimento do método de TPA é promissor para aumentar a eficiência do monitoramento da cadeia produtiva de peixe fresco.

Sendo assim, em vista do crescente mercado de produção e consumo de peixe, uma matriz que apresenta acelerado processo degradativo, se faz necessário o desenvolvimento e avaliação de novas metodologias rápidas, objetivas, de baixo custo não prejudiciais a amostra para monitoramento da qualidade de peixes, em especial o frescor. Desta forma, a utilização de metodologias sensoriais, como o Método de Índice de Qualidade, e físicos, como a Análise de Perfil de Textura, ambos indicadores de frescor, representam alternativas aos índices atualmente preconizados por legislação, possibilitando a redução de desperdícios deste alimento e melhorando sua qualidade para o consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar métodos sensoriais (QIM) e físicos (TPA) atualmente utilizados para o monitoramento da qualidade de peixe e propor novas tecnologias e metodologias para a determinação do frescor desta matriz alimentar pelos entes do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).

2.2 Objetivos específicos

Avaliar, por meio de revisão da literatura, o Método de Índice Qualidade (QIM) como indicador sensorial para monitorar frescor de peixe, a fim de estabelecer seus princípios, limitações, validação, bem como verificar seu potencial como ferramenta oficial de controle de qualidade.

Propor o desenvolvimento e utilização de novas metodologias rápidas, de baixo custo, objetivas, não destrutivas, e que não estejam sujeitas a possíveis erros relacionados a subjetividade dos sentidos humanos.

Realizar análise de perfil de textura (TPA) em filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) estocados a 4 °C, a fim de monitorar o frescor por meio das propriedades primárias de textura instrumental (dureza, elasticidade, coesividade e resiliência).

Determinar como os parâmetros da TPA (taxa de compressão, intervalo entre ciclos e velocidade do teste) influenciam nos resultados das propriedades de textura instrumental dos filés, utilizando um delineamento composto central rotacional (DCCR) e metodologia de superfície de resposta (RSM).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Levantamento bibliográfico sobre o Método de Índice de Qualidade

Durante os meses de janeiro a dezembro de 2019 foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a utilização do QIM para avaliação de qualidade de peixes. Para tal, foi empregada a ferramentas de pesquisa, como *Google Acadêmico*®, *Scopus*®, *PubMed*® e *Science Direct*®. O levantamento reuniu dados publicados em artigos científicos entre os anos de 2000 e 2020, acerca da criação e desenvolvimento desta metodologia, das principais limitações relacionadas a sua prática, dos métodos sensoriais correlatos, dos modelos estatísticos associados, das formas de validação química e bacteriológica, e das potenciais tecnologias instrumentais alternativas ao QIM. Os dados obtidos por meio deste levantamento (conforme expostos na presente seção desta dissertação) foram reunidos sob a forma de uma revisão de literatura. O artigo de revisão, intitulado “*Fish Quality Index Method: principles, weaknesses, validation and alternatives – a review*” foi submetido para a revista *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*®, de fator de impacto 9,912, na qual foi aceito e publicado (BERNARDO et al., 2020). As respostas aos comentários dos editores e revisores, a carta de aceite e o artigo de revisão estão dispostas nos APÊNDICES A, B e C, respectivamente.

3.1.1 Princípios do Método de Índice de Qualidade

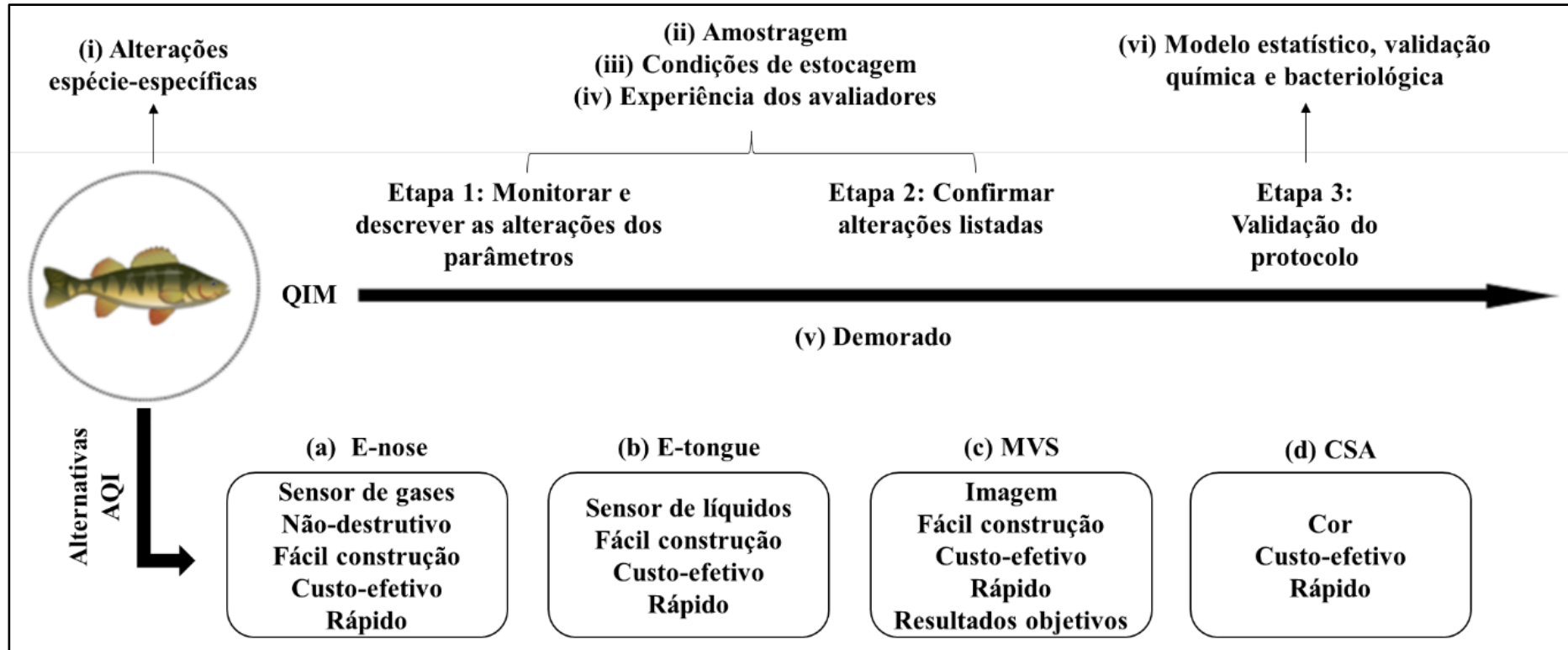
Após o abate, o peixe passa por um processo complexo de atividades microbianas e enzimáticas, resultando em degradação de proteínas e oxidação lipídica (HUIDOBRO; PASTOR; TEJADA, 2000). Esse processo leva a mudanças nas características sensoriais e nutricionais, bem como na rejeição por parte do consumidor, tornando o peixe inadequado para comercialização e consumo (AHMADI SHALHE; KHODANAZARY; HOSSEINI, 2018). O QIM é considerado uma abordagem prática e rápida para avaliar o frescor e a qualidade de peixes (SVEINSDOTTIR et al., 2003). Introduzido pela *Tasmanian Food Research Division*, o QIM atribui pontos de demérito (de 0 a 3) ajustados às espécies que estão sendo avaliadas (GUILLERM-REGOST et al., 2006). Pontuações próximas a 0 indicam frescor e pontuações

próximas a 3 indicam um estado avançado de deterioração, levando em consideração a aparência de parâmetros previamente selecionados, diretamente relacionados à venda e consumo (SVEINSDOTTIR et al., 2003; VAZ-PIRES; SEIXAS, 2006).

O desenvolvimento do índice de qualidade (QI), um escore sensorial geral, ocorre em três etapas (Figura 1), sendo duas etapas iniciais de treinamento para os avaliadores e uma etapa final de validação (RITTER et al., 2016). Na primeira etapa de treinamento, os avaliadores monitoram o processo de deterioração e descrevem os parâmetros do peixe que foram alterados durante o armazenamento (RITTER et al., 2016). As alterações são listadas em um protocolo preliminar de QI e cada conjunto é pontuado de 0 a 3 (GUILLERM-REGOST et al., 2006). A segunda etapa do treinamento é realizada para confirmar as observações listadas e propor alterações no protocolo preliminar de QI (SANT'ANA; SOARES; VAZ-PIRES, 2011). O terceiro passo é a validação do protocolo de QI (BORGES et al., 2013). A principal vantagem desse método é fornecer uma relação linear entre o frescor das espécies avaliadas em relação ao tempo de armazenamento (RITTER et al., 2016), de modo que as diferenças mínimas atribuídas pelos avaliadores à mesma característica sejam incapazes de influenciar o resultado final (MARTINSDOTTIR et al., 2001). Além disso, protocolos distintos devem ser desenvolvidos para diferentes espécies (Quadro 2), uma vez que cada uma possui um padrão de qualidade específico.

A eficiência do QIM depende de vários fatores, como (i) a seleção dos parâmetros sensoriais que irão compor o protocolo; (ii) o tamanho da amostragem; (iii) a especificidade da espécie avaliada; (iv) as condições de armazenamento das amostras; (v) a experiência dos avaliadores; e (vi) a validação bacteriológica e química dos resultados (LANZARIN et al., 2016; MARSHALL, 1996; NIELSEN; GREEN, 2007; OZOGUL et al., 2005; SANT'ANA; SOARES; VAZ-PIRES, 2011; SVEINSDOTTIR et al., 2002). Esses fatores geralmente apresentam alto custo e comprometem especialmente a reprodutibilidade do QIM, originando resultados controversos mesmo para espécies semelhantes, o que restringe seu uso como método oficial para avaliação de qualidade. Além do mais, considerando o crescimento populacional mundial esperado, os avanços científicos na predição da qualidade de peixe podem superar as limitações do QIM e, assim, otimizar e proteger os sistemas alimentares para o futuro.

Figura 1: Desenvolvimento das 3 etapas do QIM. Principais fatores que afetam a eficiência e a reprodutibilidade do QIM listados de (i)-(vi). Métodos artificiais alternativos listados de a-d



Fonte: Próprio autor.

Quadro 2: Principais características dos esquemas QIM desenvolvidos para espécies de peixes entre 2017 e 2020

Espécies	Produto	Estocagem	QI	Dias de vida comercial	Referências
Bacalhau (<i>Gadus morhua</i>)	Cru, filetado, selvagem	Refrigerado (0-2 °C)	0-14	10	ROIHA et al. (2018)
Camarão (<i>Penaeus monodon</i>)	Cru, inteiro, criação	Refrigerado (0 °C)	0-18	8	LE et al. (2017)
Carapeba (<i>Eucinostomus gula</i>)	Cru, inteiro, selvagem	Refrigerado (0 ± 0,1 °C)	0-19	10	GONÇALVES; SOARES (2017)
Cobia (<i>Rachycentron canadum</i>)	Cru, inteiro, criação	Refrigerado (0 ± 1°C)	0-23	15	FOGAÇA et al. (2017)
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Cru, eviscerado, criação	Refrigerado (0 ± 1°C)	0-34	22	ARAÚJO et al. (2017)
Pregado (<i>Scophthalmus maximus</i>)	Cru, eviscerado	Refrigerado (4 °C)	0-20	15	LI et al. (2017)
Dourado (<i>Rhabdosargus sarba</i>)	Cru, inteiro, selvagem	Refrigerado (0 °C)	0-34	9	AHMADI SHALHE; KHODANAZARY; HOSSEINI (2018)
Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Cru, inteiro and eviscerado, criação	Refrigerado (2 °C)	0-30 (inteiro) 0-15 (eviscerado)	12 (inteiro) 14 (eviscerado)	DILER; GENÇ (2018)

Continua

Conclusão

Espécies	Produto	Estocagem	QI	Dias de vida comercial	Referências
<i>Seriola dumerili</i>	Cru, inteiro, criação	Refrigerado (0 ± 1 °C)	0-25	11	FREITAS; VAZ-PIRES; CÂMARA (2019)
<i>Chelon subviridis</i>	Cru, inteiro, selvagem	Refrigerado (4 °C)	0-34	12	GHANI KUVEI; KHODANAZARY; ZAMANI (2019)
Camarão (<i>Metapenaeus affinis</i>)	Cru, inteiro, selvagem	Refrigerado (0 °C)	0-18	9	KHODANAZARY (2019)
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Cru, inteiro, criação	Refrigerado (1 ± 0,5 °C)	0-19	11	VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al. (2020)

Fonte: Próprio autor.

3.1.2 Limitações do QIM

3.1.2.1 Lacunas no protocolo de QI

Os parâmetros considerados para compor o protocolo de QI dependem das espécies a serem avaliadas e das informações obtidas durante a observação das alterações sensoriais nas primeira e segunda etapas (BOGDANOVIĆ et al., 2012). Somente por meio do protocolo de QI é possível avançar para a terceira etapa. No entanto, este protocolo pode apresentar diferenças que geram resultados contraditórios. O primeiro protocolo desenvolvido para lula (*Sepia officinalis*) foi descrito por Vaz-Pires e Seixas (2006). Os autores relataram que a deterioração progrediu de acordo com o tempo de armazenamento por meio da observação de nove parâmetros. A rejeição da lula ocorreu no décimo dia de armazenamento, quando os pontos de demérito totalizaram 17 (VAZ-PIRES; SEIXAS, 2006). Por outro lado, Sykes et al. (2009) desenvolveram o QIM para lula (*Sepia officinalis*) e relataram que a rejeição ocorreu no oitavo dia de armazenamento, com 22 pontos de demérito.

Esses resultados controversos para uma mesma espécie podem ser explicados pelas diferentes metodologias aplicadas por cada autor. O QIM realizado por Vaz-Pires e Seixas (2006) não considerou as duas etapas de treinamento propostas antes da validação do protocolo, segundo Martinsdottir et al. (2001). Assim, alguns parâmetros, como odor e cor da cavidade do manto, não foram observados no protocolo final. Além disso, a discordância entre os dois protocolos demonstra que os resultados obtidos pelo QIM estão sujeitos à observação dos avaliadores e à escolha de parâmetros não padronizados, que irão compor o protocolo final.

3.1.2.2 *Tamanho da amostragem*

O QIM é classificado como uma metodologia qualitativa, considerando o processo de treinamento dos avaliadores e a determinação dos parâmetros a serem avaliados. Ademais, o procedimento requer um grande número de amostras, bem como um experimento flexível e interativo (MARSHALL, 1996). Portanto, os resultados obtidos para frescor e validade comercial podem apresentar controvérsias devido ao tamanho amostral adotado pelos autores. O QIM descrito por Vaz-Pires e Seixas (2006) utilizou 39 espécimes de lula durante todo o procedimento e obteve escores finais entre 0 e 17. Por outro lado, para a mesma espécie, Sykes et al. (2009) utilizaram 60 amostras em cada etapa do QIM, totalizando 180 amostras. Conseqüentemente, uma gama mais extensa de parâmetros foi observada e escolhida para compor o protocolo de QI, resultando em um protocolo mais elaborado, variando de 0 a 29 (SYKES et al., 2009). No entanto, quando o tamanho da amostra é o mesmo, o protocolo pode se tornar similar até mesmo para espécies diferentes. Lanzarin et al. (2016) analisaram 105 espécimes de pintado da Amazônia (*Pseudoplatystoma fasciatum* x *Leiarius marmoratus*), e o protocolo final de QI variou de 0 a 18, com 11 parâmetros sensoriais avaliados. A mesma amostragem foi adotada por Ritter et al. (2016), determinando o QIM de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*), ao avaliar 10 parâmetros sensoriais de 105 espécimes, e o protocolo final de QI também apresentou um intervalo de 0 a 18. Além do mais, o procedimento para obter o protocolo de QI foi o mesmo em ambos os estudos, incluindo a temperatura de armazenamento (0 °C), tamanho da amostragem (105 amostras), número de avaliadores (12) e etapas de treinamento (12 sessões de 30

min, totalizando 10 horas) (LANZARIN et al., 2016; RITTER et al., 2016). No mais, as duas espécies são híbridas originárias de espécies nativas dos rios amazônicos, o que também justifica os resultados semelhantes.

3.1.2.3 Especificidades das espécies

O protocolo desenvolvido por Sant'ana; Soares; Vaz-Pires (2011) para sargo (*Pagellus bogaraveo*) apresentou 14 parâmetros, totalizando 30 pontos de demérito. Por outro lado, Ritter et al. (2016) descreveram um protocolo para tambatinga contendo 10 parâmetros e totalizando 18 pontos de demérito. Essas diferenças se devem ao fato do sargo habitar águas marinhas, enquanto o tambatinga habita águas fluviais. As atividades metabólicas e microbianas que geram as alterações sensoriais ocorrem de diferentes maneiras, dependendo das especificidades do peixe, o que inclui seu habitat (LIU et al., 2016). Da mesma forma, Borges et al. (2013) relataram um protocolo com 16 parâmetros de qualidade para pacu (*Piaractus mesopotamicus*), totalizando 32 pontos de demérito, diferente dos resultados obtidos para a tambatinga (RITTER et al., 2016). No entanto, pacu e tambatinga são semelhantes porque ambos são peixes redondos. O grupo de peixes redondos inclui pacu, tambaqui (*Colossoma macropomum*), pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), seus híbridos (como o tambatinga) e outras espécies da família Serrasalminidae (HASHIMOTO et al., 2011; ORTÍ et al., 2008). Além disso, seus estágios juvenis são morfologicamente indistinguíveis (HASHIMOTO et al., 2011). Portanto, a partir destas observações, é correto afirmar que há necessidade de um protocolo sensorial específico mesmo para espécies semelhantes, devido a alterações físicas e reações químicas características de cada espécie, pela ação de enzimas e microrganismos (BORGES et al., 2013). Conseqüentemente, um dos princípios básicos do QIM (especificidade das espécies) parece ser na verdade uma desvantagem, uma vez que limita o procedimento a qualificar apenas as espécies às quais é aplicado, não permitindo generalizar os resultados, tornando o QIM um procedimento lento e de alto custo.

3.1.2.4 Condições de estocagem

No desenvolvimento geral do QIM, o armazenamento das amostras de peixe ocorre em temperatura de refrigeração, entre 0-4 °C (MARTINSDOTTIR et al., 2001). Mudanças na temperatura de armazenamento alteram a validade comercial do peixe, modificando os resultados finais do QIM. Campus et al. (2011) avaliaram a qualidade de dourada (*Sparus aurata*) armazenada a 4 °C em embalagem de atmosfera modificada (EAM). O período máximo de armazenamento foi de 13 dias. Por outro lado, em temperaturas mais elevadas (8 °C), o QI aumentou rapidamente. Esse incremento rápido pode ser explicado pela diminuição da solubilidade do CO₂ na EAM (CAMPUS et al., 2011). O uso de temperaturas muito baixas (2 °C), no entanto, não melhora os parâmetros sensoriais em comparação com o armazenamento a 4 °C, de modo que a redução da temperatura de 4 °C para 2 °C não foi suficiente para reduzir o metabolismo microbiano e atividades de enzimas endógenas (CAMPUS et al., 2011). Por outro lado, a temperatura próxima ao ponto de congelamento é capaz de prolongar a vida útil, prolongando o desenvolvimento do QIM. Baixas-Nogueras et al. (2003) avaliaram o frescor da pescada do Mediterrâneo (*Merluccius merluccius*) armazenada em gelo em flocos (0 °C) dentro de um refrigerador ajustado a 4 °C. A aceitação da amostra não ultrapassou o oitavo dia de armazenamento. Para pescada congelada (*M. capensis*), no entanto, a validade comercial aumentou em meses, uma vez que as amostras foram mantidas em temperaturas abaixo de -10 °C (HERRERO; HUIDOBRO; CARECHE, 2003). Portanto, o desenvolvimento de QIM a partir de peixes congelados pode ser considerado lento, devido ao tempo necessário para obter a pontuação final, e destrutivo, pois envolve o descongelamento das amostras (HERRERO; HUIDOBRO; CARECHE, 2003). Desta forma, é necessário o uso de bandejas plásticas para evitar que peixes entrem em contato com líquidos de descongelamento (LÓPEZ-GARCÍA et al., 2014).

3.1.3 QIM vs. análise sensorial descritiva

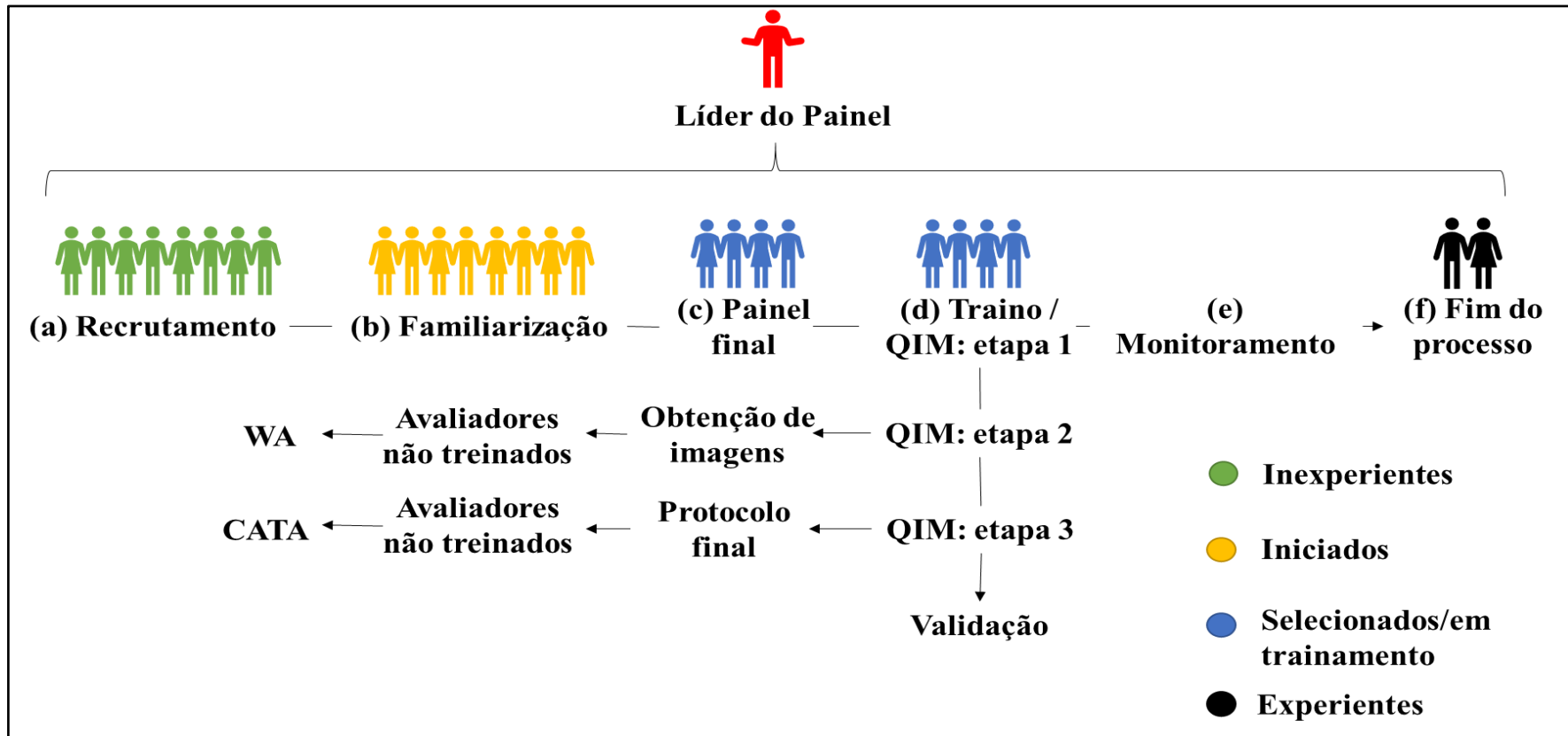
Algumas das limitações listadas previamente, embora numerosas, são gerenciáveis, por meio da padronização do tamanho da amostragem e das condições de armazenamento para estabelecer o QIM, por exemplo. No entanto, conforme

apresentado na Figura 2, o procedimento de análise sensorial não se inicia no mesmo ponto que o QIM. Por este motivo, a construção incorreta do grupo de avaliadores pode ser a principal fonte de viés para essa metodologia.

3.1.3.1 *Experiência dos avaliadores*

O painel de avaliadores treinados fornece informações exclusivas sobre as características sensoriais (gostos, odores e texturas) do produto-alvo e também é amplamente utilizado para realizar tarefas analíticas, principalmente devido à sua acuidade sensorial (ARES e VARELA, 2017). No entanto, vários desafios afetam a análise sensorial, como o correto treinamento dos avaliadores e o tamanho do painel. Borges et al. (2013) desenvolveram o QIM para pacu (*Piaractus mesopotamicus*), e as análises visual, olfativa e textural mostraram diferenças para o protocolo relatado para tambacu (*Colossoma macropomum x Piaractus mesopotamicus*) por Borges et al. (2014). A firmeza da carne, o formato dos olhos e o odor das brânquias apresentaram pontos de demérito distintos no mesmo estágio de armazenamento. Essas disparidades podem ser justificadas devido ao treinamento incorreto e à baixa comparabilidade entre os avaliadores, ou devido às diferentes especificidades das espécies (PAPADOPOULOU et al., 2013). No entanto, ambos os peixes pertencem ao grupo dos peixes redondos, mostrando semelhanças morfológicas (ORTÍ et al., 2008). Assim, o procedimento de treinamento parece ser o principal motivo destas variações. O painel coordenado por Borges et al. (2014) utilizou 2 peixes para cada sessão de treinamento na primeira etapa, totalizando 16 sessões. Por outro lado, Borges et al. (2013) utilizaram um peixe para cada sessão de treinamento, totalizando dez. Além disso, as diretrizes gerais para seleção, treinamento e monitoramento de avaliadores sensoriais selecionados e especialistas são atualmente descritas pela ISO 8586 (ISO, 2012). A norma internacional exige que um painel desejável tenha pelo menos dez avaliadores selecionados, e que pelo menos duas ou três vezes o número de avaliadores deve ser recrutado para triagem antes do estabelecimento final do painel. Portanto, o treinamento incorreto ou insuficiente e o pequeno número de avaliadores podem ser responsáveis por afetar a análise sensorial, uma vez que as espécies apresentam semelhanças microbiológicas e físico-químicas (BORGES et al., 2013; BORGES et al., 2014). Conseqüentemente, ao longo das últimas duas décadas,

Figura 2: Visão macroscópica do desenvolvimento do QIM. O líder do painel é o responsável por recrutar avaliadores inexperientes, que nunca participaram de análises sensoriais (a). Estes avaliadores são então apresentados a análise sensorial (b) e, em seguida, um grupo menor é selecionado para compor o painel final (c). O painel selecionado continua com o treinamento, que corresponde ao primeiro passo do QIM (d). Durante o desenvolvimento do QIM, os dados de imagem obtidos durante o armazenamento e o protocolo final podem ser posteriormente utilizados por avaliadores não treinados para executar os métodos WA e CATA, respectivamente. Além disso, o trabalho dos avaliadores selecionados é monitorado pelo líder do painel (e) e, ao final do processo, eles podem se tornar avaliadores sensoriais especializados (f)



Fonte: Próprio autor.

novas metodologias sensoriais descritivas foram aplicadas no sentido de superar a necessidade de um grupo treinado de painelistas, como os métodos *Check All That Apply* (CATA) e Associação de Palavras (WA).

3.1.3.2 Métodos sensoriais relacionados ao QIM

O CATA é descrito como uma metodologia fácil e rápida, na qual os avaliadores não treinados selecionam de uma lista todos os descritores que consideram presentes no produto de acordo com sua percepção (DOOLEY; LEE; MEULLENET, 2010). O WA é um método baseado na apresentação de estímulos a avaliadores não treinados, que devem escrever a primeira associação que vem à mente (SZCZESNIAK; SKINNER, 1973). Conforme descrito na Figura 2, essas duas metodologias podem ser usadas combinadas com o QIM. As mudanças relatadas pelos avaliadores treinados através do desenvolvimento de QI e os dados de imagem sobre frescor de peixe durante o período de armazenamento podem ser usadas para construir a lista CATA e os estímulos visuais para a WA, respectivamente. Recentemente, Godoy et al. (2019) empregaram QIM, CATA e WA para avaliar a qualidade de tainha cinza (*Mugil cephalus*) durante o armazenamento. Os resultados indicaram que tanto o CATA quanto a WA são úteis para avaliar a qualidade do peixe, obtendo respostas semelhantes ao QIM. Como o CATA usa o mesmo protocolo obtido no QIM, resultados semelhantes significam que, usando um protocolo de QI bem elaborado, avaliadores não treinados podem alcançar os mesmos resultados para a qualidade de peixe obtidos por um grupo de avaliadores treinados. Da mesma forma, uma boa correlação com WA pode indicar que, através de estímulos visuais, avaliadores não treinados podem alcançar os mesmos resultados que os avaliadores treinados. No entanto, como o QIM depende de um processo extenso, incluindo recrutamento, familiarização, seleção e treinamento dos avaliadores, esses resultados são contraditórios, tornando necessário validar os resultados do QIM. Portanto, para avaliar a influência das diferentes análises conduzidas pelos avaliadores, confirmar os resultados do QIM e correlacionar a rejeição sensorial com validade comercial prevista, devem ser empregados modelos estatísticos eficazes, principalmente análises multivariadas, com foco na descrição do desempenho do QIM e na compreensão dos resultados. Além disso, alguns autores também aplicaram diversas análises químicas e

bacteriológicas para validar seus resultados (AHMADI SHALHE; KHODANAZARY; HOSSEINI, 2018; ALASALVAR et al., 2002; BOGDANOVIĆ et al., 2012; BORGES et al., 2013, 2014; KHODANAZARY, 2019; LI et al., 2017).

3.1.4 Modelos estatísticos para avaliar a performance do QIM

Um dos princípios do QIM é prever uma relação linear entre a qualidade das espécies de peixes avaliadas e o tempo de armazenamento, compondo a curva de calibração do QIM, que permite estimar o prazo de validade restante das amostras (MARTINS DOTTIR et al., 2001). No entanto, como observado acima, a experiência dos avaliadores e a amostragem são fatores que originam incertezas. Além disso, alguns parâmetros avaliados pelo painel durante o armazenamento parecem estabelecer uma maior influência no escore final do que outros. Para determinar a incerteza associada à predição do QIM e os atributos sensoriais mais importantes para o seu desenvolvimento é aplicada a regressão de mínimos quadrados parciais (PLS) (Quadro 3). A PLS, como descrita por Wold; Sjöström; Eriksson (2001), é uma regressão linear múltipla que pode analisar dados com variáveis X fortemente colineares e numerosas e modelar simultaneamente várias variáveis de resposta (Y).

A maioria dos estudos que utilizam a regressão PLS para determinar a incerteza de predição do QIM (Quadro 3) apresentaram alto coeficiente de determinação ($> 0,79$), mostrando que as pontuações atribuídas pelos avaliadores durante os dias de armazenamento explicam significativamente a predição proposta pelo QIM. Além disso, as variáveis com importância para a projeção (VIP) foram determinadas em alguns desses estudos. O odor das brânquias, manchas na pupila, odor abdominal, cor dos olhos, cor da íris, cor das brânquias, formato dos olhos, cor abdominal, pupila, transparência dos olhos e aparência da superfície parecem ser as variáveis mais importantes para descrever o frescor dos peixes durante o armazenamento (ARAÚJO et al., 2017; BORGES et al., 2013, 2014; LANZARIN et al., 2016; RITTER et al., 2016; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al., 2020). O erro padrão, diferentemente do R^2 , apresenta ampla variação, de 0,34 a 6,25. Esses resultados apontam que, contraditoriamente, apesar de um R^2 alto, algumas regressões tendem a apresentar erros de predição de validade comercial de quase 1 semana (AHMADI SHALHE et al., 2018).

Quadro 3: Descritores estatísticos multivariados do QIM

Espécie	R²	Erro padrão (dias)	VIP	Referências
Arenque (<i>Clupea harengus</i>)	0,8	1,91	-	MAI et al. (2009)
Sépie (<i>Sepia officinalis</i>)	0,98	0,98	-	SYKES et al. (2009)
Bogue (<i>Boops boops</i> , L.)	0,98	0,95	-	BOGDANOVIC et al. (2012)
Pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>)	0,95	1,18	Odor das guelras Ponto na pupila Odor abdominal Cor dos olhos	BORGES et al. (2013)
Tambacu (<i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus mesopotamicus</i>)	0,96	1,05	Cor da íris Cor das guelras Forma dos olhos Ponto na pupila	BORGES et al. (2014)
Pintado Amazônico (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> x <i>Leiarius marmoratus</i>)	0,84	1,01	Odor abdominal Odor das guelras Cor abdominal Pupila	LANZARIN et al. (2016)
Tambatinga (<i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus brachypomum</i>)	0,79	1,19	Pupila Odor abdominal Cor abdominal Cor das guelras	RITTER et al. (2016)
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	0,98	2,94	Superfície Cor das guelras Odor abdominal	ARAÚJO et al. (2017)
Carapeba (<i>Eucinostomus gula</i>)	0,95	1,75	-	GONÇALVES; SOARES (2017)

Continua

Conclusão

Espécie	R²	Erro padrão (dias)	VIP	Referências
Cobia (<i>Rachycentron canadum</i>)	0,99	0,5	Aparência da pele Córnea Muco nas guelras Elasticidade abdominal	FOGAÇA et al. (2017)
Dourada (<i>Rhabdosargus sarba</i>)	0,95	6,25	-	AHMADI SHALHE et al. (2018)
<i>Seriola dumerili</i>	0,99	0,54	Odor Odor das guelras Cor dos olhos Forma dos olhos	FREITAS et al. (2019)
<i>Chelon subviridis</i>	0,96	4,8	-	GHANI KUVEI et al. (2019)
Camarão (<i>Metapenaeus affinis</i>)	0,96	1,15	-	KHODANAZARY (2019)
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	0,99	0,43	Odor das guelras Brilho da pele Firmeza da carne Pupila	VÁZQUEZ- SÁNCHEZ et al. (2020)

Fonte: Próprio autor.

3.1.5 Validação Química do QIM

Após o abate, uma série de alterações bioquímicas ocorre nos peixes (WU; PU; SUN, 2019), incluindo (i) a via de decomposição do ATP, imediatamente após o abate; (ii) a produção de derivados de proteínas indesejáveis; e (iii) a degradação do conteúdo lipídico (oxidação lipídica). Três das análises químicas mais comuns usadas para determinar a qualidade do peixe durante o armazenamento, como valor *K*, bases voláteis totais nitrogenadas (TVB-N) e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) têm sido empregadas pelos autores como critérios para validar o QIM e a rejeição sensorial.

3.1.5.1 Valor *K*

O valor *K* é descrito como um índice químico de qualidade e frescor para peixes determinado pela degradação de nucleotídeos (CHENG et al., 2015b). Esse valor é obtido pela quantificação do ATP (adenosina trifosfato) e de sua série de produtos de degradação, incluindo adenosina difosfato (ADP), adenosina monofosfato (AMP), inosina monofosfato (IMP), inosina (HxR) e hipoxantina (Hx) (RAHMAN et al., 2016). Desta forma, HxR e Hx estão correlacionados com a perda do frescor do peixe, e seu acúmulo indica o início da autólise e da deterioração bacteriana (CANIZALES-RODRÍGUEZ et al., 2015). O cálculo deste índice foi descrito pela primeira vez por Saito, Arai, Matsuyoshi (1959), como a razão entre HxR e Hx (produtos de decomposição de ATP não fosforilados) à soma de ATP e produtos de degradação relacionados (ADP, AMP, IMP, HxR e Hx) (RAHMAN et al., 2016). Alasalvar et al. (2002) determinaram o valor *K* e o QIM para robalos de criação e de vida livre (*Dicentrarchus labrax*) armazenados a 4 °C por 22 dias. O valor *K* no momento da rejeição sensorial (décimo oitavo dia de armazenamento) foi de cerca de 50% para os peixes de criação e 70% para os peixes de vida livre. Portanto, o QIM parece estar subestimando o valor *K* para os robalos de criação, uma vez que a faixa de rejeição do valor *K* para produtos aquáticos é maior que 60% (CAI et al., 2015). No entanto, os diferentes valores *K* obtidos entre os robalos de criação e de vida livre podem ser justificados pelas diferentes condições de captura, manuseio e transporte, fatores que alteram a taxa de degradação de nucleotídeos (VÁZQUEZ-ORTIZ et al., 1997). Recentemente, Li et al. (2017) desenvolveram um QIM para pregado (*Scophthalmus maximus*) armazenado a 4 °C por 18 dias. As amostras de pregado foram rejeitadas pelos participantes do painel no décimo quinto dia de armazenamento. No entanto, o valor *K* atingiu 60% no décimo dia de armazenamento. Portanto, os resultados do QIM podem também superestimar a validade comercial do peixe. Esses achados demonstram que a avaliação proposta pelo painel sensorial não corresponde à faixa de rejeição do valor *K*.

3.1.5.2 Bases voláteis totais nitrogenadas

Bases voláteis totais nitrogenadas (TVB-N) é um termo usado para descrever alguns produtos indesejáveis gerados durante a degradação das proteínas de peixes, mais especificamente originados do óxido de trimetilamina (OTMA), como trimetilamina (TMA), dimetilamina (DMA) e amônia (NH₃) (CHENG et al., 2015a). Os limites superiores para TVB-N estão em torno de 25-35 mg N/100 g (EU, 2005). Gonçalves; De Lima; De Paula (2015) realizaram o QIM para lagosta (*Panulirus argus*) armazenada em 1 °C por 18 dias. Os valores de TVB-N variaram de 5,23 a 20,31 mg N/100 g, e as amostras de lagosta foram rejeitadas no décimo dia de armazenamento, quando o valor de TVB-N obtido foi de 15,5 mg N/100 g. Assim, o QIM poderia subestimar o prazo de validade da lagosta, uma vez que o valor TVB-N estava abaixo do limite aceitável no décimo dia. Por outro lado, outro estudo recente sobre o monitoramento da vida útil dos crustáceos mostrou que os níveis de TVB-N podem aumentar para além de 25 mg N/100 g antes de 10 dias de armazenamento. Como descrito por Khodanazary (2019) as TVB-N apresentaram níveis acima de 34 mg N/100 g no nono dia de armazenamento para camarão (*Metapenaeus affinis*), sendo este índice correlacionado com os resultados do QIM, uma vez que o painel sensorial rejeitou as amostras no mesmo dia. Além disso, a correlação de QIM com os valores de TVB-N torna-se problemática ao se considerar espécies de água doce, devido à ausência de OTMA *in vivo*. Os níveis de aceitação para espécies de água doce são mais baixos em certos locais, como a China, onde o conteúdo de TVB-N não pode exceder 15 mg N/100 g (CHENG et al., 2015b). Esse conhecimento pode justificar os resultados de QIM avaliados por alguns autores, que determinaram níveis de TVB-N em torno de 10-18 mg N/100 g na rejeição sensorial (ARAÚJO et al., 2017; BORGES et al., 2013, 2014; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al., 2020).

3.1.5.3 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

As substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) são um índice geralmente usado para determinar produtos oxidativos secundários e, assim, interpretar o grau de oxidação lipídica (CHENG et al., 2015a). Esse parâmetro está fortemente relacionado à degradação dos peixes devido aos altos níveis de ácidos

graxos insaturados nessa matriz (RODRIGUES et al., 2017). Seu aumento durante o armazenamento está associado à ação da enzima lipoxigenase e outros agentes pró-oxidantes (MONTEIRO et al., 2018). O limite aceitável para carne é de 2 mg MDA/kg. No entanto, para peixes frescos, os limites do malonaldeído (MDA) (indicador de dano oxidativo) permanecem não estabelecidos (LANZARIN et al., 2016). Bogdanovic et al. (2012) descreveram o QIM para bogue (*Boops boops*, L.) e sugeriram limites de 5-8 mg MDA/kg para TBARS. Esses resultados são suportados pelos descritos por Sykes et al. (2009). No momento da rejeição sensorial (décimo dia de armazenamento), as TBARS aumentaram até cerca de 5 mg MDA/kg. No entanto, como descrito por Sykes et al. (2009), esse índice não é um método consistente para avaliar o frescor de lula, uma vez que a composição do manto cefalópode possui uma pequena porcentagem de lipídios. Além disso, estudos recentes mostraram que, no dia da rejeição sensorial, os valores de TBARS estão abaixo de 2 mg MDA/kg (LANZARIN et al., 2016; ARAÚJO et al., 2017; AHMADI SHALHE et al., 2018; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al., 2020). Portanto, parece não haver consentimento sobre os limites aceitáveis das TBARS e a boa correlação entre esse índice e avaliação sensorial.

3.1.6 Validação Bacteriológica do QIM

Para validar os resultados obtidos pelo QIM, alguns autores aplicaram o crescimento microbiano como parâmetro (Quadro 4). O crescimento microbiano pode se manifestar como deterioração dos alimentos, levando a alterações sensoriais na matriz (GRAM; DALGAARD, 2002). Os organismos específicos de deterioração são diferentes de acordo com o produto avaliado, mas são geralmente descritos como bactérias gram-negativas, não fermentadoras e psicrotróficas (GRAM; HUSS, 1996). No entanto, não há consenso sobre quais bactérias devem ser monitoradas para avaliação da qualidade dos peixes (FOGARTY et al., 2019). Por outro lado, sugere-se que bactérias específicas de deterioração, como *Pseudomonas* spp., bactérias ácido-láticas (LAB), bactérias produtoras de sulfeto de hidrogênio (HSPB), *Brochothrix termosphaeta* e *Photobacterium* spp. são os principais organismos de deterioração em peixes refrigerados (FOGARTY et al., 2019). O crescimento desses microrganismos está relacionado à sua capacidade de produzir atividade metabólica de deterioração, além de odores amoniacais e de enxofre (*off-odors*), aumentando os

pontos de demérito dos peixes avaliados pelo QIM (GRAM; DALGAARD, 2002; SANT'ANA; SOARES; VAZ-PIRES, 2011).

Ahmadi Shalhe, Khodanazary, Hosseini (2018) validaram o QIM de dourada (*Rhabdosargus sarba*) armazenada a 4 °C, monitorando as mudanças populacionais nas bactérias mesofílicas, psicotróficas e Enterobacteriaceae. Os participantes do painel rejeitaram as amostras de peixe no nono dia de armazenamento, de acordo com as características sensoriais. No mesmo dia, as populações de Enterobacteriaceae estavam acima de 6 log UFC/g e as populações mesofílicas e psicotróficas estavam acima de 7 log UFC/g, ambas superiores ao limite máximo recomendado (ICMSF, 1986). Tais resultados foram corroborados pela validação realizada por Araújo et al. (2017). Segundo os autores, a rejeição das amostras de tambaqui (*Colossoma macropomum*) armazenadas a 0 °C ocorreu no vigésimo-segundo dia de armazenamento, estando bem correlacionada com o crescimento de bactérias mesofílicas, que atingiram seu limite máximo permitido no mesmo dia (ICMSF, 2005). Por outro lado, Vázquez-Sánchez et al. (2020) relataram que as populações mesofílicas e psicotróficas em tilápias (*Oreochromis niloticus*) armazenadas a 1 °C nem chegaram a 4 log UFC/g no ponto de rejeição sensorial (décimo terceiro dia). Essas divergências indicam que o QIM pode subestimar a análise bacteriológica ou que os grupos bacterianos anteriormente relacionados não são os melhores indicadores de deterioração em peixes. Além disso, a população de HSPB foi medida por Cyprian et al. (2014), que estabeleceu o QIM de filés de tilápia armazenados a 1 °C, sugerindo que 6 log UFC/g é o limite máximo aceitável para essas bactérias no ponto de rejeição. No entanto, conforme relatado por Fogarty et al. (2019), *Pseudomonas* spp. é um dos melhores indicadores de deterioração em peixe.

A contagem de *Pseudomonas* spp. em dourada (*Pagellus bogaraveo*) foi realizada por Sant'Ana et al. (2011). Após o quarto dia de armazenamento, a população excedeu 4 log UFC/cm², atingindo 7 log UFC/cm² no décimo segundo dia, o que indicaria a rejeição, uma vez que o limite máximo aceitável para *Pseudomonas* spp. é de 7 log UFC/g (KOUTSOUMANIS, 2001). No entanto, de acordo com os resultados do QIM, esse peixe pode ser consumido em até 11 dias de armazenamento. (SANT'ANA et al., 2011).

Quadro 4: Contagem bacteriana realizada para validação do esquema QIM

Espécie	Grupo bacteriano	Contagem quando rejeitado	Referências
Blackspot Seabream (<i>Pagellus bogaraveo</i>)	TVC	> 7 log CFU/cm ²	SANTANA; SOARES; VAZ-PIRES (2011)
	HSPB	> 6 log CFU/cm ²	
	<i>Pseudomonas</i> spp.	> 7 log CFU/cm ²	
Pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>)	Mesófilos	> 7 log CFU/g	BORGES et al. (2013)
	Psicrotróficos	> 8 log CFU/g	
Tambacu (<i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus mesopotamicus</i>)	Mesófilos	> 7 log CFU/g	BORGES et al. (2014)
	Psicrotróficos	> 7 log CFU/g	
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	TVC	7 log CFU/g	CYPRIAN et al. (2014b)
	HSPB	6 log CFU/g	
Lagosta (<i>Panulirus argus</i>)	Mesófilos	> 4 log CFU/g	GONÇALVES; DE LIMA; DE PAULA, (2015)
	Psicrotróficos	> 4 log CFU/g	
Pintado Amazônico (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> x <i>Leiarius marmoratus</i>)	Mesófilos	6 log CFU/g	LANZARIN et al. (2016)
	Psicrotróficos	> 7 log CFU/g	
Tambatinga (<i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus brachypomum</i>)	Mesófilos	> 7 log CFU/g	RITTER et al. (2016)
	Psicrotróficos	> 9 log CFU/g	

Continua

Conclusão

Espécie	Grupo bacteriano	Contagem quando rejeitado	Referências
Bacalhau (<i>Gadus morhua</i>)	TVC	> 7 log CFU/g	ROIHA et al. (2017)
	HSPB	> 6 log CFU/g	
Carapeba (<i>Eucinostomus gula</i>)	Mesófilos	> 3 log CFU/g	GONÇALVES; SOARES (2017)
	Psicrotróficos	> 4 log CFU/g	
Cobia (<i>Rachycentron canadum</i>)	Mesófilos	> 3 log CFU/g	FOGAÇA et al. (2017)
	Psicrotróficos	> 3 log CFU/g	
	<i>Enterobacteriaceae</i>	> 3 log CFU/g	
	HSPB	> 2 log CFU/g	
	<i>Pseudomonas spp.</i>	> 5 log CFU/g	
Dourada (<i>Rhabdosargus sarba</i>)	Mesófilos	> 7 log CFU/g	AHMADI SHALHE; KHODANAZARY; HOSSEINI (2018)
	Psicrotróficos	> 7 log CFU/g	
	<i>Enterobacteriaceae</i>	> 6 log CFU/g	
<i>Seriola dumerili</i>	TVC	> 7 log CFU/g	FREITAS; VAZ-PIRES; CÂMARA (2019)
	HSPB	> 7 log CFU/g	
<i>Chelon subviridis</i>	Mesófilos	7 log CFU/g	GHANI KUVEI; KHODANAZARY; ZAMANI (2019)
	Psicrotróficos	7 log CFU/g	
Camarão (<i>Metapenaeus affinis</i>)	Mesófilos	> 7 log CFU/g	KHODANAZARY (2019)
	Psicrotróficos	> 6 log CFU/g	
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Mesófilos	> 3 log CFU/g	VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al. (2020)

Fonte: Próprio autor.

HSPB: bactérias produtoras de sulfeto de hidrogênio; TVC: contagem total de viáveis.

Esses resultados demonstram que a análise sensorial do QIM subestima a análise bacteriológica, levando ao descarte de peixes aptos para consumo. Por outro lado, Khodanazary (2019) avaliou o frescor de camarão (*Metapenaeus affinis*). Os autores relataram que o QIM indica que validade comercial para armazenamento era de 9 dias, e que a contagem mesofílica total de *Metapenaeus affinis* atingiu 7 log UFC/g antes do nono dia, superando o máximo recomendado (KHODANAZARY, 2019; ICMSF, 1986). Desta maneira, o QI pode superestimar a real vida comercial bacteriológica dos peixes, levando ao consumo de alimentos impróprios. Além disso, esses resultados mostram a necessidade de novas metodologias para avaliação da qualidade dos peixes que possam mimetizar os sentidos humanos sem serem sujeitas a possíveis erros sensoriais.

3.1.7 Índice de Qualidade Artificial (AQI)

O uso de instrumentos artificiais para avaliação de cor e odor permite a construção de um Índice de Qualidade Artificial (AQI), uma prática menos destrutiva, de baixo custo e de fácil execução (MACAGNANO et al., 2005). Apesar do desenvolvimento de vários estudos sobre o AQI, os trabalhos publicados sobre o uso desses instrumentos artificiais para avaliação do frescor de peixe ainda são limitados. Cheng et al. (2015a) publicaram uma revisão bibliográfica discutindo uma variedade de abordagens para monitorar a qualidade de peixe, incluindo instrumentos artificiais. Recentemente, outro estudo classificou os instrumentos AQI como Tecnologias de Sensores Biônicos (SBT), capazes de superar a subjetividade e a baixa repetitividade dos métodos sensoriais (WU; PU; SUN, 2019). A aplicação das SBT é baseada nos sentidos artificiais do olfato, paladar e visão e compreende (i) narizes eletrônicos; (ii) línguas eletrônicas; (iii) sistemas de visão computacional; e (iv) matrizes de sensores colorimétricos (HUANG; XIN; ZHAO, 2011; JIANG et al., 2018a; LOUTFI et al., 2015; PERIS; ESCUDER-GILABERT, 2009; SHI et al., 2018; WU; PU; SUN, 2019; ZAUUU et al., 2019).

3.1.7.1 Nariz eletrônico

A aplicação prática do nariz humano como instrumento de avaliação de qualidade é severamente limitada pelo fato de que nosso olfato se cansa facilmente. (DI NATALE et al., 1998). Além disso, deve-se notar que a comunicação de experiências olfativas, ao contrário das relacionadas à visão ou à audição, é bastante vaga (DI NATALE et al., 1998; LOUTFI et al., 2015). Isso significa que, para desenvolver o QI, o uso do olfato humano pode gerar erros, uma vez que a análise sensorial por um painel treinado é um processo oneroso, requer períodos relativamente longos e a resposta humana aos odores é subjetiva (PERIS; ESCUDER-GILABERT, 2009). Portanto, a necessidade de uma detecção rápida, não destrutiva, sensível, econômica e de fácil execução tornaram o uso de narizes eletrônicos mais comuns (HAUGEN et al., 2006; MACAGNANO et al., 2005; MAI et al., 2009; PERIS; ESCUDER-GILABERT, 2009). O nariz eletrônico (*e-nose*) é um instrumento que compreende uma matriz de sensores eletroquímicos heterogêneos de gases com especificidade parcial e um sistema de reconhecimento de padrões (PERSAUD; DODD, 1982). O nariz eletrônico fornece uma representação quantitativa ou a assinatura de um gás. Os sensores de gás podem ser divididos em óxido de metal, eletroquímico, polímero condutor e fotoionização (WU; PU; SUN, 2019).

Estudos sobre o uso de narizes eletrônicos na determinação da qualidade de peixes incluem seu uso como sensor para a detecção de biomarcadores de degradação, como compostos voláteis (Quadro 5) (MACAGNANO et al., 2005; MAI et al., 2009; OLAFSDOTTIR et al., 2004), por apresentar alta sensibilidade a pequenas variações desses compostos (MAI et al., 2009). Além disso, como descrito por Mai et al. (2009), QIM e nariz eletrônico estão bem correlacionados, uma vez que os resultados dos descritores de odor no QI estão intimamente relacionados às respostas (NH_3 , H_2S , SO_2 e CO) do nariz eletrônico. Ademais, Gholam Hosseini et al. (2008) relataram que o nariz eletrônico pode ser empregado para avaliar o frescor de diferentes espécies. No entanto, nos primeiros dias de armazenamento, não é sensível o suficiente para estimar o frescor, pois sua precisão aumenta acima de um certo nível de compostos voláteis (MAI et al., 2009). Guohua et al. (2012) desenvolveram um nariz eletrônico composto por um sensor com 8 semicondutores de óxido de metal para prever a vida útil da carpa (*Ctenopharyngodon idella*). A

intensidade da resposta aumentou com o tempo de armazenamento das amostras, as quais foram divididas em três grupos (fresco, médio e envelhecido). A resposta dos sensores corresponde à influência dos gases voláteis produzidos pelas amostras em suas características elétricas. O sensor 8 (MQ-9, metano, monóxido de carbono) mostrou alta capacidade de resposta aos gases voláteis. No entanto, todos os sensores apresentaram variações voltamétricas em 2,5s. A precisão da predição de qualidade foi de 87,5%. (GUOHUA et al., 2012). Por outro lado, o nariz eletrônico de polímero condutor aplicado por Wilson, Oberle e Oberle (2013) para detectar sabores desagradáveis em bagres (*Ictalurus punctatus*) apresenta uma precisão acima de 90%, devido à matriz de 32 sensores.

Esses resultados indicam que o nariz eletrônico é uma tecnologia promissora para avaliação da qualidade de alimentos, que permite estimar a taxa de degradação, o frescor e detectam deterioração, produzindo resultados semelhantes aos de um painel treinado, sendo rápido, não destrutivo e econômico (GHOLAM HOSSEINI et al., 2008; LOUTFI et al., 2015; MACAGNANO et al., 2005; MAI et al., 2009; WOJNOWSKI et al., 2017).

3.1.7.2 Língua eletrônica

O princípio de aplicação das línguas eletrônicas (*e-tongue*) é o mesmo dos narizes eletrônicos. No entanto, o conjunto de sensores de gás é adaptado a um conjunto de sensores de líquidos. Recentemente, Ghasemi-Varnamkhasti et al. (2018) publicaram uma revisão sobre o uso de línguas eletrônicas para avaliação da deterioração em alimentos e descreveu sua estrutura física, que compreende três componentes fundamentais: um amostrador automático, uma matriz de sensores e ferramentas quimiométricas. Além disso, as línguas eletrônicas mais usadas são baseadas em sensores potenciométricos (potenciométricos, voltamétricos, amperométricos, impedimétricos, condutimétricos) (GHASEMI-VARNAMKHASTI et al., 2018). Gong et al. (2016) combinaram uma língua eletrônica comercial e descrições sensoriais para detectar os principais compostos relacionados ao sabor umami de Yangtze *Coilia ectenes*. O íon sódio (Na^+) apresentou o menor escore quando analisado pela língua eletrônica, e foi o composto mais identificado pelo painel sensorial no teste de omissão (usado para avaliar o impacto de cada substância no

Quadro 5: Aplicação de tecnologias de sensores biônicos na avaliação da qualidade de peixes

Espécie	Sensor biônico	Alvo de detecção	Tipo de sensor	Sensores	Análise estatística	R²	References
Arenque (<i>Clupea harengus</i>)	<i>e-nose</i>	Compostos voláteis	Sensor de gases eletroquímico	4	PLS	-	MAI et al. (2009)
Carpa (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	<i>e-nose</i>	Compostos voláteis	Semicondutores de óxido metálico	8	SNR	0,99	GUOHUA et al. (2012)
<i>Alosa pontica</i>	<i>e-tongue</i>	TVB-N e BAs	Eletrodos banhados em polipirrol	3	PLS	0,95-0,97	APETREI et al. (2013)
Dourada (<i>Sparus aurata</i>)	MVS	Alterações de cor (olhos e guelras)	-	-	ANN	0,96-0,99	DOWLATI et al. (2013)
Bacalhau (<i>Gadus morhua</i>)	<i>e-tongue</i>	TVB-N	Eletrodos metálicos	8	PLS	0,79	RUIZ-RICO et al. (2013)
Peixe-gato (<i>Ictalurus punctatus</i>)	<i>e-nose</i>	<i>Flavor</i>	Polímero de condutina	32	ANN	-	WILSON; OBERLE; OBERLE (2013)
Lula jumbo (<i>Dosidicus gigas</i>)	CSA	Mesófilos, psicrotróficos e HSPB	Corantes	8	PLS	-	ZARAGOZÁ et al. (2015)
Salmão (<i>Salmo salar</i>)	CSA	TVB-N and BAs	Corantes	16	PLS	0,73	MORSY et al. (2016)
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	MVS	Alterações de cor (pupílas e guelras)	-	-	LSD	0,98-0,99	SHI et al. (2018)

Fonte: Próprio autor.

sabor umami) (GONG et al., 2016). Dessa forma, as línguas eletrônicas são uma tecnologia promissora para detectar os principais compostos relacionados ao sabor do peixe, uma vez que parecem estar bem correlacionados com os painéis descritivos.

Apetrei et al. (2013) desenvolveram uma língua eletrônica eletroquímica com base em medidas de voltametria para determinar aminas biogênicas (BAs) de *Alosa pontica* durante o armazenamento a 4 °C (Quadro 5). Um sistema multissensorial composto por eletrodos modificados com polipirrol com diferentes agentes dopantes foi empregado para monitorar a deterioração dos peixes (APETREI et al., 2013). Esses autores relataram que um aumento das correntes de sinal associadas as BAs foi observado enquanto aumentavam os dias de armazenamento. Da mesma forma, Ruiz-Rico et al. (2013) empregaram um sistema com 8 eletrodos metálicos agrupados em 2 línguas eletrônicas voltamétricas. A primeira língua eletrônica era composta por 4 metais nobres (irídio, ródio, platina e ouro) e a segunda por 4 metais não nobres (prata, cobalto, cobre e níquel). O sistema foi capaz de discriminar peixes frescos (dias 0 e 1) e peixes deteriorados (quarto dia), e os modelos estatísticos obtidos com as medições da língua eletrônica puderam prever com sucesso as bactérias mesofílicas (RUIZ-RICO et al., 2013). Portanto, as línguas eletrônicas também demonstram o potencial como método alternativo para estimar a vida comercial de peixes.

3.1.7.3 Sistemas de visão computacional

A cor é um dos parâmetros mais importantes da qualidade dos alimentos e afeta diretamente a intenção de compra do consumidor (DO ROSÁRIO et al., 2017). Por outro lado, o peixe é uma matriz altamente suscetível a alterações de cor devido ao processo de degradação, em que a perda de cor é causada pela formação de metamioglobina (CHAIJAN et al., 2005; SHI et al., 2018). O QI como ferramenta para avaliação de cores é um procedimento caro e que consome tempo (DOWLATI et al., 2012). Além disso, a cor medida por um painel é um resultado subjetivo, difícil de converter em valores numéricos reproduzíveis (HONG et al., 2014). Portanto, outros métodos rápidos e não invasivos foram desenvolvidos para uma avaliação contínua dos peixes, como o sistema de visão computacional (MVS) (DOWLATI et al., 2012; SHI et al., 2018). O MVS é uma tecnologia emergente empregada para reconhecer objetos, extrair e analisar informações quantitativas de imagens digitais (HONG et al.,

2014). As imagens são adquiridas por um sistema composto por câmera, dispositivo de iluminação, captador de quadros e computador, e processadas por pré-tratamento, segmentação e extração de recursos (HONG et al., 2014). Os resultados para a cor obtida são expressos como modelos de regressão múltipla, com altos coeficientes de correlação, de forma que o MVS possa representar uma ferramenta alternativa aos olhos humanos. (SHI et al., 2018).

SHI et al. (2018) desenvolveram um MVS para prever o frescor da tilápia. O MVS utilizou as alterações de cor apresentadas pelas pupilas e as brânquias dos peixes e as comparou com os indicadores bioquímicos (TVB-N e TBARS) e bacteriológicos (contagem viável total) (SHI et al., 2018). Esses autores mostraram que, utilizando o MVS, é possível prever os valores desses indicadores de frescor em tilápias armazenadas a 4 °C (Quadro 5). Esses dados são suportados por Dowlati et al. (2012), que utilizaram um MVS para avaliar o frescor do dourado (*Sparus aurata*) por imagens de brânquias e pupilas. As mudanças de cor apresentadas pelas brânquias refletem melhor a qualidade e o frescor do peixe do que as mudanças nos olhos, pois o R^2 para esse fator está mais próximo de 1 (Quadro 5) (DOWLATI et al., 2012). Além disso, o uso do MVS parece obter melhores resultados de cor do que o uso de colorímetros, uma vez que a cor obtida é muito mais próxima da cor real do peixe, com diferenças de cores totais (ΔE) distintas entre os dois dispositivos (YAGIZ et al., 2009). Por outro lado, diferentemente dos dois métodos anteriores, não há estudos sobre o uso de MVS e análise sensorial aplicados num mesmo estudo para expressar o frescor de peixe durante o armazenamento.

3.1.7.4 Matriz de sensores colorimétricos

A matriz de sensores colorimétricos (CSA), também chamada de sensor optoeletrônico, é uma tecnologia de visualização olfativa baseada em alterações de cores devido a ligações químicas entre agentes cromogênicos e gases por meio de metais, ligações de hidrogênio ou ligações covalentes (WU; PU; SUN, 2019). Zaragoza et al. (2015) utilizaram uma CSA para avaliar o frescor da lula-jumbo (*Dosidicus gigas*) armazenada a 4 °C. A CSA foi composta por 6 materiais sensoriais obtidos pela mistura de uma suspensão de óxido de alumínio ou gel de sílica com o corante correspondente e um solvente apropriado. Todos os sensores mudaram de

cor e intensidade durante o armazenamento e foram realizados modelos estatísticos de mínimos quadrados parciais para validação. Os dados cromogênicos predizeram com sucesso concentrações de bactérias mesofílicas, psicotróficas e HSPB (ZARAGOZÁ et al., 2015).

Morsy et al. (2016) monitoraram o frescor de salmão do Atlântico (*Salmo salar*) usando um sensor colorimétrico composto por 16 substâncias sensíveis a compostos deteriorantes (trimetilamina, dimetilamina, cadaverina e putrescina). A deterioração dos peixes foi avaliada por TVC durante nove dias e as alterações de cor obtidas pela CSA foram bem correlacionadas com o crescimento microbiano (MORSY et al., 2016). Recentemente, Zhong et al. (2018) propuseram uma CSA composta de nanopartículas de ouro, óxido de grafeno, silício de hidrogel e matrizes sensíveis ao pH para detectar oito diferentes aminas biogênicas. Além disso, um sensor colorimétrico copolímero de poli (orto-fenilenodiamina-co-anilina) foi desenvolvido por Domínguez-Aragón; Olmedo-Martínez; Zaragoza-Contreras (2018) para avaliar o frescor dos filés de tilápia armazenados a 10 °C. A avaliação realizada por esses autores consistiu na detecção de alterações de cor no copolímero devido às variações de pH produzidas pelas TVB-N geradas após a fase inicial de frescor. Além disso, a análise bacteriológica mostrou que a contagem de *Pseudomonas* spp. atingiu o limite máximo em dois dias, semelhante aos níveis máximos de TVB-N (perto de 25mg/100g) detectados pela CSA (DOMÍNGUEZ-ARAGÓN; OLMEDO-MARTÍNEZ; ZARAGOZA-CONTRERAS, 2018). Os resultados obtidos pela aplicação da CSA demonstram que esse sensor biônico pode ser aplicado para avaliar a qualidade do peixe fresco.

3.1.7.5 Desafios para aplicação de AQI

As SBT, embora rápidas e objetivas, refletem mais o estado de deterioração do que o estado de frescor, pois detectam alterações químicas e microbiológicas durante os estágios finais do armazenamento (CLÉACH et al., 2019). Além disso, essas novas tecnologias ainda possuem limitações estruturais (físicas) e metodológicas (químicas) que tornam seu uso desafiador. A sensibilidade dos sensores dos narizes eletrônicos e línguas eletrônicas é altamente suscetível a condições ambientais (por exemplo, oxidação), resultando em um processo de envelhecimento descrito como *sensor drift*,

responsável por reduzir sua sensibilidade (HOLMIN et al., 2001; ZAUUU et al., 2019). Nas medições do nariz eletrônico, em particular, a velocidade com que os compostos voláteis são levados da amostra para a câmara do sensor eletrônico do nariz (*headspace generation time*) deve ser considerada para estabelecer seu método de aplicação, pois isso pode influenciar a intensidade do sinal (GONZÁLEZ-MARTÍN et al., 2000). Desta forma, o desenvolvimento de um dispositivo capaz de superar as influências do fluxo de ar e modular a temperatura para manter um ambiente estável pode ser uma alternativa para melhorar as respostas do nariz eletrônico (LI et al., 2015). Além disso, como o dispositivo de língua eletrônica apenas avalia líquidos, amostras em estado sólido, como peixes e subprodutos de peixes, exigem transformações antes da avaliação instrumental. Portanto, devem ser adotados protocolos onde há um mínimo de alterações bioquímicas, como extração e microfiltração (GARCÍA et al., 2017; HAN et al., 2014). No entanto, não há consentimento sobre qual tipo de método de extração apresenta os resultados mais representativos (ZAUUU et al., 2019). Além disso, o uso do MVS para avaliar a qualidade do peixe fresco também tem suas limitações, uma vez que para a captura das imagens das brânquias, Shi et al. (2018) precisaram removê-las das amostras, tornando o método demorado e destrutivo. Por fim, as respostas dos sinais da CSA atingem um platô antes do décimo dia de armazenamento, sugerindo uma saturação precoce do sensor (MORSY et al., 2016). Assim, além do QIM, os métodos instrumentais emergentes descritos anteriormente também apresentam suas fraquezas. Portanto, tecnologias alternativas, como abordagens moleculares e monitoramento da atividade mitocondrial vêm sendo desenvolvidas (CLÉACH et al., 2019; COSTA et al., 2019).

3.1.7.6 Estado da arte dos métodos instrumentais para monitoramento da qualidade de peixe

Li et al. (2017) aplicaram QIM associado a abordagens proteômicas para avaliar a qualidade de pregado (*Scophthalmus maximus*). Os resultados do QIM mostraram que o pregado armazenado a 4 °C não estaria apto para consumo no décimo quinto dia de armazenamento. Na análise proteômica, sete proteínas de interesse foram excisadas por eletroforese em gel bidimensional (2-DE), digeridas com tripsina e

identificadas pelo espectrômetro de massa MALDI-TOF-TOF (LI et al., 2017). As alterações nessas proteínas musculares foram significativamente correlacionadas com os resultados do QIM, e a actina foi a proteína que apresentou a maior variação de intensidade durante o armazenamento. Estes resultados indicam que a actina pode ser aplicada como um novo indicador precoce do frescor de peixe (COSTA et al., 2019). No entanto, esse método pode ser considerado destrutivo e de alto custo, uma vez que o músculo do pregado é moído em nitrogênio líquido e depende de equipamentos robustos (LI et al., 2017).

Uma metodologia prática para o uso em campo representa outra dificuldade para a determinação da qualidade de peixe fresco, e os métodos atualmente empregados apresentam demanda laboratorial. Hasanah et al. (2019) empregaram um sensor óptico de pH baseado na imobilização do cromoionóforo por uma membrana de pectina para monitoramento do frescor de peixe a 4 °C. Durante o armazenamento, o pH das amostras diminuiu nos primeiros dias devido à degradação do glicogênio e à formação de ácido láctico (FOGARTY et al., 2019). A partir do sétimo dia, o pH aumentou para 8, devido à atividade enzimática bacteriana, resultando em condições de alcalinidade (FOGARTY et al., 2019). No entanto, como os métodos sensoriais e instrumentais, os resultados refletem o estado de deterioração e não o frescor. Além disso, o microbioma dos peixes é influenciado pelo nível trófico dos peixes, o que pode levar a variações no pH, impedindo seu uso como método padrão (LIU et al., 2016).

Cléach et al. (2019) avaliaram as alterações *post-mortem* na estrutura e função mitocondrial para determinar frescor do peixe. As mitocôndrias desempenham um papel fundamental nos mecanismos que envolvem a morte celular, como necrose e apoptose (PARSONS; GREEN, 2010). As mitocôndrias de dourada (*Sparus aurata*) armazenadas a 4 °C foram isoladas e analisadas quanto ao consumo de oxigênio e potencial de membrana (CLÉACH et al., 2019). A estrutura mitocondrial foi alterada durante o armazenamento, devido à redução da atividade respiratória e do potencial de ruptura da membrana. No entanto, até o quarto dia de armazenamento, a atividade respiratória permaneceu significativa (CLÉACH et al., 2019). Esses resultados indicam que as mitocôndrias podem ser aplicadas como um objetivo para avaliar frescor de peixe (CLÉACH et al., 2019). Por outro lado, as mudanças estruturais e fisiológicas

das mitocôndrias que influenciam a percepção do consumidor permanecem não elucidadas.

3.2 Delineamento experimental da Análise de Perfil de Textura

3.2.1 Desenho Experimental

Um delineamento composto central rotacional (DCCR) foi utilizado, em um experimento 2^3 (Quadro 6), composto por oito pontos fatoriais e seis pontos axiais. Foram realizadas cinco repetições no ponto central para avaliar o erro experimental e a falta de ajuste do modelo. Um total de dezenove tratamentos (Quadro 7) foram realizados de forma aleatória para avaliar os efeitos da taxa de compressão, intervalo entre ciclos e velocidade de teste na TPA de filés de tilápia do Nilo. Os níveis central (0) e intermediário (-1 e +1) foram determinados de acordo com os valores mais frequentemente encontrados na literatura. Foi utilizado o software Statistica 10[®].

Quadro 6: Níveis dos fatores (variáveis independentes) codificados e não codificados

Fatores	Níveis				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
CR	43,2	50	60	70	76,8
HT	0,1	2	5	8	10
TS	0,3	1	2	3	3,7

Fonte: Próprio autor.

Quadro 7: Os 19 tratamentos para análise do perfil de textura. Aplicação de diferentes taxas de compressão, tempo de espera e velocidade de teste em filés de tilápia do Nilo, combinados por meio do DCCR

Tratamentos	CR (%)	HT (s)	TS (mm/s)
1	50	2	1
2	50	2	3
3	50	8	1
4	50	8	3

Continua

Conclusão

Tratamentos	CR (%)	HT (s)	TS (mm/s)
5	70	2	1
6	70	2	3
7	70	8	1
8	70	8	3
9	43,2	5	2
10	76,8	5	2
11	60	0,1	2
12	60	10	2
13	60	5	0,3
14	60	5	3,7
15	60	5	2
16	60	5	2
17	60	5	2
18	60	5	2
19	60	5	2

Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Preparação das amostras

Um total de 114 filés de tilápia do Nilo frescos foram adquiridos em um mercado local de peixe em Niterói, Brasil (latitude 22°56'29,2 "S e longitude 43°03'17,4" O) no dia do abate (dia 0) e transportados para o laboratório em caixas com gelo a 4 °C. Os filés de tilápia foram pesados ($211,3 \pm 31,7$ g), medidos ($18,8 \pm 1,3$ cm de comprimento x $10,4 \pm 0,8$ cm de largura) e divididos aleatoriamente em três grupos (dias 0, 4 e 8) de 38 filés. Em seguida, os filés de tilápia foram embalados em bandejas de poliestireno cobertas com filme de PVC permeável ao oxigênio e armazenados a $4 \pm 0,1$ °C.

3.2.3 Avaliação da textura instrumental

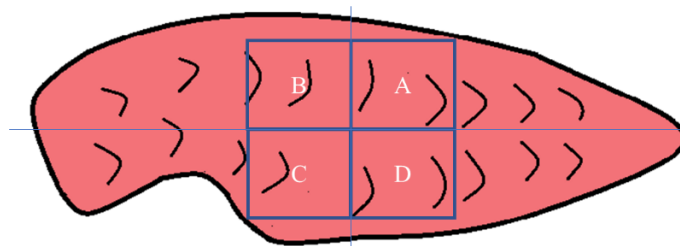
A análise do perfil de textura (TPA) foi medida usando um analisador de textura TA.XTplus (Stable Micro System, Godalming, Reino Unido) equipado com uma célula de carga de 5kg. As configurações de TPA usadas durante o experimento estão representadas no Quadro 8. Todo o experimento foi realizado aplicando uma sonda cilíndrica P/36R. Cada tratamento foi aplicado em dois filés, e cada amostra foi comprimida em quatro pontos diferentes, conforme ilustrado na Figura 3, para se obter um valor médio para cada propriedade. A força de compressão, o intervalo entre ciclos e a velocidade de teste dos tratamentos estão apresentados na Quadro 7.

Quadro 8: Configurações do texturômetro utilizadas para a análise de perfil de textura

Parâmetro	Configuração
Modo	Pressão
Tipo de gatilho	Auto (força)
Força de gatilho (g)	5,0
Carga (kg)	5
Sonda (mm)	36
Temperature ambiente (°C)	20 ± 2

Fonte: Próprio autor.

Figura 3: Divisão de cada filé de tilápia do Nilo em quatro quadrantes (A, B, C e D) ao redor do ponto central para a avaliação da textura. Os resultados de TPA para cada tratamento foram o valor médio obtido pela avaliação dos quatro quadrantes



Fonte: Próprio autor.

Foram mensuradas as seguintes propriedades instrumentais de textura (i) dureza (Newton), força de pico necessária para comprimir as amostras no primeiro

ciclo (CASAS et al., 2006); (ii) Coesividade, ou recuperabilidade estrutural da amostra, medida como a razão da força durante a segunda compressão (A2) para a força durante a primeira compressão (A1) (NISHINARI; FANG; ROSENTHAL, 2019); (iii) Elasticidade, a razão de tempo ou distância entre a segunda compressão (D2) e a primeira compressão (D1); (iv) Resiliência, a razão entre a área de descida da sonda (R2) e a área de subida da sonda (R1) durante o primeiro ciclo de compressão (IACONISI et al., 2017). Elasticidade, coesividade e resiliência são propriedades adimensionais. Todas as propriedades foram mensuradas conforme descrito na Figura 4. O pacote de software Expoente, versão 6.1.9.1 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) foi utilizado para calcular as características.

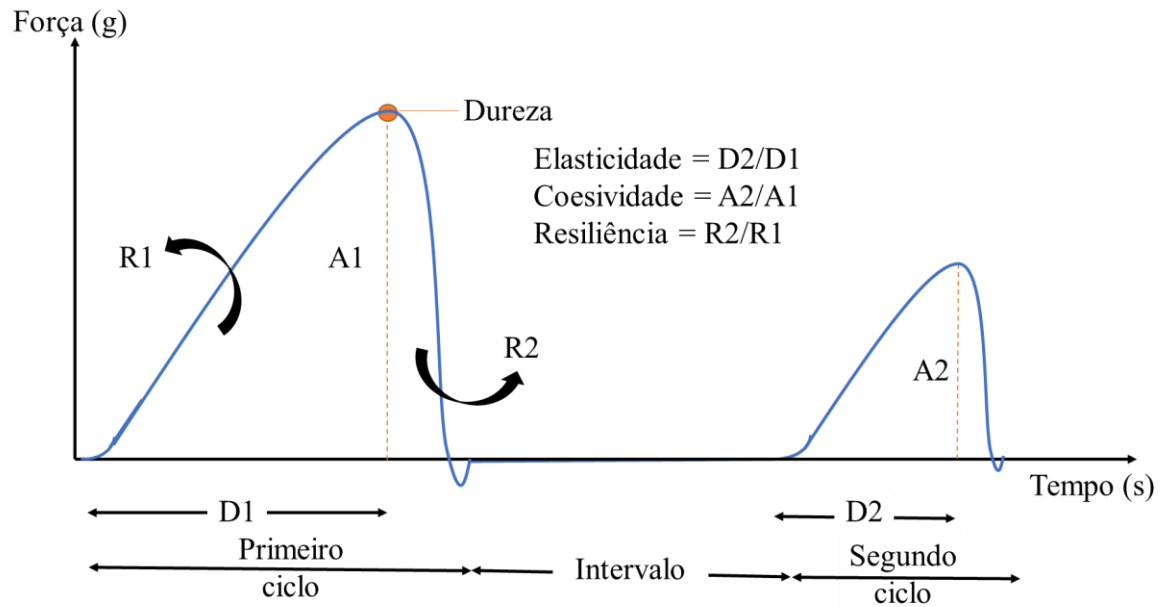
3.2.4 Modelagem matemática

Equações polinomiais de segundo grau (Eq (1)) foram obtidas para descrever os efeitos das variáveis independentes (CR, HT e TS) nas propriedades instrumentais do perfil de textura (dureza, elasticidade, coesividade e resiliência), mantendo apenas os termos significativos ($p < 0,05$) (BAŞ; BOYACI, 2007). A representação gráfica dos modelos obtidos foi avaliada pela metodologia da superfície de resposta. Erro quadrado médio (MSE), falta de ajuste (LOF) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) foram obtidos para verificar a qualidade do ajuste. O teste de Shapiro-Wilk foi usado para validar a normalidade dos dados residuais.

Parâmetro de textura instrumental: $B_0 + \sum_{i=1}^3 B_i X_i + \sum_{i=1}^3 B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j>i}^3 B_{ij} X_i X_j + \varepsilon$ (1)

Onde: X é a variável (CR, HT or TS), B é o coeficiente de regressão e ε é o erro experimental.

Figura 4: Curva instrumental típica da deformação tempo-força da TPA, apresentada por Friedman, Whitney e Szczesniak (1963), com modificações. A1 = área sob a curva na primeira compressão. A2 = área sob a curva na segunda compressão. D1 = tempo ou distância entre o início do primeiro ciclo e o primeiro pico. D2 = força ou distância entre o início do segundo ciclo e o segundo pico. R1 = área sob a curva para a primeira descida da sonda. R2 = área sob a curva para a primeira subida da sonda



Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Textura Instrumental

4.1.1 Performance do modelo e validação matemática

A textura instrumental dos filés de tilápia do Nilo armazenados a 4 °C foi significativamente afetada por todos os fatores ($p < 0,05$), como mostrado no Quadro 9, na qual são exibidas as equações para cada propriedade nos três dias de análise. Todas as equações foram modeladas por análise de regressão múltipla, mantendo apenas os termos significativos ($p < 0,05$). O teste de Shapiro-Wilk, aplicado para verificar a normalidade dos valores residuais, mostrou que os resíduos de todos os modelos estavam normalmente distribuídos (Tabela 1) ($p > 0,05$). (GRANATO; DE ARAÚJO CALADO; JARVIS, 2014).

Os índices de performance usados para avaliar a adequação dos modelos são exibidos na Tabela 1. O R^2_{adj} para cada modelo foi maior que 0,76 e menor que 0,98, indicando um ajuste adequada para a variabilidade dos dados. A LOF não foi significativa para todos os modelos ($p < 0,05$), sugerindo fortemente um bom ajuste, uma vez que esse termo é calculado usando a variação de erro, independentemente das previsões do modelo. (SMITH; ROSE, 1995). Além disso, os modelos apresentaram um MSE baixo, o que representa a variabilidade que permanece no modelo, incluindo a variabilidade natural do experimento e erros sistemáticos. (TE GIFFEL; ZWIETERING, 1999).

4.1.2 Dia 0

Os resultados obtidos neste ponto de armazenamento correspondem às primeiras alterações bioquímicas que ocorrem durante o estágio *post mortem*. Como descrito por Borges et al. (2013), os filés de peixe apresentam boa qualidade microbiológica, devido ao pH em torno de 6 a 6,5, o que dificulta o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes. Consequentemente, os níveis de TVB-N também devem se encontrar abaixo dos limites máximos de qualidade (< 20 mg N/100g) (RAMEZANI; ZAREI; RAMINNEJAD, 2015). No entanto, devido à ausência de

Quadro 9: Modelos polinomiais (Eqs (4) a (15)) para propriedades instrumentais de textura

Propriedades instrumentais	Dia 0
Dureza	$- 72,443 + 2,995 \cdot CR$ (2)
Elasticidade	$0,68 + 0,0006 \cdot CR - 0,0018 \cdot HT^2 + 0,0304 \cdot TS + 0,000238 \cdot CR \cdot HT$ (3)
Coesividade	$1,315 - 0,0272 \cdot CR + 0,000174 \cdot CR^2 + 0,01325 \cdot TS$ (4)
Resiliência	$0,84 - 0,0203 \cdot CR + 0,000134 \cdot CR^2 + 0,000078 \cdot HT^2 + 0,01027 \cdot TS$ (5)
	Dia 4
Dureza	$- 13,896 + 1,205 \cdot CR + 1,887 \cdot HT + 16,545 \cdot TS - 1,39 \cdot HT \cdot TS$ (6)
Elasticidade	$0,5466 + 0,004367 \cdot CR + 0,01758 \cdot TS$ (7)
Coesividade	$1,0861 - 0,01997 \cdot CR + 0,000117 \cdot CR^2 + 0,014168 \cdot TS$ (8)
Resiliência	$0,65831 - 0,015 \cdot CR + 0,000093 \cdot CR^2 + 0,00902 \cdot TS$ (9)
	Dia 8
Dureza	$214,861 - 5,473 \cdot CR + 0,0478 \cdot CR^2 - 1,181 \cdot HT - 26,761 \cdot TS + 0,583 \cdot CR \cdot TS$ (10)
Elasticidade	$- 0,2351 + 0,0285 \cdot CR - 0,000191 \cdot CR^2 + 0,0000177 \cdot HT^2 + 0,216638 \cdot TS - 0,025335 \cdot TS^2$ $- 0,0000413 \cdot CR \cdot HT - 0,00165 \cdot CR \cdot TS$ (11)
Coesividade	$1,20811 - 0,02342 \cdot CR + 0,0001414 \cdot CR^2 + 0,016139 \cdot TS$ (12)
Resiliência	$0,66643 - 0,015376 \cdot CR + 0,000096 \cdot CR^2 - 0,001312 \cdot HT + 0,012844 \cdot TS$ (13)

Fonte: Próprio autor.

Tabela 1: Resultados da distribuição residual e índices de performance das propriedades instrumentais de textura dos filés de tilápia do Nilo para cada dia analisado

Dia	Propriedade	Distribuição	R²_{adj}	LOF	MSE
		Residual Normal			
0	Dureza	Normal (0,645)	0,86	0,49	92,79
	Elasticidade	Normal (0,152)	0,81	0,26	< 0,001
	Coesividade	Normal (0,665)	0,85	0,1	< 0,001
	Resiliência	Normal (0,9)	0,91	0,087	< 0,001
4	Dureza	Normal (0,053)	0,87	0,165	11,7
	Elasticidade	Normal (0,469)	0,77	0,53	< 0,001
	Coesividade	Normal (0,219)	0,93	0,43	< 0,001
	Resiliência	Normal (0,509)	0,92	0,39	< 0,001
8	Dureza	Normal (0,298)	0,97	0,72	8,19
	Elasticidade	Normal (0,878)	0,9	0,47	< 0,001
	Coesividade	Normal (0,893)	0,93	0,35	< 0,001
	Resiliência	Normal (0,961)	0,94	0,07	< 0,001

Fonte: Próprio autor.

oxigênio muscular, os níveis de ATP estão reduzidos (SHIBATA et al., 2018). Como o ATP é necessário para separar as ligações cruzadas de actina-miosina durante o relaxamento muscular, sua redução resulta no *rigor mortis* (MORIYA et al., 2019). Assim, espera-se que os valores de dureza e elasticidade sejam os mais altos e os mais baixos nesta fase, respectivamente.

O efeito linear da CR foi significativamente positivo para as quatro propriedades primárias da textura instrumental (Tabela 2) ($p < 0,05$). Os valores de dureza foram os mais altos nesse período de armazenamento, semelhantes aos resultados descritos por Monteiro et al. (2019) para tilápia do Nilo. Além disso, a dureza foi significativamente afetada apenas pela CR (linearmente) ($p < 0,05$). Como a dureza é exibida como a força de pico da primeira compressão (Figura 4), não era esperado que HT e TS fossem fatores significativos. A elasticidade foi a única característica significativamente afetada pela interação entre dois fatores (CR e HT) e pelo efeito quadrático negativo do HT (Tabela 2) ($p < 0,05$). Assim, o HT parece ser o fator mais sensível para determinar a elasticidade instrumental. Valores de HT acima de 5s determinam reduções quadráticas nos resultados obtidos para elasticidade. Portanto,

é possível afirmar que valores de HT entre 0-5s são os mais adequados para análise de textura no início do armazenamento. Além disso, no intervalo entre 0-5s de HT e 50-76,8% de CR, os valores de elasticidade apresentaram um intervalo de 0,8-0,83 (Figura 5). Ademais, em uma faixa menor entre 3-5s de HT e 50-60% de CR, o comportamento da curva de níveis é ligeiramente paralelo ao eixo HT, de forma que os valores de elasticidade (em torno de 0,8) sofrem um efeito menor do HT quadrático. Esses achados são corroborados por Boughattas et al. (2020), que aplicaram 60% de CR e 5s de HT para avaliar a textura instrumental de esturjão (*Acipenser gueldenstaedtii*). Os mesmos autores encontraram uma faixa semelhante de elasticidade instrumental (0,81 a 0,9) durante o armazenamento, sem diferença significativa entre eles. (BOUGHATTAS et al., 2020).

A coesividade foi afetada principalmente pela CR linear (Tabela 2) ($p < 0,05$). Assim, é correto afirmar que a coesividade tem um comportamento oposto à dureza, tendendo a diminuir à medida que ocorre um aumento na CR empregada, enquanto a aplicação de TSs mais altas leva a aumentos na coesividade. Esse comportamento pode ser explicado devido ao menor dano estrutural do filé causado por TSs mais altas, permitindo uma maior área de compressão no segundo ciclo (A2) (Figura 4).

Tabela 2: Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 0

Fator	Dia 0							
	Dureza		Coesividade		Elasticidade		Resiliência	
	EE	SE	EE	SE	EE	SE	EE	SE
Intercept.	107,28	2,21	0,337	0,004	0,808	0,004	0,122	0,002
CR	59,91	5,21	-0,126	0,007	0,035	0,007	-0,084	0,003
HT	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
TS	NS	-	0,026	0,007	0,06	0,007	0,02	0,003
CR²	NS	-	0,034	0,007	NS	-	0,028	0,003
HT²	NS	-	NS	-	-0,046	0,007	0,012	0,003
TS²	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-

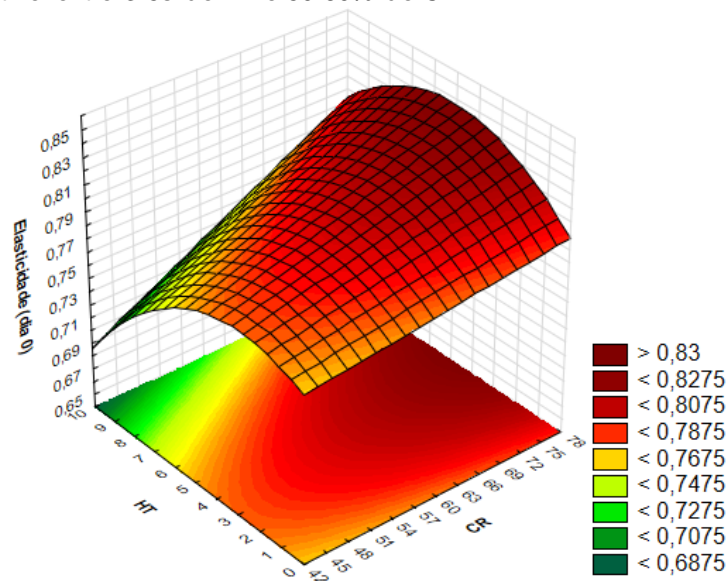
Continua

Conclusão

Fator	Dia 0							
	Dureza		Coesividade		Elasticidade		Resiliência	
	EE	SE	EE	SE	EE	SE	EE	SE
CR·HT	NS	-	NS	-	-0,029	0,009	NS	-
CR·TS	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
HT·TS	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-

Fonte: Próprio autor.

Figura 5: Gráfico de superfície de resposta da elasticidade (razão) do filé de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e do intervalo entre ciclos (s). Zona de estabilidade perceptível entre 3-5s de HT e 50-60% de CR



Fonte: Próprio autor.

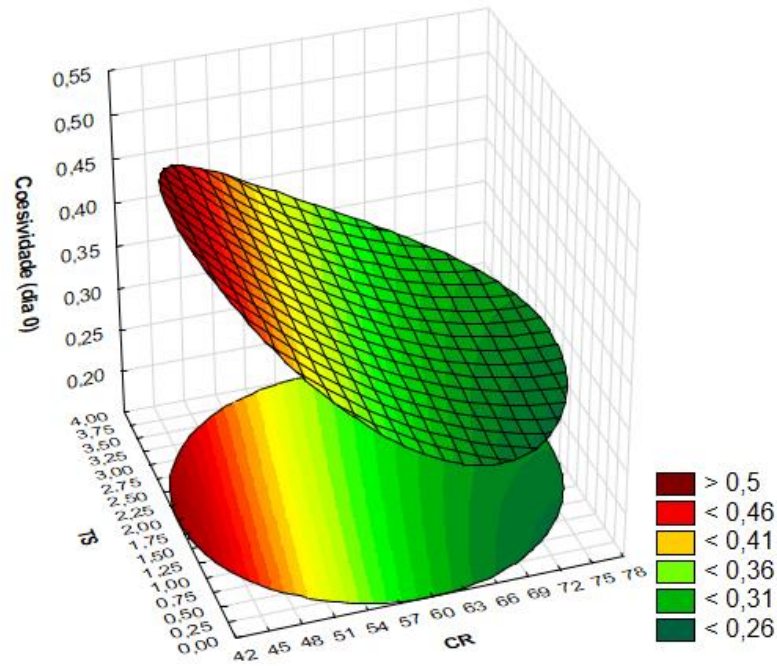
Esse achado pode ser bem correlacionado com a literatura. Wu et al. (2018) e Tang et al. (2019) aplicaram 30% e 80% de CR, respectivamente, para avaliar a textura instrumental dos filés de peixe. Os resultados encontrados por Wu et al. (2018) variaram de 0,68 a 0,72, enquanto Tang et al. (2019) apresentaram resultados abaixo de 0,6. Por outro lado, como mostrado na Figura 6, em CRs acima de 60%, o comportamento da curva de níveis muda e começa a ser paralelo ao eixo CR. Dessa forma, em CRs mais altas, a TS parece ser responsável pelo aumento dos valores de coesividade, que tendem a aumentar à medida que a TS aumenta. Além disso, em

uma faixa de 65 a 76,8% da CR, existe uma zona de estabilidade, onde os resultados variam minimamente, de 0,3 a 0,25. Por fim, a resiliência apresentou comportamento semelhante à coesividade, sendo afetada negativamente pela CR linear, o principal fator que influenciou essa propriedade (Tabela 2) ($p < 0,05$). Portanto, os resultados encontrados para a resiliência instrumental corroboram com os achados de coesividade, de que existe uma zona de estabilidade na faixa de 65 a 76,8% da CR no dia inicial de armazenamento (Figura 7). Além disso, em geral, os resultados de resiliência diminuíram à medida que a CR aplicada aumentava. Lazo et al. (2017) utilizaram 30% da CR para avaliar a resiliência instrumental de filés de cinco espécies diferentes de peixes e encontraram valores entre 0,03 a 0,08. Por outro lado, Iaconisi et al. (2017) empregaram uma CR de 50% para avaliar a textura instrumental de dourada (*Pagellus bogaraveo*) e alcançaram um valor de resiliência de 0,02.

4.1.3 Dia 4

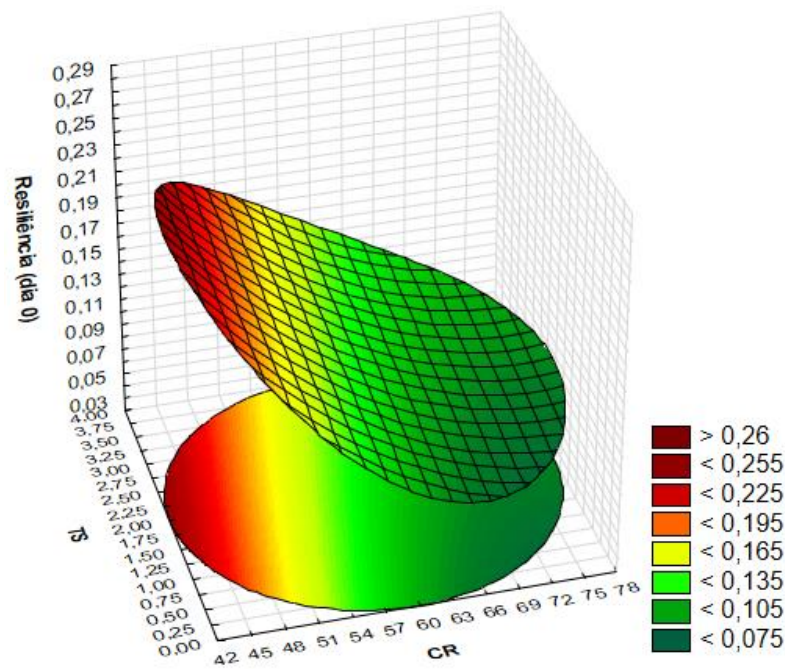
No quarto dia de armazenamento, a CR linear permaneceu como o principal fator que afetou a dureza (Tabela 3) ($p < 0,05$). Entretanto, diferentemente do dia 0, outros fatores, como HT linear, TS linear e a interação entre HT e TS (Figura 8) também apresentaram significância estatística ($p < 0,05$). Esse comportamento inesperado, uma vez que a dureza corresponde à primeira força de pico, pode ser atribuído às alterações estruturais sofridas pelo filé devido às repetidas ações de compressão das quatro réplicas analíticas realizadas para cada filé, combinadas com o tempo de armazenamento. Durante o armazenamento, sob refrigeração (4 ° C), altas concentrações de ácido láctico e baixo pH são responsáveis por promover a atividade de enzimas proteolíticas (por exemplo, calpaína, catepsina e proteassoma) em filés de peixe. (BAHUAUD et al., 2010). Essas enzimas expõem os sítios ativos das proteínas à ação de enzimas de origem microbiana (exógenas) (YU et al., 2018). Desta forma, a resolução do *rigor mortis* e o relaxamento dos músculos dos peixes podem ser responsáveis pelos resultados obtidos neste dia.

Figura 6: Gráfico de superfície de resposta da coesividade (razão) dos filés de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade perceptível entre 65-76,8% de CR



Fonte: Próprio autor.

Figura 7: Gráfico de superfície de resposta da resiliência (razão) do filé de tilápia no início do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade perceptível entre 65-76,8% de CR



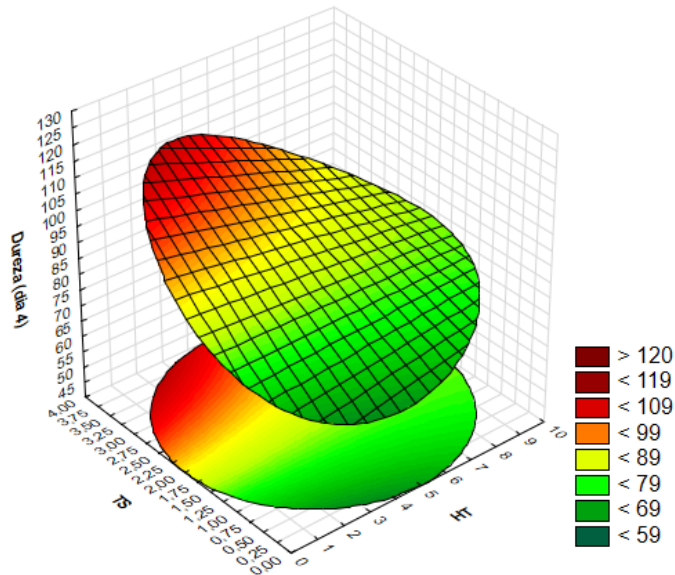
Fonte: Próprio autor.

Tabela 3: Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 4

Fator	Dia 4							
	Dureza		Coesividade		Elasticidade		Resiliência	
	EE	SE	EE	SE	EE	SE	EE	SE
Intercept.	87,02	0,78	0,339	0,004	0,843	0,005	0,107	0,002
CR	24,1	1,85	-0,117	0,007	0,087	0,011	-0,078	0,005
HT	-5,36	1,85	NS	-	NS	-	NS	-
TS	19,18	1,85	0,028	0,007	0,035	0,011	0,018	0,005
CR ²	NS	-	0,023	0,007	NS	-	0,018	0,005
HT ²	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
TS ²	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
CR·HT	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
CR·TS	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-
HT·TS	-8,34	2,41	NS	-	NS	-	NS	-

Fonte: Próprio autor.

Figura 8: Gráfico de superfície de resposta da dureza (N) do filé de tilápia no meio do armazenamento. O efeito do intervalo entre ciclos (s) e da velocidade do teste (mm/s). HT, TS e sua interação são fatores significativos, diferente do que ocorreu no dia 0



Fonte: Próprio autor.

A elasticidade, ao contrário do primeiro dia, não foi afetada pelo HT, tendo sido influenciada principalmente pela CR linear, seguida pela TS linear (Tabela 3) ($p < 0,05$). Analogamente ao primeiro dia, a coesividade e a resiliência foram afetadas pela CR linear, CR quadrática e TS linear (Tabela 3) ($p < 0,05$). Portanto, parece que as

áreas A1 e A2, e R1 e R2 (Figura 4) variaram da mesma forma durante a primeira metade do armazenamento. Além disso, a zona de estabilidade alcançada foi semelhante à do primeiro dia (de 65 a 76,8% de CR para coesividade e 57 a 76,8% de CR para resiliência), onde os valores de coesividade e resiliência obtidos variaram de 0,3 a 0,25 e de 0,08 a 0,05, respectivamente. Esses resultados são suportados por Cropotova et al. (2019), Monteiro et al. (2019) e Sun et al. (2018), que não encontraram diferenças significativas para a coesividade instrumental de cubos e filés de peixe armazenados sob refrigeração durante os primeiros dias de armazenamento.

4.2.4 Dia 8

Os efeitos estimados para a textura instrumental no oitavo dia de armazenamento podem ser vistos na Tabela 4. Para a dureza, a CR linear permaneceu como o principal fator que afetou seus valores finais ($p < 0,05$). Além disso, a CR quadrática e a interação entre CR e TS também foram significativas ($p < 0,05$), ao contrário da interação entre HT e TS, que, diferente do dia 4, não afetaram significativamente a dureza ($p < 0,05$). Nesse ponto do armazenamento (dias finais), os parâmetros físico-químicos (por exemplo, TVB-N, pH, cor e TBARS) e microbiológicos indicam que o filé está próximo da rejeição devido ao estágio avançado de deterioração (VÁZQUEZ-SÁNCHEZ et al. 2020). Nesse estágio de degradação avançada de proteínas, as catepsinas B e L (proteínases ácidas lisossômicas) são os principais responsáveis pelo processo de proteólise (BAHUAUD et al. 2010). Essas proteínases endógenas podem degradar os principais constituintes das bandas musculares (por exemplo, desmina, actina, troponina e tropomiosina), causando tenderização dos filés de peixe, tornando-os menos rígidos e não mais elásticos (CHERET et al., 2007; DELBARRE-LADRAT et al., 2004). O processo de tenderização é caracterizado pela desintegração gradual da matriz extracelular, onde as ligações entre o citoesqueleto e os sarcômeros são as principais estruturas degradadas (DELBARRE-LADRAT et al., 2006). Portanto, alterações metabólicas (por exemplo, queda de pH e degradação de aminoácidos) e estruturais (por exemplo, proteólise de actina, miosina e outras proteínas sarcoplasmáticas) podem justificar a redução nos valores de dureza encontrados durante o período *post mortem* avançado, neste estudo e na literatura (RODRIGUES et al. 2017; MONTEIRO et al. 2019;

BOUGHATTAS et al. 2020). Além disso, essas alterações podem estar relacionadas ao maior número de efeitos significativos alcançados no oitavo dia de armazenamento. Por conseguinte, como mostrado na Figura 9, em valores baixos de CR (< 60%) e de TS (< 2 mm/s), uma zona poderia ser alcançada, na qual os valores de dureza variam entre 54 e 74N, caracterizando maiores confiabilidade e representatividade dos resultados.

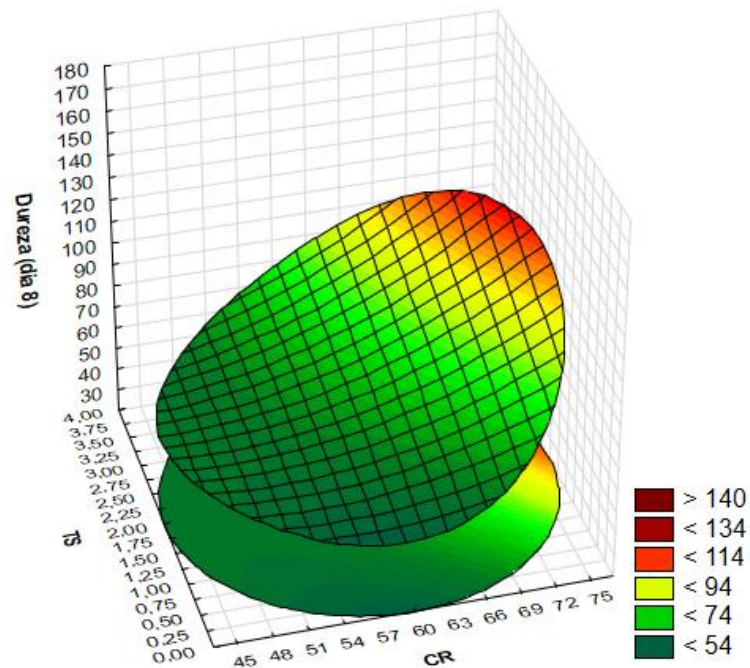
Tabela 4: Efeitos (linear, quadrático e interação) estimados e erro padrão para as propriedades de textura instrumental de tilápia do Nilo no dia 8

Fator	Dia 8							
	Dureza		Coesividade		Elasticidade		Resiliência	
	EE	SE	EE	SE	EE	SE	EE	SE
Intercept.	68,36	0,854	0,344	0,004	0,918	0,006	0,109	0,001
CR	28,76	1,548	-0,129	0,007	0,04	0,007	-0,076	0,002
HT	-7,086	1,548	NS	-	NS	-	-0,007	0,002
TS	16,437	1,548	0,032	0,007	0,032	0,007	0,025	0,002
CR²	9,575	1,52	0,028	0,007	-0,041	0,007	0,019	0,002
HT²	NS	-	NS	-	-0,022	0,007	NS	-
TS²	NS	-	NS	-	-0,054	0,007	NS	-
CR·HT	NS	-	NS	-	-0,071	0,009	NS	-
CR·TS	11,66	2,023	NS	-	-0,033	0,009	NS	-
HT·TS	NS	-	NS	-	NS	-	NS	-

Fonte: Próprio autor.

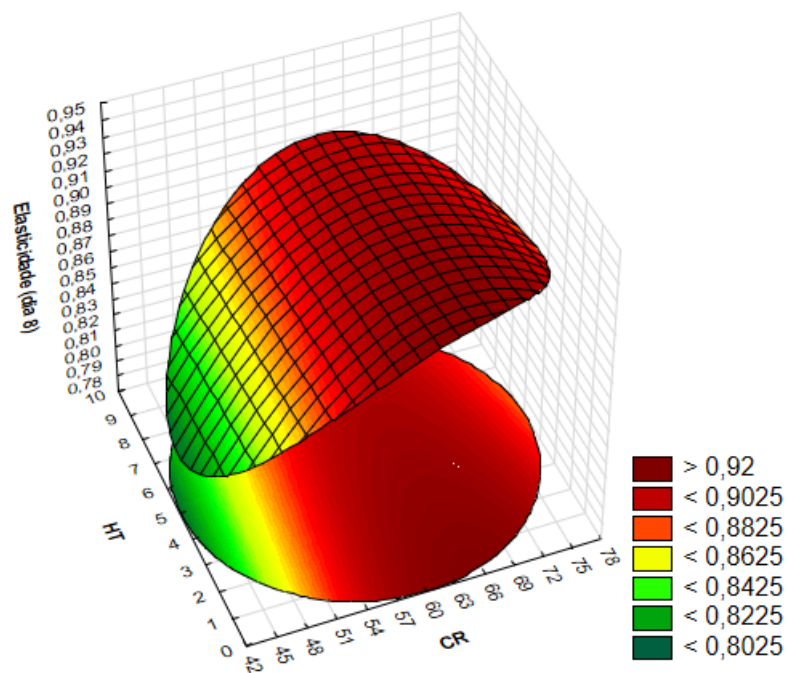
A elasticidade parece ter sido influenciada pelo mesmo processo de dureza. Assim, o HT linear e a interação entre HT e TS foram os únicos fatores que não afetaram significativamente essa propriedade ($p < 0,05$). Por outro lado, como mostra a Tabela 4, a interação entre CR e HT foi o fator mais crítico, afetando negativamente a elasticidade ($p < 0,05$). A Figura 10 apresenta a curva de níveis de elasticidade no oitavo dia de armazenamento. A curva de níveis começa com um comportamento paralelo ao eixo HT, indicando que para CRs baixos (de 43,2 a 55%) o aumento da elasticidade ocorre devido à aplicação de CRs mais altos. No entanto, o comportamento da curva de níveis muda para valores de CR acima de 55%, deixando de ser paralelo ao eixo HT. Esse novo comportamento indica que a aplicação de HT mais alto influencia negativamente os valores de elasticidade, que mostram reduções

Figura 9: Gráfico de superfície de resposta da dureza (N) do filé de tilápia no final do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e velocidade do teste (mm/s). Zona de estabilidade formada em valores baixos de CR (< 60%) e TS (< 2 mm/s)



Fonte: Próprio autor.

Figura 10: Gráfico de superfície de resposta da elasticidade (razão) do filé de tilápia no final do armazenamento. O efeito da taxa de compressão (%) e do intervalo entre ciclos (s). Zona de estabilidade perceptível entre 55-75% de CR



Fonte: Próprio autor.

quadráticas regressivas à medida que o HT aumenta. Além disso, é correto afirmar que valores de CR entre 55 e 75% são os mais adequados para aplicação nos dias finais de armazenamento, pois nessa faixa os resultados de elasticidade variam entre 0,9 e 0,92, independentemente do HT empregado.

Coesividade e resiliência, como esperado, foram afetadas pelos mesmos fatores dos dias anteriores (CR linear, CR quadrática e TS linear) ($p < 0,05$). Dessa forma, foi alcançada uma zona de estabilidade semelhante à encontrada nos dias anteriores (Figuras 6 e 7). Portanto, é correto afirmar que, para coesividade, os valores de CR mais adequados para serem aplicados em todo o armazenamento devem variar de 65 a 76,8%. Por outro lado, para resiliência, essa mesma zona de estabilidade parece apresentar uma faixa maior, entre 55 e 76,8%.

5 CONCLUSÃO

O Método de Índice de Qualidade é uma ferramenta de avaliação sensorial não destrutiva amplamente aplicada na pesquisa e na indústria. Seu desenvolvimento requer no mínimo 3 etapas, incluindo a construção do protocolo de qualidade, a confirmação das alterações sensoriais e a validação do protocolo. No entanto, o QIM apresenta algumas limitações que dificultam sua utilização como método oficial de avaliação da qualidade, como o tamanho da amostragem, a especificidade das espécies, as condições de estocagem e a demora do procedimento. Além disso, o esquema de treinamento dos avaliadores pode levar a análises sensoriais errôneas, devido a subjetividade dos sentidos humanos. Desta forma, os resultados subjetivos podem ser contraditórios às análises bacteriológica e química.

Metodologias como nariz eletrônico, língua eletrônica, sistema de visão computacional e sensores colorimétricos têm sido empregadas como potenciais alternativas para superar as limitações do QIM. Ademais, técnicas emergentes como análise proteômica, sensor óptico de pH e monitoramento de alterações mitocondriais foram desenvolvidas como alternativas para uma determinação real do estado de frescor dessa matriz. Embora de baixo custo (sensor óptico de pH) e rápidas, algumas dessas metodologias ainda apresentam limitações, como a ausência de correlação com a análise sensorial, a necessidade de padronização para preparo das amostras e para utilização das técnicas, a baixa longevidade dos sensores, e o estabelecimento do *sensor drift* dos instrumentos eletrônicos.

Quanto a análise de perfil de textura, por sua vez, devido às alterações metabólicas e bioquímicas que ocorrem nos filés de peixe durante o armazenamento, os valores de dureza encontrados foram mais altos no início da estocagem, decaindo ao longo dos 8 dias. A elasticidade, por outro lado, apresentou comportamento contrário ao da dureza, obtendo valores mais altos ao fim do período de estocagem (dia 8). Por fim, a coesividade e a resiliência não apresentaram grandes variações ao longo do armazenamento, e seus comportamentos foram semelhantes um ao outro e nos 3 períodos avaliados, o que pode ser justificado dado o fato de serem proporções relativas às áreas do gráfico de força-tempo.

Ademais, todos os fatores testados afetaram significativamente a textura instrumental em algum momento do armazenamento. Por meio da aplicação e análise

do modelo, podemos afirmar que (i) a CR linear foi o principal fator que afetou significativamente todas as propriedades em todos os dias de armazenamento; (ii) coesividade e resiliência apresentaram comportamento semelhante durante os oito dias, e os valores de CR mais adequados para essas propriedades foram de 55-65 a 76,8%; (iii) o HT foi um fator crítico que afetou a elasticidade durante todo o armazenamento, linear, quadraticamente ou por interação; (iv) duas zonas de estabilidade foram alcançadas para elasticidade, no início do armazenamento (CR entre 50-60% e HT entre 3-5 s) e no último dia (valores de CR de 55 a 75%); (v) a interação entre CR e TS afetou significativamente a dureza apenas no último dia de armazenamento, no qual resultados semelhantes para essa propriedade foram encontrados em baixos valores de CR (< 60%) e de TS (< 2 mm/s). Este estudo comprova que CR, HT e TS são fatores que afetam diferentemente os resultados da textura instrumental. Além disso, podemos concluir que, devido às alterações estruturais dos filés de peixe, são necessárias configurações diferentes para o texturômetro para cada dia de armazenamento.

Por fim, é possível concluir que a utilização de indicadores sensoriais, como o Método de Índice de Qualidade pelos entes constituintes do SNVS, em particular os LACENs, como indicador de frescor para peixes não é recomendada, em vista de todas as limitações da técnica, como descritas anteriormente. O uso do texturômetro em conjunto a TPA, por sua vez, representa uma alternativa de baixo custo, rápida e objetiva de avaliação de qualidade. No entanto, a técnica em si apresenta inúmeros protocolos divergentes, com a aplicação de diferentes configurações (CR, HT e TS), que exercem influência sobre os resultados finais das propriedades texturais de filés de peixe. Ademais, o melhor entendimento da funcionalidade do TPA, bem como o desenvolvimento e estudo de novas tecnologias, como narizes e línguas eletrônicas, configuram como potenciais alternativas para o monitoramento da qualidade de peixe.

REFERÊNCIAS

- AHMADI SHALHE, M.; KHODANAZARY, A.; HOSSEINI, S. M. Development of a quality index method (QIM) scheme for whole Goldlined seabream *Rhabdosargus sarba* stored in ice. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2539–2549, jan. 2018.
- ALASALVAR, C. et al. Comparison of Freshness Quality of Cultured and Wild Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). **Journal of Food Science**, v. 67, n. 9, p. 3220–3226, nov. 2002.
- APETREI, I. M. et al. Fish Freshness Monitoring Using an E-Tongue Based on Polypyrrole Modified Screen-Printed Electrodes. **IEEE Sensors Journal**, v. 13, n. 7, p. 2548–2554, jul. 2013.
- ARAÚJO, W. S. C. et al. Development and Application of the Quality Index Method (QIM) for Farmed Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Stored Under Refrigeration: Application of the Quality Index Method to Establish Fish Shelf Life. **Journal of Food Safety**, v. 37, n. 1, p. e12288, fev. 2017.
- ARES, G.; VARELA, P. Trained vs. consumer panels for analytical testing: Fueling a long lasting debate in the field. **Food Quality and Preference**, v. 61, p. 79–86, out. 2017.
- AUNG, M. M., CHANG, Y. S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. **Food Control**, v. 39, p. 172-184, mai. 2014.
- BAHUAUD, D. et al. Fillet texture and protease activities in different families of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v. 310, n. 1–2, p. 213–220, dez. 2010.
- BAIXAS-NOGUERAS, S. et al. Development of a Quality Index Method to Evaluate Freshness in Mediterranean Hake (*Merluccius merluccius*). **Journal of Food Science**, v. 68, n. 3, p. 1067–1071, abr. 2003.
- BAŞ, D.; BOYACI, İ. H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 836–845, fev. 2007.
- BERNARDO, Y. A. A. et al. Fish Quality Index Method: Principles, weaknesses, validation, and alternatives – A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, jul. 2020.
- BOGDANOVIĆ, T. et al. Development and Application of Quality Index Method Scheme in a Shelf-Life Study of Wild and Fish Farm Affected Bogue (*Boops boops*, L.). **Journal of Food Science**, v. 77, n. 2, p. S99–S106, fev. 2012.
- BONFIM, B. DE C. et al. Nutritional Improvement and Consumer Perspective of Fish Nuggets with Partial Substitution of Wheat Flour Coating by Fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) Waste Flour. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 29, n. 1, p. 28–42, 2 jan. 2020.

- BORGES, A. et al. Quality Index Method (QIM) developed for pacu *Piaractus mesopotamicus* and determination of its shelf life. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 311–317, nov. 2013.
- BORGES, A. et al. Quality Index Method (QIM) for the hybrid tambacu (*Colossoma macropomum* × *Piaractus mesopotamicus*) and the correlation among its quality parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 432–439, maio 2014.
- BOUGHATTAS, F. et al. Targeted and untargeted techniques coupled with chemometric tools for the evaluation of sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) freshness during storage at 4 °C. **Food Chemistry**, v. 312, p. 126000, maio 2020.
- BOURNE, M. C. Texture Profile of Ripening Pears. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 2, p. 223–226, mar. 1968.
- BRABO, M. F., et al. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 4, n. 2, p. 50-58, 2016.
- BRASIL. Casa Civil. Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999. Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jan. 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9013, de 29 de março de 2017. Dispõe sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, que disciplina a fiscalização e a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2019.
- BREMNER, H. A convenient, easy to use system for estimating the quality of chilled seafood. **Fish Processing Bulletin**, v. 7, p. 59-70, 1985.
- BRUNI, L. et al. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 3, p. 1038–1047, fev. 2020.
- CAI, L. et al. Effect of ϵ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1053–1059, jul. 2015.
- CAMPUS, M. et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Index Method (QIM) Scores of Farmed Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.) at Low and Abused Temperatures. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 3, p. S185–S191, abr. 2011.

CANIZALES-RODRÍGUEZ, D. F. et al. Biochemical, Physical, Chemical, and Microbiological Assessment of Blue Shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) Stored in Ice. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 24, n. 3, p. 259–269, 3 abr. 2015.

CANTO, A. C. V. C. S. et al. Physico-chemical and sensory attributes of low-sodium restructured caiman steaks containing microbial transglutaminase and salt replacers. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 623–632, jan. 2014.

CASAS, C. et al. Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) at three points along the fillet, determined by different methods. **Food Control**, v. 17, n. 7, p. 511–515, jul. 2006.

CHAIJAN, M. et al. Changes of pigments and color in sardine () and mackerel () muscle during iced storage. **Food Chemistry**, v. 93, n. 4, p. 607–617, dez. 2005.

CHENG, J.-H. et al. Recent Advances in Methods and Techniques for Freshness Quality Determination and Evaluation of Fish and Fish Fillets: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 7, p. 1012–1225, 7 jun. 2015a.

CHENG, J.-H. et al. Development of hyperspectral imaging coupled with chemometric analysis to monitor K value for evaluation of chemical spoilage in fish fillets. **Food Chemistry**, v. 185, p. 245–253, out. 2015b.

CHENG, J.-H.; SUN, D.-W.; ZHU, Z. Effects of Frozen Storage Condition Abuse on the Textural and Chemical Properties of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) Fillets: FROZEN CONDITIONS ON TEXTURAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FISH. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. e13002, fev. 2017.

CHERET, R. et al. Calpain and cathepsin activities in post mortem fish and meat muscles. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1474–1479, 2007.

CLÉACH, J. et al. Mitochondrial activity as an indicator of fish freshness. **Food Chemistry**, v. 287, p. 38–45, jul. 2019.

COMMISSION REGULATIONS. **(EC) No 2074/05. Laying down implementing measures for certain products under Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council and for the organization of official controls under Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council and Regulation (EC) No 882/2004 of the European Parliament and of the Council, derogating from Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council and amending Regulations (EC) No 853/2004 and (EC) No 854/2004.** Official Journal European Union, L-338, p. 27–59, 5 dez 2005.

COUNCIL REGULATIONS. **(EC) No 2406/96. Laying Down Common Marketing Standards for Certain Fishery Products.** Official Journal European Union, L-334, p. 1–15. 23 dez. 1996.

COSTA, C. et al. A pilot study for an innovative approach highlighting Actin and COI mRNAs as potential biomarkers of quality of the edible crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). **Food Control**, v. 97, p. 58–66, mar. 2019.

CROPOTOVA, J. et al. Superchilled, chilled and frozen storage of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets – changes in texture, drip loss, protein solubility and oxidation. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 6, p. 2228–2235, jun. 2019.

CYPRIAN, O. O. et al. Development of Quality Index Method (QIM) Scheme for Farmed Tilapia Fillets and Its Application in Shelf Life Study. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 23, n. 3, p. 278–290, 4 maio 2014.

DELBARRE-LADRAT, C. et al. Relative contribution of calpain and cathepsins to protein degradation in muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Food Chemistry**, v. 88, n. 3, p. 389–395, dez. 2004.

DELBARRE-LADRAT, C. et al. Trends in Postmortem Aging in Fish: Understanding of Proteolysis and Disorganization of the Myofibrillar Structure. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 46, n. 5, p. 409–421, jun. 2006.

DI NATALE, C. et al. Electronic nose and sensorial analysis: comparison of performances in selected cases. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 50, n. 3, p. 246–252, ago. 1998.

DILER, A.; GENÇ, İ. Y. A practical quality index method (QIM) developed for aquacultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 858–867, jan. 2018.

DO ROSÁRIO, D. K. A. et al. Ultrasound improves chemical reduction of natural contaminant microbiota and *Salmonella enterica* subsp. *enterica* on strawberries. **International Journal of Food Microbiology**, v. 241, p. 23–29, jan. 2017.

DOMÍNGUEZ-ARAGÓN, A.; OLMEDO-MARTÍNEZ, J. A.; ZARAGOZA-CONTRERAS, E. A. Colorimetric sensor based on a poly(ortho-phenylenediamine-co-aniline) copolymer for the monitoring of tilapia (*Oreochromis niloticus*) freshness. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 259, p. 170–176, abr. 2018.

DOOLEY, L.; LEE, Y.; MEULLENET, J.-F. The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 4, p. 394–401, jun. 2010.

DOWLATI, M. et al. Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 40, p. 168–179, nov. 2012.

DOWLATI, M. et al. Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 2, p. 277–287, nov. 2013.

DURMUŞ, M. et al. The impact of gravading process on the quality of carp fillets (*Cyprinus carpio*): sensory, microbiological, protein profiles and textural changes. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 12, n. 2, p. 147–155, jun. 2017.

FAO/WHO. Codex Alimentarius: Standard for Quick Frozen Fish Fillets: Adopted in 1995 and Revised in 2017. **Codex Alimentarius Commission: Codex Standard 190 – 1995**, 2017.

FOGAÇA, F. H. DOS S. et al. Appraising the Shelf Life of Farmed Cobia, *Rachycentron canadum*, by Application of a Quality Index Method: SHELF LIFE OF FARMED COBIA. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 48, n. 1, p. 70–82, fev. 2017.

FOGARTY, C. et al. Spoilage indicator bacteria in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) stored on ice for 10 days. **Food Microbiology**, v. 77, p. 38–42, fev. 2019.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture – Meeting the Sustainable Development Goals**. Rome, 2018. 210 p.

FREITAS, J.; VAZ-PIRES, P.; CÂMARA, J. S. Freshness Assessment and Shelf-Life Prediction for *Seriola dumerili* from Aquaculture Based on the Quality Index Method. **Molecules**, v. 24, n. 19, p. 3530, 29 set. 2019.

FREITAS, J.; VAZ-PIRES, P.; CÂMARA, J. S. From aquaculture production to consumption: Freshness, safety, traceability and authentication, the four pillars of quality. **Aquaculture**, v. 518, mar. 2020.

GARCÍA, M. R. et al. Smart sensor to predict retail fresh fish quality under ice storage. **Journal of Food Engineering**, v. 197, p. 87–97, mar. 2017.

GAUTHIER, T. Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient. **Environmental Forensics**, v. 2, n. 4, p. 359–362, dez. 2001.

GHANI KUVEI, F.; KHODANAZARY, A.; ZAMANI, I. Quality index method (QIM) sensory scheme for gutted greenback grey mullet *Chelon subviridis* and its shelf life determination. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 618–629, 1 jan. 2019.

GHASEMI-VARNAMKHASTI, M. et al. Potential use of electronic noses, electronic tongues and biosensors as multisensor systems for spoilage examination in foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 71–92, out. 2018.

GHOLAM HOSSEINI, H. et al. Intelligent Fish Freshness Assessment. **Journal of Sensors**, v. 2008, p. 1–8, 2008.

GODOY, N. et al. QIM, CATA, and Word Association methods for quality assessment of flathead gray mullet (*Mugil cephalus*): Going beyond the trained panel. **Journal of Sensory Studies**, v. 34, n. 2, p. e12482, abr. 2019.

GONÇALVES, A. A.; DE LIMA, J. T. A. X.; DE PAULA, F. E. R. Development of Quality Index Method (QIM) scheme for spiny lobster (*Panulirus argus*, Latreille, 1804) stored in ice. **Food Control**, v. 47, p. 237–245, jan. 2015.

GONÇALVES, A. A.; SOARES, K. M. DE P. Quality Index Method scheme for whole fresh carapeba (*Eucinostomus gula*, Quoy & Gaimard, 1824) stored in ice. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017.

GONG, J. et al. Identification of key umami-related compounds in Yangtze *Coilia ectenes* by combining electronic tongue analysis with sensory evaluation. **RSC Advances**, p. 8, [s.d.].

GONZÁLEZ-MARTÍN, I. et al. Differentiation of products derived from Iberian breed swine by electronic olfactometry (electronic nose). **Analytica Chimica Acta**, v. 424, n. 2, p. 279–287, dez. 2000.

GRAM, L.; DALGAARD, P. Fish spoilage bacteria – problems and solutions. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 262–266, jun. 2002.

GRAM, L.; HUSS, H. H. Microbiological spoilage of fish and fish products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, n. 1, p. 121–137, nov. 1996.

GRANATO, D.; DE ARAÚJO CALADO, V. M.; JARVIS, B. Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. **Food Research International**, v. 55, p. 137–149, jan. 2014.

GUILLEM-REGOST, C. et al. Quality Characterization of Farmed Atlantic Halibut During Ice Storage. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 2, p. S83–S90, 31 maio 2006.

GUOHUA, H. et al. Study of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) quality predictive model based on electronic nose. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 166–167, p. 301–308, maio 2012.

HAN, F. et al. Nondestructive detection of fish freshness during its preservation by combining electronic nose and electronic tongue techniques in conjunction with chemometric analysis. **Anal. Methods**, v. 6, n. 2, p. 529–536, 2014.

HARIMANA, Y. et al. Effect of long-term moderate exercise on muscle cellularity and texture, antioxidant activities, tissue composition, freshness indicators and flavor characteristics in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). **Aquaculture**, v. 510, p. 100–108, ago. 2019.

HASANAHA, U. et al. Preparation and Characterization of a Pectin Membrane-Based Optical pH Sensor for Fish Freshness Monitoring. **Biosensors**, v. 9, n. 2, p. 60, 26 abr. 2019.

HASHIMOTO, D. T. et al. Molecular diagnostic methods for identifying Serrasalmid fish (Pacu, Pirapitinga, and Tambaqui) and their hybrids in the Brazilian aquaculture industry. **Aquaculture**, v. 321, n. 1–2, p. 49–53, nov. 2011.

- HASSOUN, A.; KAROUI, R. Quality Evaluation of Fish and Other Seafood by Traditional and Nondestructive Instrumental Methods: Advantages and Limitations. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 00–00, 20 jul. 2015.
- HAUGEN, J. E. et al. Rapid control of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) quality by electronic nose: Correlation with classical evaluation methods. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 116, n. 1–2, p. 72–77, jul. 2006.
- HERRERO, A. M.; HUIDOBRO, A.; CARECHE, M. Development of a Quality Index Method for Frozen Hake (*M. capensis* and *M. paradoxus*). **Journal of Food Science**, v. 68, n. 3, p. 1086–1092, abr. 2003.
- HOLMIN, S. et al. Drift correction of electronic tongue responses. **Measurement Science and Technology**, v. 12, n. 8, p. 1348–1354, 1 ago. 2001.
- HONG, H. et al. Visual quality detection of aquatic products using machine vision. **Aquacultural Engineering**, v. 63, p. 62–71, dez. 2014.
- HUANG, X.; XIN, J.; ZHAO, J. A novel technique for rapid evaluation of fish freshness using colorimetric sensor array. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 4, p. 632–637, ago. 2011.
- HUIDOBRO, A.; PASTOR, A.; TEJADA, M. Quality Index Method Developed for Raw Gilthead Seabream (*Sparus aurata*). **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1202–1205, out. 2000.
- IACONISI, V. et al. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). **Aquaculture**, v. 476, p. 49–58, jul. 2017.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microorganisms in Foods**. Oxford: BLACHWELL SCIENTIFIC PUBLICATIONS, 1986.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microorganisms in Foods 6: Microbial ecology of food commodity**. (2nd ed.). New York: KLUWER ACADEMIC, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8586:2012. **Sensory Analysis—General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors**. Geneva, 2012.
- JIANG, H. et al. Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation: A review. **Food Reviews International**, v. 34, n. 8, p. 746–769, 17 nov. 2018a.
- JIANG, Q. et al. Effect of heating temperature and duration on the texture and protein composition of Bighead Carp (*Aristichthys nobilis*) muscle. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2110–2120, jan. 2018b.
- KHODANAZARY, A. Quality characteristics of refrigerated mackerel *Scomberomorus commerson* using gelatin-polycaprolactone composite film incorporated with

- lysozyme and pomegranate peel extract. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 2057–2071, 1 jan. 2019.
- KOUTSOUMANIS, K. Predictive Modeling of the Shelf Life of Fish under Nonisothermal Conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n. 4, p. 1821–1829, 1 abr. 2001.
- LANZARIN, M. et al. Quality Index Method (QIM) for ice stored gutted Amazonian Pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum* × *Leiarius marmoratus*) and estimation of shelf life. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 363–370, jan. 2016.
- LAZO, O. et al. Sensory characterization, physico-chemical properties and somatic yields of five emerging fish species. **Food Research International**, v. 100, p. 396–406, out. 2017.
- LE, N. T. et al. Towards improved quality benchmarking and shelf life evaluation of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). **Food Chemistry**, v. 235, p. 220–226, nov. 2017.
- LI, D. et al. A novel headspace integrated E-nose and its application in discrimination of Chinese medical herbs. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 221, p. 556–563, dez. 2015.
- LI, D.-Y. et al. Microstructural characteristics of turbot (*Scophthalmus maximus*) muscle: effect of salting and processing. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 1291–1302, jan. 2018.
- LI, X. et al. Freshness assessment of turbot (*Scophthalmus maximus*) by Quality Index Method (QIM), biochemical, and proteomic methods. **LWT**, v. 78, p. 172–180, maio 2017.
- LIANG, X. F. et al. Substitution of fish meal by fermented soybean meal affects the growth performance and flesh quality of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 229, p. 1–12, jul. 2017.
- LIN, W.-L. et al. Relation between protein characteristics and TPA texture characteristics of crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* c. Et v) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*): texture-protein. **Journal of Texture Studies**, v. 43, n. 1, p. 1–11, fev. 2012.
- LIU, H. et al. The gut microbiome and degradation enzyme activity of wild freshwater fishes influenced by their trophic levels. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 24340, abr. 2016.
- LÓPEZ-GARCÍA, M. M. et al. Development of a Quality Index Method for Freshness Assessment of Thawed Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) Stored at Chilling Temperature. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 6, p. 1847–1852, jun. 2014.
- LOUTFI, A. et al. Electronic noses for food quality: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 103–111, jan. 2015.

MACAGNANO, A. et al. A model to predict fish quality from instrumental features. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 111–112, p. 293–298, nov. 2005.

MAI, N. T. T. et al. Application of Quality Index Method, Texture Measurements and Electronic Nose to Assess the Freshness of Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Stored in Ice. v. 3, n. 9, p. 7, 2009.

MARSHALL, M. N. Sampling for qualitative research. p. 4, 1996.

MARTINSDÓTTIR, E. et al. **Reference manual for the fish sector: Sensory evaluation of fish freshness**. The Netherlands: QIM EUROFISH, 2001.

MONTEIRO, M. L. et al. Synergistic effect of ultraviolet radiation and high hydrostatic pressure on texture, color, and oxidative stability of refrigerated tilapia fillets. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 9, p. 4474–4481, jul. 2019.

MONTEIRO, M. L. G. et al. Combined effect of high hydrostatic pressure and ultraviolet radiation on quality parameters of refrigerated vacuum-packed tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 9524, dez. 2018.

MORIYA, K. et al. Effect of subzero temperature treatment at $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ before thawing on prevention of thaw rigor, biochemical changes and rate of ATP consumption in frozen chub mackerel (*Scomber japonicus*). **LWT**, v. 114, p. 108396, nov. 2019.

MORSY, M. K. et al. Development and validation of a colorimetric sensor array for fish spoilage monitoring. **Food Control**, v. 60, p. 346–352, fev. 2016.

NIELSEN, D.; GREEN, D. Developing a Quality Index grading tool for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* × *Morone chrysops*) based on the Quality Index Method. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, n. 1, p. 86–94, jan. 2007.

NISHINARI, K.; FANG, Y. Perception and measurement of food texture: Solid foods. **Journal of Texture Studies**, v. 49, n. 2, p. 160–201, abr. 2018.

NISHINARI, K.; FANG, Y.; ROSENTHAL, A. Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 50, n. 5, p. 369–380, out. 2019.

OEHLENSCHLÄGER, J.; SORÉENSEN, N. K. Criteria of seafood freshness and quality aspects. **Methods to Determine the Freshness of Fish in Research and Industry. Proceedings of the Final Meeting of the Concerted Action**, p. 30-35, 1997.

OLAFSDOTTIR, G. et al. Methods to evaluate fish freshness in research and industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 258-265, 1997.

OLAFSDOTTIR, G. et al. Multisensor for fish quality determination. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 2, p. 86–93, fev. 2004.

- ORTÍ, G. et al. Phylogeny of the Serrasalminae (Characiformes) based on mitochondrial DNA sequences. **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, n. 1 suppl, p. 343–351, 2008.
- OTTINGER, M.; CLAUSS, K.; KUENZER, C. Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review. **Ocean & Coastal Management**, v. 119, p. 244-266, jan. 2016.
- OZOGUL, Y. et al. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. **Food Chemistry**, v. 92, n. 4, p. 745–751, out. 2005.
- PAPADOPOULOU, O. S. et al. Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 241–249, jan. 2013.
- PARSONS, M.; GREEN, D. Mitochondria in cell death. **Essays in Biochemistry**, v. 47, p. 99–114, 2010.
- PAVÓN, Y. et al. Sensory and instrumental textural changes in fillets from Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) fed different diets. **Journal of Texture Studies**, v. 49, n. 6, p. 646–652, dez. 2018.
- PELEG, M. The instrumental texture profile analysis revisited. **Journal of Texture Studies**, v. 50, n. 5, p. 362–368, out. 2019.
- PERIS, M.; ESCUDER-GILABERT, L. A 21st century technique for food control: Electronic noses. **Analytica Chimica Acta**, v. 638, n. 1, p. 1–15, abr. 2009.
- PERSAUD, K.; DODD, G. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. **Nature**, v. 299, n. 5881, p. 352–355, 1982.
- PORCHEDDU, R. et al. Similarity in Case Fatality Rates (CFR) of COVID-19/SARS-COV-2 in Italy and China. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 14, n. 02, p. 125–128, 29 fev. 2020.
- RAHMAN, A. et al. Determination of K value for fish flesh with ultraviolet–visible spectroscopy and interval partial least squares (iPLS) regression method. **Biosystems Engineering**, v. 141, p. 12–18, jan. 2016.
- RAMEZANI, Z.; ZAREI, M.; RAMINNEJAD, N. Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets. **Food Control**, v. 51, p. 43–48, maio 2015.
- RITTER, D. O. et al. Quality Index Method (QIM) for gutted ice-stored hybrid tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomum*) and study of shelf life. **LWT - Food Science and Technology**, v. 67, p. 55–61, abr. 2016.
- ROCO, T. et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on physical parameters, ultrastructure and shelf life of pre- and post-rigor mortis palm ruff (*Seriolella violacea*) under chilled storage. **Food Research International**, v. 108, p. 192–202, jun. 2018.

- RODRIGUES, B. L. et al. Fatty acid profiles of five farmed Brazilian freshwater fish species from different families. **PLOS ONE**, v. 12, n. 6, p. e0178898, 14 jun. 2017a.
- RODRIGUES, B. L. et al. Instrumental Texture Parameters as Freshness Indicators in Five Farmed Brazilian Freshwater Fish Species. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 11, p. 3589–3599, nov. 2017b.
- ROIHA, I. S. et al. A comparative study of quality and safety of Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets during cold storage, as affected by different thawing methods of pre-rigor frozen headed and gutted fish: Quality and safety of chilled cod fillets as affected by thawing methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 1, p. 400–409, jan. 2018.
- ROSENTHAL, A. J. Texture profile analysis - how important are the parameters?: parameters in texture profile analysis. **Journal of Texture Studies**, v. 41, n. 5, p. 672–684, 20 jul. 2010.
- RUIZ-RICO, M. et al. Use of the voltammetric tongue in fresh cod (*Gadus morhua*) quality assessment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 18, p. 256–263, abr. 2013.
- SAITO, T.; ARAI, K.; MATSUYOSHI, M. A New Method for Estimating the Freshness of Fish. **NIPPON SUISAN GAKKAISHI**, v. 24, n. 9, p. 749–750, 1959.
- SANT'ANA, L. S.; SOARES, S.; VAZ-PIRES, P. Development of a quality index method (QIM) sensory scheme and study of shelf-life of ice-stored blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 2253–2259, dez. 2011.
- SHEWAN, J. M. et al. The development of a numerical scoring system for the sensory assessment of the spoilage of wet white fish stored in ice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 4, n. 6, p. 283–298, jun. 1953.
- SHI, C. et al. Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (*Oreochromis niloticus*) pupil and gill color during storage at 4 °C. **Food Chemistry**, v. 243, p. 134–140, mar. 2018.
- SHIBATA, M. et al. Smart technique for accurate monitoring of ATP content in frozen fish fillets using fluorescence fingerprint. **LWT**, v. 92, p. 258–264, jun. 2018.
- SINGH, A.; BENJAKUL, S. Proteolysis and Its Control Using Protease Inhibitors in Fish and Fish Products: A Review: Proteolysis-control in fish/fish product... **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 2, p. 496–509, mar. 2018.
- SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. **Revista BNDES**, v. 25, n. 49, p. 119-170, jun. 2018.
- SMITH, E. P.; ROSE, K. A. Model goodness-of-fit analysis using regression and related techniques. **Ecological Modelling**, v. 77, n. 1, p. 49–64, jan. 1995.

- SREELAKSHMI, K. R. et al. Quality and Shelf Life Assessment of Puffer Fish (*Lagocephalus guentheri*) Fillets during Chilled Storage. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–37, 2 jan. 2019.
- SUN, Y. et al. Texture characteristics of chilled prepared Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during storage. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 242–254, jan. 2018.
- SVEINSDOTTIR, K. et al. Application of Quality Index Method (QIM) Scheme in Shelf-life Study of Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). **Journal of Food Science**, v. 67, n. 4, p. 1570–1579, maio 2002.
- SVEINSDOTTIR, K. et al. Quality Index Method (QIM) scheme developed for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Food Quality and Preference**, v. 14, n. 3, p. 237–245, abr. 2003.
- SZCZESNIAK, A. S.; SKINNER, E. Z. Meaning of texture words to the consumer. **Journal of Texture Studies**, v. 4, n. 3, p. 378–384, out. 1973.
- TANG, M. et al. Degradation of structural proteins and their relationship with the quality of Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during post-mortem storage and cooking. **International Journal of Food Science & Technology**, p. ijfs.14421, 3 nov. 2019.
- TE GIFFEL, M. C.; ZWIETERING, M. H. Validation of predictive models describing the growth of *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 46, n. 2, p. 135–149, fev. 1999.
- VAZ-PIRES, P.; SEIXAS, P. Development of new quality index method (QIM) schemes for cuttlefish (*Sepia officinalis*) and broadtail shortfin squid (*Illex coindetii*). **Food Control**, v. 17, n. 12, p. 942–949, dez. 2006.
- VÁZQUEZ-ORTIZ, F. A. et al. Application of the Freshness Quality Index (K Value) for Fresh Fish to Canned Sardines from Northwestern Mexico. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 10, n. 2, p. 158–165, jun. 1997.
- VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, D. et al. Quality Index Method (QIM) Scheme Developed for Whole Nile Tilapias (*Oreochromis niloticus*) Ice Stored under Refrigeration and Correlation with Physicochemical and Microbiological Quality Parameters. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, p. 1–13, 10 fev. 2020.
- WANG, X. et al. Optimization of Fish Quality by Evaluation of Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) and Texture Profile Analysis (TPA) by Near-Infrared (NIR) Hyperspectral Imaging. **Analytical Letters**, v. 52, n. 12, p. 1845–1859, 13 ago. 2019.
- WILSON, A.; OBERLE, C.; OBERLE, D. Detection of Off-Flavor in Catfish Using a Conducting Polymer Electronic-Nose Technology. **Sensors**, v. 13, n. 12, p. 15968–15984, 25 nov. 2013.
- WOJNOWSKI, W. et al. Portable Electronic Nose Based on Electrochemical Sensors for Food Quality Assessment. **Sensors**, v. 17, n. 12, p. 2715, 24 nov. 2017.

- WOLD, S.; SJÖSTRÖM, M.; ERIKSSON, L. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 58, n. 2, p. 109–130, out. 2001.
- WU, F. et al. Effect of stocking density on growth performance, serum biochemical parameters, and muscle texture properties of genetically improved farm tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 26, n. 5, p. 1247–1259, out. 2018.
- WU, L.; PU, H.; SUN, D.-W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments. **Trends in Food Science & Technology**, v. 83, p. 259–273, jan. 2019.
- XU, Y. et al. Physicochemical Responses and Quality Changes of Turbot (*Psetta maxima*) During Refrigerated Storage. **International Journal of Food Properties**, v. 19, n. 1, p. 196–209, 2 jan. 2016.
- YAGIZ, Y. et al. Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 4, p. 728–730, 15 mar. 2009.
- YANG, S. et al. Quality Evaluation of Crisp Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. ET V) Based on Instrumental Texture Analysis and Cluster Analysis. **Food Analytical Methods**, v. 8, n. 8, p. 2107–2114, set. 2015.
- YU, D. et al. Inhibitory effects of chitosan-based coatings on endogenous enzyme activities, proteolytic degradation and texture softening of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4 °C. **Food Chemistry**, v. 262, p. 1–6, out. 2018.
- ZARAGOZÁ, P. et al. Development of a colorimetric sensor array for squid spoilage assessment. **Food Chemistry**, v. 175, p. 315–321, maio 2015.
- ZAUKUU, J. L. Z. et al. Emerging trends of advanced sensor based instruments for meat, poultry and fish quality– a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–18, 3 dez. 2019.
- ZHONG, X. et al. Rapid and ultrasensitive detection of biogenic amines with colorimetric sensor array. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 274, p. 464–471, nov. 2018.

**APÊNDICE A – RESPOSTA AOS COMENTÁRIOS DOS EDITORES E
REVISORES AO ARTIGO DE REVISÃO**

To Dr. Witoon Prinyawiwatkul

Rio de Janeiro, May 23th 2020

Associate Editor: Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety

Dear Editor,

We would like to thank the editors and reviewers for their insight and thoughtful critique of our manuscript. We believe that we have fully addressed all of these concerns and comments, which has increased the overall impact of the manuscript. We insert further information and references, update the Tables format and titles, and other improvements in general. Furthermore, thank you for giving us a second chance to bring our manuscript to a state of acceptability.

RESPONSE

Editor in Chief: “I think that readers who are not familiar with the method would like to know from the title that it refers to fish quality, not the quality of all foods.”

Answer: *We appreciate the regard. The word “Fish” was included in the title to better explain to the readers that the manuscript refers to fish quality.*

Associate Editor: “In the Conclusion section, the sentence “However, QIM presents limitations that make it impracticable as an official quality assessment method...” should be modified. Titles of Tables 1-3 should be more informative.”

Answer: *We appreciate the comment. The sentence mentioned above was rewritten (see Conclusion, lines 620-621). The titles of Tables 1 to 3 were also rewritten to better expose the information that the tables provided (see Tables 1 to 3).*

Reviewer 1: Line 594. As concluded by the author, novel methodologies such as e-nose, e-tongue, MVS and CSA have been employed as a potential alternative to the subjectivity of QIM. This is not new. I would like to hear what the authors think about what could be the challenges of using these artificial instruments into practices and how to overcome their limitations.

Answer: *We welcome the regard, that improved our debate about the adoption of these novel sensory bionic technologies. In this way, we addressed a new section (section 8.5) to discuss the practical challenges of employing these potential alternatives, such as structural and methodological limitations. In addition, we presented options of how to surpass these barriers (e.g. the use of protocols that minimize the biochemical changes before the employment of e-tongues). Finally, we rewrote part of the Conclusion, removing the word "novel" when we address about the sensory bionic technologies (see Conclusion, lines 624-627).*

Reviewer 2: "Lines 147-149. I do not agree with "These factors usually represent high costs and especially compromise the reproducibility of the QIM, resulting in controversial results even for similar species, preventing its widespread use as an official method for freshness assessment" (lines 147-149). Precisely the advantages are that the method must be specific for a species (it does not work for similar species) and that, once the QIM scheme is validated by a panel of tasters for a specific species,

it can be used by any person, since it is each term accompanied by a definition and a photo gallery. So, this system in the end is very simple. fast and economical.”

Answer: Thank you for your consideration. We agree that the fact that the method needs to be specific for each species is actually a disadvantage. What we are looking for is a standard method that can be used equally by any species, which would optimize time and costs, such as the e-noses, e-tongues and other sensory bionic technologies. Moreover, because it is a qualitative method, QIM requires a lot of fish samples (section 3.2), in addition to the use of reagents to perform the validation analysis (chemical and microbiological) (sections 6 and 7), leading to higher costs. In this way, these costs are repetitive for each species and in sum can represent a high amount. As stated in the text (section 4), the QI protocol is developed by a group of trained panelists, but this does not guarantee that it is free from errors of subjectivity, mainly due to the use of human senses, such as smell, which gets tired easily. Therefore, QIM could be considered a subjective, expensive and low-repeatability method, which the efficiency depends of several factors, that were presented and explained in the manuscript (please, see section 2, lines 144-148, or Figure 1 for a brief description of these factors). With QIM, quality prediction is compromised. Although it is a simple and fast method, quality prediction failures can generate losses due to deterioration, and thus the economic factor that was once an advantage, may have become the worst disadvantage. Considering the expected large world population, we believe that scientific advances in the prediction of fish quality can overcome the limitations of the QIM and thus optimize and protect food systems for the future (we include this last sentence in the manuscript, please see section 2, lines 151-153).

Reviewer 2: “Lines 162-168. The differences found between the authors (Vaz-Pires & Seixas, 2006 and Martinsdottir et al., 2001) are not due to the QIM method, that is, it is not a problem of the QIM method, but to having used different systems (the same would happen with any physical-chemical analysis procedure: different methods, different results).”

Answer: *Thank you for your comment. We understand the regard. To develop a QIM scheme it is necessary to respect the general guideline currently described by the ISO 8586, and previously addressed by Martinsdottir et al. (2001), which was not done by the authors that are compared in this section (3.1) (Vaz-Pires & Seixas, 2006; Sykes et al., 2009). Moreover, one of the principles of QIM is to propose a linear relationship between the freshness of the target species and the storage time. The different results found by these authors show that the QIM needs to be at least standardized (e.g. number of samples, storage temperature, number of panelists and training method) so that its results can be generalized for all samples of the same species in different studies.*

Reviewer 2: “Lines 170-189. The authors indicate the number of fish as a criticism. This number is needed to develop the QIM schema. Then to apply the QIM method, only one unit is needed to analyze a person and, in addition, the method is not destructive.”

Answer: *Thank you for your comment. We understand the regard. To apply the QIM only one unit is needed. However, to develop the protocol, a large number of samples is needed to ensure the reliability and repeatability of the method. In addition, as shown in section 3.4 (lines 228-231), QIM can be a destructive procedure when used in freezing storage conditions (below 0 °C), due to the need of thawing the samples.*

Reviewer 2: “Line 206-207. “In this way, QIM seems to be laborious and limited to qualifying only the species to which it is applied, not allowing to generalize the results”. What the authors say as criticism is precisely the advantage of the QIM, it must be specific to each species, since the degradation (even in similar species is different). There must be a QIM method by species (and form of presentation).”

Answer: *Thank you for your consideration. We understand the comment. However, establish a single QIM for each species requires (i) a large number of samples to develop the protocol, (ii) a long period for recruiting, familiarizing and training panelists, and (iii) reagents to perform the chemical and bacteriological validation of the QIM, which could generate an elevated cost. Therefore, we do not recognize this principle of QIM as an advantage. In this way, we add further information in the section 3.3, lines 210-213. In addition, there are more interesting methodologies, such as the use of artificial quality indices (AQI), which provide quick results, have a lower cost and do not depend on human senses.*

Reviewer 2: “Line 209. There is no reference to the study of López-García et al. (2014). “Development of a Quality Index Method for freshness assessment of thawed Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) stored at chilling temperature” Food and Bioprocess Technology, 7, 1847-1852.”

Answer: *Thank you for your observation. The indicated reference has been added (see section 3.4, lines 231-233), and successfully improved our discussion.*

Reviewer 2: “Lines 235-236. “The panel of assessors provides unique information about the degree of food acceptance and is also widely utilized for the determination

of quality”. The trained panel of tasters does not evaluate the acceptance of a food, that is done by a consumer study, that is, subjective sensory analysis. And to develop the QIM scheme, no consumers are used, it is necessary to use trained tasters.”

Answer: We welcome the regard. The sentence mentioned above was removed and replaced (see section 4.1, lines 243-245).

Reviewer 2: “Lines 236-247. The differences found between the authors cited may be due to the “by the incorrect training or low comparability between the assessors”. The different authors different authors are using different species.”

Answer: This part of the text was rewritten (see section 4.1, lines 250-254). Although different, both species used by the different authors have morphological and physiological similarities, which even makes it difficult to distinguish them in early (juvenile) life stages. In this way, the variations found by the authors can also be justified by the different methodologies for training panelists and establish the QI protocol.

Reviewer 2: “Lines 272-277. “QIM depends on an extended process, including recruitment, familiarization, selection and training of the assessors, these results are contradictory, making it necessary to validate the outcomes of QIM. Therefore, to evaluate the influence of the different analyses conducted by the assessors and validate the QIM results and correlate sensory rejection with predicted shelf-life, some authors have also applied diverse statistical, chemical and bacteriological analysis”. I do not understand this comment of the authors since the QIM method cannot be understood without having applied effective statistical methods, necessary to always analyze the data obtained by panels of trained tasters.”

Answer: We appreciate the comment. We reformulated this part of the text (please see section 4.2, lines 283-289). The statistical analysis is one of the principles of QIM, in order to understand the results and validate the protocol. In addition, we highlighted the multivariate analysis as the more suitable way to evaluate QIM's performance, as additional statistical analysis.

Reviewer 3: "1) the 9th part of manuscript "State of the art of instrumental methods for fish quality monitoring" seems somewhat isolated from others. Therefore, it is recommended to merge Part 9 to Part 8."

Answer: We appreciate the regard. We merge Part 9 to Part 8 as suggested by reviewer (see section 8.6).

Reviewer 3: "2) the format of tables should be three lines"

Answer: Thank you for your consideration. All the four tables were reformatted to three lines style (see Tables 1 to 4).

Best Regards,

Professor Carlos Adam Conte-Junior, Ph.D.

Avenida Athos da Silveira Ramos, nº 149, Bloco A, Sala 545. Cidade Universitária

Zip code: 21.941-909, Rio de Janeiro - RJ, Brazil

Phone: +55 21 – 3938-7825

E-mail address: conte@iq.ufrj.br

APÊNDICE B – CARTA DE ACEITE DO ARTIGO DE REVISÃO**Decision on CRF3-2020-0131.R1**

Mary Ellen Camire <onbehalf@manuscriptcentral.com>

Qui, 11/06/2020 17:54

Para: conte@iq.ufrj.br <conte@iq.ufrj.br>

Cc: yagoaab@hotmail.com <yagoaab@hotmail.com>; deneskarosario@ufrj.br <deneskarosario@ufrj.br>; deneskaic@gmail.com <deneskaic@gmail.com>; isabella.delgado@incqs.fiocruz.br <isabella.delgado@incqs.fiocruz.br>; conte@iq.ufrj.br <conte@iq.ufrj.br>

Dear Prof. Conte-Junior,

We are pleased to inform you that your manuscript "Fish Quality Index Method: principles, weaknesses, validation and alternatives – a review" (CRF3-2020-0131.R1) has been accepted for publication in Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.

We will use the files you uploaded most recently for production, unless you alert us at jfs@ift.org within 24 hours that you will send updated files. If there are any problems with your files, the editorial office will contact you.

IF MINOR EDITS NEED TO BE MADE, YOU MAY MAKE THEM WHEN YOU RECEIVE YOUR PAGE PROOFS.

The corresponding author will soon receive an e-mail from Wiley Author Services with instructions to sign and return the appropriate license agreement.

For your reference, the copyright terms are available from https://mc.manuscriptcentral.com/societyimages/jfs/IFT_Journals-CTA_Terms.pdf

A few comments of the Editor follow and, if applicable, please take appropriate action.

Editor's Comments to the Author:

Associate Editor: Prinyawiwatkul, Witoon

Comments to the Author:

The authors satisfactorily responded to comments from SE, AE and reviewers. The revised review is acceptable.

During the latter part of the production process, which should take about 1 month, the corresponding author will receive an e-mail to access and make corrections to the PDF page proof.

We greatly appreciate your choice of CRFSFS as an outlet for your work.

Sincerely,

Dr. Mary Ellen Camire

Scientific Editor, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety

P.S. – You can help your research get the attention it deserves! Check out Wiley's free Promotion Guide for best-practice recommendations for promoting your work at www.wileyauthors.com/eeo/guide. And learn more about Wiley Editing Services which offers professional video, design, and writing services to create shareable video abstracts, infographics, conference posters, lay summaries, and research news stories for your research at www.wileyauthors.com/eeo/promotion.

APÊNDICE C – ARTIGO DE REVISÃO

(Necessário equipamento com câmera e aplicativo para leitura de QR Codes)