

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIA DOS ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS
ALIMENTOS

Yasmim Sena Vaz Leães

ELABORAÇÃO DE PRODUTO CÁRNEO COM BAIXO
TEOR DE SAL UTILIZANDO ULTRASSOM E ÁGUA
ELETROLISADA

Santa Maria, RS

2019

Yasmim Sena Vaz Leães

**ELABORAÇÃO DE PRODUTO CÁRNEO COM BAIXO TEOR DE SAL
UTILIZANDO ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Carnes e Derivados, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre José Cichoski

Santa Maria, RS

2019

Leães, Yasmim Sena Vaz

Elaboração de produto cárneo com baixo teor de sal utilizando ultrassom e água eletrolisada / Yasmim Sena Vaz Leães.- 2019.

151 f.; 30 cm

Orientador: Alexandre José Cichoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2019

1. Tecnologias emergentes. 2. Redução de sal 3. Emulsões cárneas. 4. Ultrassom. 5. Água eletrolisada.
I. Cichoski, Alexandre José II. Título.

Yasmim Sena Vaz Leães

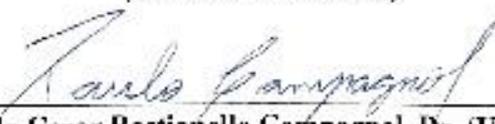
**ELABORAÇÃO DE PRODUTO CÁRNEO COM BAIXO TEOR DE SAL
UTILIZANDO ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Carnes e Derivados, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**.

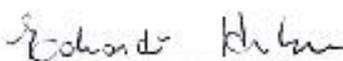
Aprovado em 01 de agosto de 2019:



Alexandre José Cichoski, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Paulo Cezar Bastianello Campagnol, Dr. (UFSM)



Eduardo Huber, Dr. (IFC)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Ao meu melhor amigo e companheiro, Alessandro. Sem você jamais teria nem sequer iniciado essa jornada. Mesmo que as coisas um dia mudem, seria injusto não o mencionar aqui por medo do amanhã. Fostes fundamental nesse processo, me apoiando, me ouvindo e me ajudando a segurar todas as barras possíveis. E principalmente, por me incentivar a sempre doar e mostrar o melhor de mim. Eu te amo muito!

À minha família (meu pai Cergio, minha mãe Maria de Fátima, minha irmã Susan, meus sobrinhos Davi e Bento e meu cunhado Marcelo) por todo apoio, mesmo que muitas vezes “à distância”. À minha tia Iara Sena Vaz, serei eternamente grata pelo incentivo e por sempre se fazer presente em nossas vidas, sendo esse anjo que eu tanto admiro. Eu amo vocês!

Aos meus anjos em forma de amigos que conheci na pós-graduação, Mariana, Cleuza, Jéssica, Ana Luísa e Luiz (e seus doguinhos maravilhosos), Silvino, Anelise, Roberta, Mariane, Caroline, Mônica, Alessandra, Sandra e Suelen. Vocês me fizeram ter certeza de que sozinho não se chega a lugar algum. Sem o apoio, sem os conselhos, e até mesmo sem ajuda de vocês na hora de “botar a mão na massa”, que foi primordial para que tudo acontecesse, eu jamais conseguiria. Agradeço especialmente à minha “*best partner*” Mariana por estar sempre disposta a me ajudar. Guria, tu és incrível, nunca deixe que ninguém te faça pensar o contrário. À Jéssica, pela amizade e pelos ensinamentos. Te desejo todo sucesso desse mundo! Ao Silvino, que mesmo com todos os afazeres, nunca esmorecia quando eu prendia o grito. E também à Cleuza, que, como IC, foi para o laboratório 109 para aprender e adquirir conhecimento. Mas que no fim das contas, fui eu quem aprendi e muito contigo. Vocês moram em meu coração.

Ao meu orientador prof. Alexandre Cichoski, agradeço por toda a paciência, compreensão e pela amizade, e principalmente por acreditar em mim mesmo em momentos nos quais nem eu mesma acreditava. Meu respeito, gratidão e consideração pelo senhor serão eternos. Obrigada por tudo!

Agradeço ao prof. Paulo Cezar Bastianello Campagnol pela parceria e orientações.

Aos meus amigos “do Alegrete” (especialmente à Aline, ao Garibaldi e à Morgana, amo vocês demais, são os irmãos que a vida me presenteou) e também os “à distância” (Pedro, valeu pela quantidade incalculável de memes que me faziam rir nos dias difíceis), que mesmo com a correria do dia-a-dia e com o “afastamento” não intencional, foram compreensivos com minha ausência e sempre me presenteavam com aquela mensagem, aquela ligação, aquela palavra de apoio e por aquela visita para matar a saudade, que mesmo tendo sido poucas durante esse período, foram fundamentais.

Aos meus colegas de morada durante o mestrado em Santa Maria, que se tornaram muito mais que isso. Vocês são grandes amigos que guardo do lado esquerdo do peito, Bárbara e Gabriel, obrigada pela companhia, pelas risadas, pelas jantas não planejadas e pelos “papos cabeça” até tarde.

Agradeço também à CAPES pelo apoio financeiro, o qual foi primordial para que pudesse chegar até aqui. Ainda, ficam meus desejos de que a CAPES e o CNPq sigam firmes

mesmo com os tempos difíceis que estamos vivenciando. Lutemos sempre pela valorização da ciência produzida no Brasil, pela pesquisa, pelo avanço e pela melhoria na qualidade de vida das pessoas.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos
Universidade Federal de Santa Maria

ELABORAÇÃO DE PRODUTO CÁRNEO COM BAIXO TEOR DE SAL UTILIZANDO ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA

AUTORA: Yasmim Sena Vaz Leães

ORIENTADO: Prof. Dr. Alexandre José Cichoski

LUGAR E DATA: Santa Maria, 1º de agosto de 2019.

O NaCl está presente em boa parte dos produtos industrializados, e o sódio contido nele tem representado riscos à saúde, quando consumido em excesso. Assim, a demanda por alimentos com teor reduzido de NaCl aumenta cada vez mais. Porém, em produtos cárneos emulsionados ele desempenha funções importantes, tais como rendimento e estabilidade da emulsão, bem como formação de gel (o que influencia diretamente na textura) e na cor do produto. O NaCl também auxilia no controle do desenvolvimento microbiano, bem como realçador de sabor. Todos estes fatores dificultam sua redução, assim, tem-se buscado por alternativas de redução de NaCl sem comprometer a qualidade do produto. A utilização de US para redução de NaCl foi estudada em algumas matrizes cárneas, entretanto, pouco se sabe sobre a aplicação de água eletrolisada (AE), sobretudo, a básica (AEB) nestes produtos. O presente trabalho teve como principais objetivos/etapas: a) investigar a ação (combinada ou não) da AEB (0,01%, -330 mV e pH 10,91) e banho de US (25 kHz, modo normal, 175 W, 0, 10 e 20 min.) em emulsão cárnea com diferentes teores de NaCl (2.5, 2.0, 1.75, 1.50 e 1.25%) sobre as características tecnológicas (rendimento, estabilidade, cor e textura); b) a partir das melhores condições obtidas nos resultados com a emulsão cárnea, investigou-se a ação destes nas características oxidativas, microbiológicas e sensoriais de produto cárneo emulsionado (mortadela), ao longo do armazenamento (dias 1, 30, 60 e 90). A AEB e US em 20 min em conjunto apresentaram efeito positivo em relação ao rendimento, estabilidade e textura das emulsões, tornando-se viável a redução de até 30% de NaCl (1.75%) sem diferir do padrão (SUSW100). Porém, a AEB, mesmo combinado ao US e em ambas concentrações de NaCl (100 e 70%), pode ter desencadeado reações que inicialmente favoreceram a oxidação (lipídica e proteica) e desenvolvimento microbiano (especialmente de microrganismos psicrotróficos e lipolíticos, sendo estes relacionados ao aumento da atividade de lipases) ao longo do armazenamento. Em contraste, a AEB apresentou resultados positivos em relação à qualidade sensorial, tendo sido atribuída a termos como “sabor agradável”, “aroma agradável” e “sabor realçado”, nas amostras com 70% de NaCl, independente da aplicação ou não de US, quando submetidas a avaliação pelo método CATA. Assim, conclui-se que o US pode ser uma alternativa viável na redução de NaCl em produto cárneo emulsionado, havendo ainda a necessidade de futuros estudos sobre as melhores condições de aplicação da AEB, mesmo que em conjunto com o US.

Palavras-Chave: Tecnologias emergentes. Redução de sal. Emulsões cárneas. Ultrassom. Água eletrolisada.

ABSTRACT

Master dissertation
Post-graduate Program in Food Science and Technology
Federal University of Santa Maria

ELABORATION OF LOW SALT MEAT PRODUCT USING ULTRASOUND AND ELECTROLYZED WATER

AUTHOR: Yasmim Sena Vaz Leães

ADVISOR: Alexandre José Cichoski

PLACE AND DATE: Santa Maria, August 1st, 2019.

NaCl is present in most industrialized products, and the sodium contained in it has presented health risks when consumed in excess. Thus, the demand for foods with low NaCl content increases more and more. However, in emulsified meat products it performs important functions such as emulsion yield and stability as well as gel formation (which directly influences the texture) and color of the product. NaCl also helps to control microbial development as well as flavor enhancer. All of these factors make it difficult to reduce it, so new alternatives for NaCl reduction without compromising product quality are being studied. The US application for NaCl reduction has been studied in some meat matrix, however, not much is known about electrolyzed water application (AE), especially the basic water (AEB). The present study had as main objectives / steps: a) to investigate the AEB (0.01%, -330 mV and pH 10.91) and US bath (25 kHz, normal mode, 175 W, 0, 10, and 20 min.) action (combined or not) in emulsion with different NaCl contents (2.5, 2.0, 1.75, 1.50 and 1.25%) on technological characteristics (yield, stability, color and texture); b) from the best conditions obtained in the results with the meat emulsion, their action on the oxidative, microbiological and sensory characteristics of emulsified meat product (mortadella) was investigated during storage (days 1, 30, 60 and 90). The AEB and US in 20 min together had a positive effect on emulsion yield, stability and texture, making it possible to reduce up to 30% NaCl (1.75%) without differing from the standard (SUSW100). However, AEB, even combined with US and both NaCl concentrations (100 and 70%), may have triggered reactions that initially favored oxidation (lipid and protein) and microbial development (especially psychrotrophic and lipolytic microorganisms, which are related increased lipase activity) during storage. In contrast, AEB was positive for sensory quality and was attributed to terms such as “pleasant taste”, “pleasant aroma” and “enhanced flavor” in samples with 70% NaCl, regardless of whether or not US was applied, when submitted to CATA evaluation. Thus, it can be concluded that the US can be a viable alternative in reducing NaCl in emulsified meat products, and further studies on the best conditions of application of AEB are needed, even if in conjunction with US.

Palavras-Chave: Emerging technologies. Salt reduction. Meat emulsions. Ultrasound. Electrolyzed water.

LISTA DE TABELAS (ARTIGO 2)

Tabela 1 – Composição centesimal nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e adição de AEB e submetidas ao US.....	87
Tabela 2 – Número de colônias de bactérias lácticas, lipolíticas e enterobactérias (log UFC/g) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismos envolvidos no processo de oxidação proteica da carne	26
Figura 2 – Gráfico gerado pelo TPA com a representação das áreas e distâncias dos picos de compressão	33
Figura 3 – Espectro do som apresentando o limite de frequência audível pelo ouvido humano (até 20 kHz) e o US (não captado pelo ouvido humano)	35
Figura 4 – Formação de bolhas submetidas a ciclos de expansão e rarefação até entrarem em colapso e originando a cavitação	36
Figura 5 – Formação e colapso de uma bolha de cavitação detectada por microscopia eletrônica.	36
Figura 6 – Sistema de sonda ultrassônica: o gerador envia o sinal até o transdutor que transforma a energia em acústica, a qual é emitida ao alimento através da sonda.....	38
Figura 7 – Diferentes tipos de sondas acústicas e seus ganhos de amplitude (D/d).....	39
Figura 8 – Sistema de um banho ultrassônico constituído por transdutores laterais (1), resistência elétrica (2) e dreno para retirada da água (3) e o tanque (4)	40
Figura 9 – Sistema de eletrolisação da água: à esquerda, formação de AEA e à direita, de AEB	44

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 1

Fig. 1 – Liberação de água (a) e gordura (b) nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US	57
Fig. 2 – Rendimento nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	58
Fig. 3 – Umidade (%) nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	59
Fig. 4 – Atividade de água nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	60
Fig. 5 – Valores de pH nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	61
Fig. 6 – Valores de POR nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	63
Fig. 7 – (a e b) Valores dureza (N) e coesividade das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	65
Fig. 8 – (a e b) Valores de elasticidade e mastigabilidade das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US	66
Fig. 9 – Valores de ΔE das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US.....	67

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2

Fig. 1 – Valores de pH das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	90
--	----

Fig. 2 – Valores de POR (mV) das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	91
Fig. 3 – Valores de atividade de água das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	93
Fig. 4 – Número de colônias de mesófilos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias). 94	
Fig. 5 – Número de colônias de bactérias psicrotróficas nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	96
Fig. 6 – Índice de peróxidos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	102
Fig. 7 – (a e b) Dienos e trienos conjugados nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	103
Fig. 8 – Avaliação do índice de TBARS nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias)	104
Fig. 9 – Quantificação do hexanal (áreas médias x10 ⁶) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	106
Fig. 10 – Valores de ΔE^* nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	107
Fig. 11 – Valores de Tiol nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	108
Fig. 12 – (a e b) Pigmentos nitrosos (ppm) e percentual de conversão dos pigmentos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).	110
Fig. 13 – (a e b) Valores de dureza (N) e elasticidade (mm) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	112
Fig. 14 – (a e b) Valores de coesividade e mastigabilidade (N) das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).....	114
Fig. 15 – Representação das amostras de mortadela com diferentes concentrações de NaCl e aplicação de AEB e US em relação aos termos analisados no teste CATA no dia 1 de armazenamento	116
Fig. 16 – Valores de aceitabilidade obtidos para as amostras de mortadela com diferentes teores de NaCl e aplicação de AEB e US no dia 1 de armazenamento	117
Fig. 17 – Percentuais de intenção de compra obtidos para as amostras de mortadela com diferentes teores de NaCl e aplicação de AEB e US no dia 1 de armazenamento	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S)	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 CARACTERÍSTICAS E IMPACTOS DO CONSUMO DE SÓDIO NA SAÚDE HUMANA	17
3.2 FUNCIONALIDADES DO NaCl NA ELABORAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS... 18	18
3.2.1 Influência do sal na qualidade de produtos cárneos emulsionados	20
3.2.2 Identidade e qualidade da mortadela	21
3.3 MICRO-ORGANISMOS EM PRODUTOS CÁRNEOS	22
3.4 OXIDAÇÕES EM PRODUTOS CÁRNEOS	24
3.4.1 Oxidação lipídica	24
3.4.2 Oxidação proteica	25
3.5 ANÁLISE SENSORIAL EM PRODUTOS CÁRNEOS	27
3.5.1 Análise objetiva em produtos cárneos	28
3.5.1.1 Cor.....	28
3.5.1.2 Textura.....	32
3.6 ULTRASSOM	34
3.6.1 Estrutura e funcionamento do US	35
3.6.2 O ultrassom como alternativa de redução de sal em produtos cárneos emulsionados	41
3.5 ÁGUA ELETROLISADA.....	42
3.5.1 Obtenção e características da água eletrolisada	43
3.5.2 Aplicações dos diferentes tipos de água eletrolisada nos alimentos	45
4 ARTIGO 1	48
ÁGUA ELETROLISADA E ULTRASSOM: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DE NaCl EM EMULSÕES CÁRNEAS¹	48
4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.2.1 Elaboração das emulsões cárneas e características da água eletrolisada básica (AEB)	52
4.2.2 Preparo da água eletrolisada alcalina	53
4.2.3 Avaliação do rendimento e da estabilidade da emulsão cárnea	53
4.2.4 Determinação de pH, POR, atividade de água e umidade	54
4.2.5 Análise de perfil de textura instrumental (TPA)	54
4.2.6 Análise objetiva de cor	54
4.2.7 Análise estatística	55
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.3.1 Estabilidade e rendimento das emulsões cárneas com diferentes concentrações de NaCl e tempos de US, elaboradas com água (W) ou BEW	55
4.3.2 Atributos de textura avaliados nas emulsões cárneas elaboradas com água (W) e com água eletrolisada básica (BEW)	63
4.3.3 Modificações na cor de emulsões cárneas elaboradas com água (W) e com água eletrolisada básica (BEW)	67
4.4 CONCLUSÃO	68
4.5 REFERÊNCIAS.....	68

5 ARTIGO 2.....	77
ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA BÁSICA AFETAM CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS, OXIDATIVAS E SENSORIAIS EM PRODUTO CÁRNEO EMULSIONADO COM TEOR REDUZIDO DE SAL?¹.....	77
5.1 INTRODUÇÃO	79
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	81
5.2.1 Elaboração dos produtos cárneos emulsionados e características da AEB.....	81
5.2.2 Condições de tratamento no US e cozimento das mortadelas.....	82
5.2.3 Avaliação da vida de prateleira	82
5.2.3.1 Composição centesimal	82
5.2.3.2 pH, POR e atividade de água	83
5.2.3.3 Análises microbiológicas.....	83
5.2.3.4 Avaliação da oxidação lipídica	84
5.2.3.4 Avaliação da oxidação proteica	85
5.2.3.6 Determinação de cor instrumental e pigmentos totais e nitrosos.....	85
5.2.3.7 Análise instrumental de textura.....	85
5.2.3.8 Análise sensorial	86
5.2.4 Análise estatística	86
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
5.3.1 Composição centesimal	87
5.3.2 pH, POR e atividade de água nas mortadelas contendo AEB e com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US.....	88
5.3.3 Análises microbiológicas	93
5.3.4 Ação do US e da AEB frente a oxidação lipídica.....	100
5.3.5 Influência do US e AEB sobre características de cor e sua relação com a oxidação proteica.....	106
5.3.6 Influência do US e da AEB sobre as características de textura.....	111
5.3.7 Análise sensorial.....	115
5.4 CONCLUSÃO	118
5.5 REFERÊNCIAS.....	119
6 RESULTADOS GERAIS.....	128REFERÊNCIAS
.....	130
APÊNDICE A (MATERIAL COMPLEMENTAR - ARTIGO 1).....	143
APÊNDICE B (MATERIAL COMPLEMENTAR - ARTIGO 2)	146
APÊNDICE C – COMPOSTOS VOLÁTEIS (HEXANAL) APRESENTADOS EM TABELA	151
APÊNDICE D – RESULTADOS DA ANÁLISE SENSORIAL (ACEITABILIDADE E INTENÇÃO DE COMPRA) APRESENTADOS EM TABELA.....	152

1 INTRODUÇÃO

O cloreto de sódio (NaCl) é popularmente conhecido como sal de cozinha, sendo considerado a principal fonte de sódio na alimentação humana (cerca de 90%) e um nutriente que possui influência direta na saúde. Estudos indicam que a elevada ingestão diária de sódio está associada ao risco de doenças cardiovasculares, gerando um problema de saúde pública (BANWART et al., 2014; KAMENIK et al., 2017). Entretanto, as funções do sal nos alimentos são diversas, tendo importância na conservação do alimento e em suas características sensoriais de textura e sabor.

Diante deste cenário, um dos grandes desafios das indústrias de alimentos atualmente é o de desenvolver produtos que apresentem boa aceitação sensorial por parte dos consumidores e que, ao mesmo tempo, possuam um teor de NaCl reduzido, possibilitando a promoção de uma alimentação mais saudável ao mesmo tempo em que se mantém a qualidade do produto (AASLYNG; VESTERGAARD; KOCH, 2014; BARETTO et al., 2018; CLUFF et al., 2017; DELGADO-PANDO et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2007).

Em produtos cárneos, o sal possui funções importantes na qualidade e características tecnológicas, podendo citar a solubilização e extração das proteínas miofibrilares da carne, as quais proporcionam aumento na capacidade de retenção de água (CRA) que influencia diretamente na textura, na maciez e na suculência, e conseqüentemente reduz as perdas por cozimento. Em produtos cárneos emulsionados como a mortadela, a hidratação das proteínas miofibrilares potencializa a ligação entre elas e também promove melhor incorporação de gordura na massa, conferindo assim estabilidade às emulsões (BANWART et al., 2014; BARETTO et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2007).

Em produtos cárneos emulsionados como a mortadela, o sal desempenha importante papel nas emulsões cárneas, e sua redução torna-se problemática. Por isso, faz-se necessário um estudo aprofundado acerca das funcionalidades do sal em emulsões cárneas, de forma a estabelecer estratégias para a sua redução sem que o produto perca sua qualidade. Nesse contexto, tem-se procurado desenvolver produtos alimentícios seguros e que apresentem maior vida de prateleira e qualidade nutricional e sensorial, ao mesmo tempo em que haja redução de custos e resíduos gerados pela indústria. Devido a isso, as técnicas convencionais de processamento e de extração aplicada em alimentos vem sendo substituídas pelas denominadas tecnologias limpas ou emergentes, as quais demandam menor tempo de processamento, menor gasto de água e energia e menor produção de efluentes e substâncias

tóxicas, destacando-se entre elas o uso do ultrassom (US) e da água eletrolisada (AE) (ALVES et al., 2013; ATHAYDE et al., 2018).

O US vem sendo estudado no processamento, com as finalidades de extração e preservação em diferentes matrizes alimentares. Através do fenômeno de cavitação promovido pelas ondas ultrassônicas de baixa frequência e alta intensidade, o US se torna eficiente na inativação de micro-organismos, por gerar aquecimento localizado na membrana citoplasmática e produção de radicais livres nocivos aos micro-organismos. Além disso, a implosão de bolhas de cavitação em dois líquidos imiscíveis (água e gordura) resulta em uma mistura eficiente das duas camadas, gerando emulsões mais estáveis quando comparadas às técnicas convencionais. Entre as vantagens da emulsificação com US em relação aos procedimentos convencionais, observa-se também a possibilidade de reduzir o tamanho de glóbulos gordurosos com distribuição homogênea em tempo reduzido. Em estudos realizados, observou-se melhoria na propriedade gelificante de proteínas reconstituídas do soro de leite bovino, bem como aumento na solubilidade e extração das proteínas. O uso do US durante a salga da carne pode, ainda, levar a uma melhor distribuição de sal, mesmo quando ele estiver em menor concentração. Além disso, a aplicação de US se mostrou benéfica no rendimento (ALVES et al., 2013; INGUGLIA et al., 2017; JAMBRAK et al., 2011; KENTISH; FENG, 2014; PRINGET et al. 2013; ZISU et al., 2008).

A água eletrolisada, por sua vez, é obtida pelo processo de eletrolisação, o qual origina a água eletrolisada ácida (AEW) e água eletrolisada básica (BEW). A água eletrolisada (EW) é geralmente formada por eletrólise de uma solução de NaCl diluído. A AEW é obtida a partir do ânodo e a AEB obtida simultaneamente a partir do cátodo (SUN et al., 2012). Existem diversos estudos que mostram a eficácia da água eletrolisada fracamente ácida em processos de sanitização nas mais diferentes etapas de processamento dos alimentos (AEYBAH; HUNG, 2005; ATHAYDE, 2017; SUN et al., 2012; XIE et al., 2012), com resultados positivos em relação à ação microbiana. Entretanto, há poucos estudos que contemplem a aplicação da BEW em produto alimentício, bem como seus efeitos na qualidade deste.

Diante do cenário de necessidade de redução de sódio para obtenção de um produto mais saudável, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de US e BEW na elaboração de um produto cárneo emulsionado (mortadela) com baixo teor de sal, visando avaliar sua influência na qualidade tecnológica, microbiológica, físico-química/oxidativa e sensorial.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Incorporar BEW na elaboração de um produto cárneo emulsionado com teor reduzido de NaCl e aplicar US.

2.2 OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S)

- Elaborar emulsões cárneas com BEW e com diferentes concentrações de NaCl, e aplicar diferentes tempos de US, e avaliar o efeito sobre as características de rendimento, estabilidade e capacidade de gelificação (textura) associadas a outros fatores como cor, pH e atividade de água;
- Elaborar um produto cárneos emulsionado (mortadela italiana) com as emulsões mais estáveis obtidas na etapa anterior, e avaliar os parâmetros oxidativos e microbiológicos ao longo do armazenamento;
- Avaliar o perfil sensorial do produto cárneo emulsionado elaborado, relacionando à aceitabilidade e intenção de compra.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERÍSTICAS E IMPACTOS DO CONSUMO DE SÓDIO NA SAÚDE HUMANA

O cloreto de sódio possui em sua composição cerca de 40% de sódio e 60% de cloreto, sendo que aproximadamente 90% do sódio presente em nossa alimentação provém do NaCl, assim quando se trata de reduzir o sódio na alimentação humana, o NaCl é geralmente o principal alvo (BANWART et al., 2014; KAMENIK et al., 2017; RUUSUNEN et al., 2004).

O sódio desempenha um papel importante no corpo humano ao manter o potencial das membranas celulares, ao auxiliar na absorção de nutrientes no intestino delgado e regular o volume de sangue e a pressão sanguínea. Entretanto, a ingestão excessiva de sódio acarreta efeitos negativos à saúde, estando diretamente relacionados com o aumento da pressão sanguínea e de risco de doenças cardiovasculares (DESMOND, 2006; DELGADO-PANDO et al., 2018; KAMENIK et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2013; STANLEY; BOWER; SULLIVAN, 2017).

A *World Health Organization* (WHO, 2003) recomenda a ingestão diária de < 5 g de NaCl, o que implica em menos de 2 g de sódio/dia. Entretanto, no Brasil, conforme os dados mais recentes encontrados, a estimativa de consumo é de 4,5 g/pessoa/dia, sendo mais do que o dobro do valor recomendado (SOUZA et al., 2017).

Diante deste cenário que se caracteriza como um problema de saúde pública, medidas vêm sendo tomadas por parte dos órgãos regulamentadores como forma de minimizar a quantidade de sódio consumida pela população. Em 2013 foi firmado um Termo de Compromisso entre o Ministério da Saúde (MS) e as associações brasileiras dos mais diversos segmentos alimentícios, com o objetivo de estabelecer estratégias para a redução do consumo de NaCl para menos de 5 g/pessoa/dia até o ano de 2022, sendo as categorias prioritárias de redução nesta etapa os produtos lácteos e os produtos cárneos (BRASIL, 2013). Entre 2010 e 2016 ocorreu a redução de 17 mil ton. de sódio nos mais diversos produtos industrializados. O acordo, que obteve renovação em 2017, prevê a meta 28,5 mil ton. de sódio a menos nos alimentos industrializados até o ano de 2022. Os setores cárneo e lácteo, de 2013 a 2016, obtiveram juntos uma redução de 2.361 ton. de sódio (BRASIL, 2017).

3.2 FUNCIONALIDADES DO NaCl NA ELABORAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS

Dentre as diversas funcionalidades do NaCl destaca-se o seu efeito antimicrobiano, o qual consiste na capacidade de reduzir a atividade de água disponível no alimento, preservando assim os alimentos de micro-organismos deteriorantes e patogênicos. Além disso, a adição de íons de sódio ao meio promove uma pressão osmótica, que se caracteriza pelo efluxo da água pela membrana semipermeável dos micro-organismos. Essa perda de água da célula promove desequilíbrio eletrolítico e pode resultar na morte dos micro-organismos ou promover lesões que venham a reduzir a sua multiplicação, propiciando assim um aumento de vida útil o produto. Devido a isso, a redução dos níveis de NaCl abaixo dos normalmente utilizados e sem qualquer outra medida de conservação, pode ocorrer redução da vida útil do produto (CORRAL; SALVADOR; FLORES, 2013; DELGADO-PANDO et al., 2018; DESMOND, 2006; INGUGLIA et al., 2017; STANLEY; BOWER; SULLIVAN, 2017).

Sob o aspecto sensorial o NaCl age como um eficiente realçador de sabor, estando diretamente relacionado com a intensidade de percepção do sabor salgado característico dos produtos cárneos, e também com sua palatabilidade (BANWART et al., 2014; INGUGLIA et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2007). O sabor constitui um fator crítico nos alimentos, uma vez que influencia na aceitação pelos consumidores. Dessa maneira a redução de NaCl pode acarretar efeitos negativos sob o ponto de vista sensorial, já que este ingrediente está diretamente relacionado ao sabor global dos alimentos do qual faz parte (BANWART et al., 2014; CLUFF et al., 2017; YOTSUYANAGI et al., 2016).

Sob o ponto de vista tecnológico, o NaCl apresenta importância na elaboração de produtos cárneos, decorrente de suas funcionalidades. A presença de NaCl age extraíndo e solubilizando as proteínas miofibrilares, aumentando sua capacidade de formar emulsões termoestáveis, ocasionando em maior capacidade de retenção de água (CRA) e rendimento do produto (menor perda de líquido no cozimento). Uma vez solubilizadas em NaCl, as proteínas formam um exsudado de característica viscosa na superfície da massa cárnea, que se agregam durante o cozimento. Isto é devido à coagulação proteica promovida pelo calor, a qual retém água livre e glóbulos de gordura. Este processo permite a criação de produtos cárneos emulsionados, tais como salsichas e mortadelas. O NaCl também é responsável pela interação proteína-proteína, melhorando assim a textura geral das carnes processadas (AASLYNG; VESTERGAARD; KOCH, 2014; CLUFF et al., 2017; DESMOND, 2006; CORRAL; RUUSUNEN; PULOANNE, 2005; CORRAL; SALVADOR; FLORES, 2013).

Dentre os produtos cárneos cuja redução no teor de sal é necessária destaca-se a mortadela, a qual caracteriza-se como um produto emulsionado e possui, em média, de 2 a 3% de NaCl em sua formulação (CAMPAGNOL, 2011). De acordo com o Termo de Compromisso (BRASIL, 2013), as indústrias de produtos cárneos deveriam atingir, em 2017, o máximo de 1180 mg/100 g e 1350 mg/100 g para as mortadelas refrigeradas e armazenadas sob temperatura ambiente, respectivamente. Entre 2013 e 2016, houve uma redução de 9,34 e 8,53% no teor de sódio das mortadelas refrigeradas e armazenadas em temperatura ambiente, respectivamente. Produtos como hambúrgueres, presunto e linguiças obtiveram maior redução de sódio neste período (BRASIL, 2017).

Diversas alternativas vêm sendo buscadas visando a redução ou substituição de sal em emulsões cárneas. Dentre elas, pode-se citar a redução no teor de sal pela substituição parcial por cloreto de potássio (KCl), o qual é considerado seguro e apresenta eficiência antimicrobiana equivalente ao NaCl, fornecendo umas das substituições mais diretas à semelhança molecular, uma vez que também possui o ânion cloreto, que é o responsável pela extração das proteínas miofibrilares. Entretanto, observa-se que em misturas superiores a 50:50 NaCl:KCl ocorre um aumento significativo na amargura e perda de salinidade, e, devido aos atributos sensoriais negativos, seu uso é limitado. Por isso, a adição de KCl nas formulações de produtos cárneos é restringida, sendo o nível de 1% considerado como o limite máximo de utilização, não podendo, assim, substituir o sal completamente. Outros substituintes que vem sendo utilizados são o cloreto de potássio (KCl) o cloreto de cálcio (CaCl_2) e o cloreto de magnésio (MgCl_2), porém dependendo do teor que são utilizados, podem apresentar perdas na estabilidade (em caso de emulsões) e rendimento de produtos cárneos no geral, não podendo ser substituintes totais do NaCl (ALVES et al., 2017; DESMOND, 2006; HORITA et al., 2014; YOTSUYANAGI et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2007; STANLEY; BOWER; SULLIVAN, 2017).

Diante do exposto acima acerca das funcionalidades e alternativas atuais em relação à substituição do NaCl, é notável que, como este desempenha importante papel nas emulsões cárneas, sua redução não é tão simples. Por isso, faz-se necessário um estudo aprofundado acerca da importância do NaCl em emulsões cárneas, visando identificar compostos e/ou tecnologias que visem a substituição ou redução de sua quantidade, mas sem que as emulsões venham a perder sua estabilidade e qualidade físico-química, microbiológica e sensorial (STANLEY; BOWER; SULLIVAN, 2017).

3.2.1 Influência do sal na qualidade de produtos cárneos emulsionados

A emulsão cárnea pode ser descrita como uma mistura finamente triturada de proteínas musculares, partículas de gordura (que conferem suculência, textura e brilho), água, sal e outros ingredientes que resultam em um produto cárneo homogêneo após a desnaturação proteica induzida pelo tratamento térmico, sendo considerada uma emulsão do tipo óleo em água (O/A), na qual consiste em glóbulos de gordura revestidos por proteínas miofibrilares (DICKINSON, 2012; GORDON e BARBUT, 1992; GRANER et al., 1974).

Sobre o mecanismo básico da estabilidade da emulsão cárnea, duas teorias são apresentadas: a primeira, na qual a fase dispersa consiste em partículas de gordura contidas em fase aquosa onde se encontram, além de outras substâncias, proteínas miofibrilares solúveis em solução salina, as quais são fundamentais para formar e estabilizar a emulsão, uma vez que evita a agregação dos glóbulos de gordura ao formarem uma membrana interfacial em torno destes; a segunda parte do princípio de que as proteínas podem agir modificando a estrutura física do glóbulo de gordura, na qual as partículas aprisionadas são estabilizadas pela rede de gel formada pela proteína extraída em solução salina, o que implica na redução do tamanho destes glóbulos de gordura, conferindo maior estabilidade. Além disso, pode-se dizer que a massa cárnea crua é uma emulsão, enquanto o produto cárneo emulsionado após cozido constitui-se de um gel (GORDON e BARBUT, 1992; GRANER et al., 1974; SANTHI; KALAIKANNAN; SURESHKUMAR, 2015; ZHAO et al., 2019).

Em uma emulsão cárnea considerada estável, ocorre o equilíbrio entre interações gordura-proteína e proteína-água, não havendo, em decorrência do tratamento térmico (cozimento), a separação entre as fases. Isso ocorre devido a formação de gel, oriundo da desnaturação e agregação proteica, sendo a miosina a principal proteína envolvida nesses processos, por apresentar alta capacidade emulsificante. A ação do NaCl nas proteínas miofibrilares é devido ao íon cloreto, que é carregado negativamente em solução. Este recurso age aumentando as cargas negativas nas proteínas, fazendo que elas se afastem e aumentem o espaço entre si, retendo mais água. As proteínas não extraídas em solução salina, especialmente as actomiosinas, são melhores solubilizadas com a adição de fosfato. A gelificação induzida pelo calor consiste em um processo físico-químico complexo que envolve mudanças funcionais e estruturais nas proteínas miofibrilares solúveis em solução salina, formando então uma rede de proteínas que envolve os glóbulos de gordura, permitindo que estes glóbulos interajam com outros ingredientes que contribuem na estabilidade da emulsão, bem como conferir sabor, textura e suculência apropriados (GORDON e BARBUT,

1992; GRANER et al., 1974; SANTHI; KALAIKANNAN; SURESHKUMAR, 2015; VISESSANGUAN et al., 2000; YANG et al., 2016; ZHAO et al., 2019).

Logo, pode-se dizer que a formação de uma matriz proteica coesa é extremamente importante para ajudar a estabilizar a emulsão e aumentar a capacidade de retenção de água, e quanto maior o teor dessas proteínas solubilizadas, mais estável será o produto. Assim, pode-se apontar como principal ação do NaCl em emulsões cárneas a solubilização das proteínas miofibrilares, o que conseqüentemente influencia na estabilidade da emulsão e formação de gel durante o cozimento. De acordo com Gordon e Barbut (1992), a redução no nível de NaCl para 1% reduz em até 50% o total de proteínas extraídas, o que afeta negativamente a estabilidade e o rendimento do produto final. Entretanto, estudos mostram que a redução do teor de NaCl para 1,4% em salsichas cozidas mostrou ser possível, mantendo salinidade, firmeza, capacidade de retenção de água (CRA) e retenção gordura aceitáveis (TOBIN et al., 2013). Park e Kim (2016), ao avaliarem as propriedades físico-químicas de emulsões cárneas oriundas de peito de frango utilizando várias concentrações de NaCl observaram que foi possível reduzir de 1,5 para 1,2% o teor de NaCl sem que o produto perdesse estabilidade e textura.

3.2.2 Identidade e qualidade da mortadela

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 4, de 31 de março de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, entende-se por “mortadela”:

(...) o produto cárneo industrializado, obtido de uma emulsão das carnes de animais de açougue, acrescido ou não de toucinho, adicionado de ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial, em diferentes formas, e submetido ao tratamento térmico adequado (BRASIL, 2000).

Esta mesma IN classifica a mortadela de acordo com a composição da matéria-prima e técnicas de fabricação. A mortadela italiana possui em sua formulação porções musculares de carnes de diferentes espécies de animais de açougue e toucinho, não sendo permitida a adição de amido e proteínas não cárneas. A Bologna permite apenas a utilização de carne bovina e/ou suína e toucinho, não sendo permitida a adição de amido (BRASIL, 2000).

Com relação às características físico-químicas, de uma forma geral a mortadela deverá apresentar máximo de 30% de gordura (exceto a italiana e a *bologna*, cujo teor máximo é de 35%); umidade de no máximo 65%; no mínimo 12% de proteína; e amido e carboidratos totais cujo somatório não ultrapasse os 10% (BRASIL, 2000).

3.3 MICRO-ORGANISMOS EM PRODUTOS CÁRNEOS

A carne é considerada um excelente meio de cultura para os micro-organismos, pois apresenta fatores intrínsecos e extrínsecos que favorecem o desenvolvimento microbiano, sendo os principais a elevada atividade de água, a composição (especialmente o conteúdo proteico e lipídico), o potencial de oxirredução (POR) mais propenso a receber elétrons (o que auxilia na determinação de diversas reações de origem microbiana e oxidativa) e o pH final elevado, tornando-se favorável para o desenvolvimento microbiano. Logo, pode-se dizer que a avaliação destas características não investiga apenas a influência sobre a velocidade de multiplicação dos microrganismos, mas também interfere na qualidade e vida útil dos produtos cárneos, pois possibilita a avaliação dos microrganismos predominantes no produto, bem como o potencial e a provável natureza dos processos de deterioração que ele poderá sofrer, assim como o tipo, a intensidade e os parâmetros do processamento térmico a que deve ser submetido. O cozimento de produtos cárneos é um dos processos que vem a reduzir a carga microbiana. Entretanto, micro-organismos que sobrevivem ao processo devem ser controlados pela utilização dos sais de cura que agem de forma a inibir seu desenvolvimento, sendo os mais utilizados para esta finalidade o nitrito, o nitrato (que alteram o pH) e o NaCl (que influencia na atividade de água devido à ação osmótica), sendo este último o mais importante (ALCANTARA et al., 2012; JAY, 2005; NDOB; LEBERT, 2017; ORSOLIN et al., 2015).

Para verificar a qualidade do produto, micro-organismos indicadores são comumente utilizados na avaliação da qualidade microbiológica dos alimentos no que tange a vida de prateleira e a segurança alimentar, indicando a presença de patógenos alimentares. Os produtos cárneos, por sua vez, são produtos que passam por processos de cura, defumação ou cocção. Logo, a deterioração de produtos cárneos pode ser classificada de acordo com a sua composição, a atmosfera que envolve os produtos, bem como temperatura de armazenamento, que é outro fator de importância que influencia no tipo de deterioração (FRANCO; LANDGRAF, 2008; HANGUI et al., 2015; JAY, 2005).

O armazenamento pelo frio (refrigerado ou congelado) de *carne in natura* e produtos cárneos como salsichas, mortadelas, linguiças frescas, presunto, entre outros, é amplamente utilizado para reduzir mudanças químicas e bioquímicas e aumentar a vida útil dos mesmos. As principais mudanças estão relacionadas ao crescimento microbiano, o que pode resultar em deterioração, principalmente pela atuação de micro-organismos psicrotróficos aeróbios e

anaeróbios facultativos, destacando-se neste grupo as *Pseudomonas* ssp., a qual se desenvolve rapidamente, usando glicose primeiro e depois aminoácidos. Uma vez que os carboidratos simples tenham sido exauridos, outros psicrotróficos (como *Aeromonas*, *Brochothrix*, *Shewanella putrefaciens*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Serratia* e *Enterobacter*) começam a utilizar aminoácidos livres e compostos nitrogenados simples relacionados. Eles produzem sulfato de metila, ésteres e ácidos. Quando aminoácidos são usados, *Pseudomonas* (como *P. fragi*, *P. fluorescentes* e *P. putida*), *Aeromonas*, *Proteus*, *Clostridium* e outras bactérias de deterioração produzem enzimas proteolíticas. A proteólise detectável em carnes ocorre apenas em populações maiores que 10⁸ unidades formadoras de colônias (UFC) / cm². Além disso, algumas bactérias como *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium sporogens* e o fungo *Penicillium commune* tem a capacidade de produzir lipases, que catalisam a hidrólise de triglicerídeos em glicerol e ácidos graxos juntamente com seus produtos de oxidação que contribuem para a rancidez, sendo estes caracterizados como micro-organismos lipolíticos (CAPODIFOGLIO et al., 2016; CUSTÓDIO et al., 2018; ERKMEN; BOZORGU, 2016; SIGMA-ALDRICH, 2013).

Dentre os micro-organismos que se desenvolvem em produtos cárneos, poucos são os que deterioram o produto através de suas atividades metabólicas. O metabolismo microbiano é caracterizado pelo consumo de metabólitos e pela produção de novos. O melhor exemplo disso é a ação das bactérias ácido lácticas (BAL), que produzem ácido láctico a partir do consumo das fontes de carbono presentes na carne. O ácido láctico pode ter efeitos diferentes, desejáveis ou indesejáveis, dependendo do tipo de produto cárneo. O ácido láctico pode influenciar a textura induzindo a precipitação de proteínas, a segurança microbiana devido à acidez promovida e conseqüentemente à queda de pH, que exerce um efeito antimicrobiano, e também leva a produção de gosto ácido. As conseqüências da atividade metabólica oriunda das BAL podem levar à deterioração de diferentes produtos cárneos cozidos. Por outro lado, é um dos passos importantes da fabricação de produtos como salames e salsichas fermentadas (GEERAERTS et al., 2018; ZAGOREC; CHAMPOMIER-VERGES, 2017).

Em relação aos micro-organismos patogênicos que podem estar presentes na carne e em produtos cárneos, a contagem total de bactérias aeróbias mesófilas vem a ser útil para obter informações sobre o prazo de validade de alimentos, mas indica principalmente as condições de higiene dos ingredientes e as de processamento e manuseio do produto, uma vez que a maioria dos micro-organismos patogênicos são mesófilos, por terem seu desenvolvimento ótimo em temperaturas entre 20 e 45 °C. No entanto, os principais indicadores das condições higiênico-sanitárias de produção neste tipo de produto são bactérias

pertencentes à família *Enterobacteriaceae*, como a *Escherichia coli*, e os gêneros *Staphylococcus* spp e *Salmonella* spp. A presença desses micro-organismos em alta contagem pode indicar manipulação inadequada ou ineficácia de processos como o tratamento térmico/cozimento (HANGUI et al., 2015; JULIÃO et al., 2018).

3.4 OXIDAÇÕES EM PRODUTOS CÁRNEOS

3.4.1 Oxidação lipídica

A oxidação nos alimentos representa um sério problema, uma vez que originam produtos indesejáveis tanto pela decomposição dos lipídios como pela produção de compostos voláteis. Estes compostos promovem a destruição de constituintes essenciais (ocasionando em perda de valor nutricional), formação de compostos tóxicos durante o processamento e armazenamento do alimento, bem como alterações sensoriais indesejáveis. Dentre os principais mecanismos de oxidação lipídica em alimentos, encontram-se a rancidez oxidativa (conhecida também como auto-oxidação, a qual é desencadeada pela ação direta do oxigênio nas duplas ligações dos ácidos graxos) e a rancidez hidrolítica, que pode ser por processo enzimático (lipoxigenase) e químico (foto-oxidação), as quais, em geral, tem como principal desencadeador a formação de radicais livres (FENNEMA; PARKIN. DAMODARAN, 2010; JORGE, 2009).

De uma forma geral, a rancidez oxidativa constitui-se das fases de iniciação, propagação e terminação. Na fase de iniciação ocorre formação de peróxidos e hidroperóxidos, sendo estes os principais compostos formados neste processo, os quais originam outros produtos de oxidação responsáveis pelo aroma e sabor de ranço. Nesta fase, devido ao deslocamento das duplas ligações, também é possível observar a evolução da oxidação pela formação de dienos e trienos conjugados, sendo este último correspondente à formação de compostos secundários da oxidação. Na propagação os hidrogênios são subtraídos dos ácidos graxos, transformando-se em radicais livres e tornando-se um processo autocatalítico, no qual ocorre aumento na velocidade de formação de peróxidos e modificações estruturais na molécula do ácido graxo. E por fim, na terminação ocorre ruptura molecular e redução das insaturações dos ácidos graxos. Devido ao esgotamento destas ligações, os radicais livres se ligam uns aos outros, havendo a formação de produtos estáveis/não reativos de potencial tóxico, tais como aldeídos (especialmente o malonaldeído), cetonas, peróxidos e hidrocarbonetos. O sabor e odor de ranço já originado na fase de

iniciação é acentuado nesta etapa pela formação de compostos altamente voláteis. Em produtos cárneos, os principais compostos voláteis que indicam o *stress* oxidativo e *off-flavors* são o hexanal e o pentanal, os quais são provenientes de fosfolipídeos e ácidos graxos insaturados (ESKIN; SAHIDI, 2013; GUYON; MEYNIER; LAMBALLERIE, 2016; JORGE, 2009; FENNEMA; PARKIN, DAMODARAN, 2010; MEDINA-MEZA; BARNABA; CÁNOVAS, 2013).

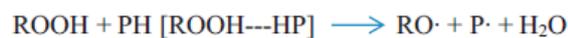
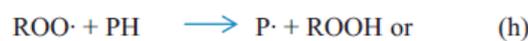
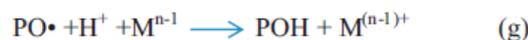
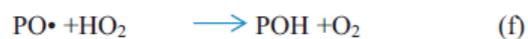
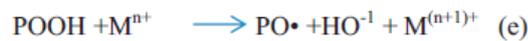
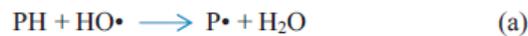
A oxidação lipídica é uma das principais causas da deterioração da carne e dos produtos cárneos, e isso ocorre devido ao alto conteúdo lipídico intra e extracelular (principalmente na forma de triacilgliceróis, fosfolipídeos e esteróis), pigmentos heme, catalisadores metálicos e uma variedade de agentes oxidantes no tecido muscular. A deterioração oxidativa na carne se apresenta principalmente pela descoloração, desenvolvimento de sabor e odor desagradáveis, formação de compostos tóxicos, redução da vida útil, bem como perda por gotejamento (alteração na textura) e de nutrientes, podendo ocorrer de forma endógena, pela ação de íons metálicos (principalmente o ferro) ou exógena, pela reação direta com o oxigênio. É importante ressaltar que a oxidação em carnes e produtos cárneos também irá depender das condições de armazenamento do produto, tipo de embalagem, bem como a distribuição de ácidos graxos insaturados, pH da carne/produto, espécie do animal, raça e tipo de músculo (FALOWO; FAYEMI; MUCHENJE, 2014; GUYON; MEYNIER; LAMBALLERIE, 2016; PONNAPALAM et al., 2017).

3.4.2 Oxidação proteica

A oxidação lipídica e suas alterações nos alimentos tem sido amplamente estudadas ao longo do tempo. Entretanto, a oxidação proteica, no que compete aos seus mecanismos e alterações nos alimentos, especialmente em carnes e produtos cárneos, é um assunto relativamente recente, sendo considerada uma das questões mais inovadoras na avaliação da qualidade da carne. Isso ocorre devido ao alto teor proteico do músculo, o qual desempenha papel fundamental na qualidade sensorial, nutricional e físico-química da carne e produtos cárneos. A oxidação proteica implica na produção de vários derivados oxidativos, podendo citar as modificações nas cadeias laterais dos aminoácidos, incluindo oxidação do grupamento tiol pela formação de pontes dissulfeto, formação de carbonilas (aldeídos e cetonas), polímeros de proteínas, cisões peptídicas e hidroxilação aromática (FALOWO; FAYEMI; MUCHENJE, 2014; GUYON; MEYNIER; LAMBALLERIE, 2016).

O mecanismo de oxidação proteica ocorre, assim como a oxidação lipídica, através de uma reação em cadeia de radicais livres reativos ao oxigênio (ROS) (figura 1). Na iniciação, os átomos de hidrogênio da proteína (PH) são abstraídos via ROS, formando proteína radical centrada em carbono ($P \bullet$) (reação a) a qual é convertida em radical anakylproxyl, ($POO \bullet$) (reação b) na presença de oxigênio e para um alquilperóxido ($POOH$) (reação c), abstraindo os átomos de hidrogênio de outra molécula suscetível. Ocorre também reações subsequentes com ROS, como formação de HO_2 ou com formas reduzidas de metais de transição (Mn^{+}), tais como Fe^{2+} ou Cu^{+1} , os quais levam à produção de ($PO \bullet$) (reações d, e, f) e seu derivado hidroxila (POH) (reação g). A oxidação proteica também pode ser desencadeada pela interação entre proteínas, especialmente os centros de nitrogênio ou enxofre de resíduos de aminoácidos reativos de proteína (PH) e hidroperóxido lipídico ($ROOH$) e/ou produtos secundários de oxidação lipídica, como aldeídos ou açúcares redutores (BERARDO et al., 2016; FALOWO; FAYEMI; MUCHENJE, 2014; SOLADOYE et al., 2015).

Figura 1 – Mecanismos envolvidos no processo de oxidação proteica da carne



Fonte: (FALOWO; FAYEMI; MUCHENJE, 2014).

Pontes dissulfeto, ditirosina e outros compostos intermoleculares induzidos pela oxidação podem resultar em agregação de proteínas e polimerização para alterar suas propriedades proteolíticas. Isto ocorre principalmente devido a um processo de

desdobramento induzido pela oxidação, que aumenta a hidrofobicidade da superfície da proteína oxidada, podendo influenciar em propriedades físicas e químicas das proteínas da carne, incluindo solubilidade, CRA, maciez e funções de gelificação. Além disso, as alterações induzidas pela oxidação proteica podem diminuir a biodisponibilidade de resíduos de aminoácidos e modificar a digestibilidade das proteínas, afetando negativamente o valor nutricional da carne (SOLADOYE et al., 2015; UTRERA; PARRA; ESTEVEZ, 2014; WANG et al., 2018b; ZHANG; XIAO; AHN, 2013).

3.5 ANÁLISE SENSORIAL EM PRODUTOS CÁRNEOS

As características sensoriais dos alimentos são os atributos avaliados pelos órgãos do sentido, sendo que em relação a carne e produtos cárneos, pode-se considerar os atributos de importância para o consumidor a cor, o aroma, a maciez, o frescor, a firmeza, o sabor, bem como salinidade e palatabilidade (ANDRADE et al., 2018).

A aplicação dos métodos sensoriais varia de acordo com a finalidade, sendo que a indústria cárnea é fortemente dependente da aceitação dos produtos por parte dos consumidores, ainda mais quando se trata de inovações tecnológicas e redução de sódio, nitrito ou gordura em produtos cárneos processados. Quando essas modificações ocorrem é necessário avaliar o grau de aceitabilidade do produto por intermédio de métodos afetivos como o de escala hedônica, que com base em escores (podendo ser estruturada ou não), o provador demonstra o quanto gostou ou desgostou da amostra ou de diferentes atributos relacionados a ela, tais como sabor, textura, odor, cor e/ou aparência de uma forma global. Geralmente, as escalas mais utilizadas são as de 9 e 7 pontos e necessita de uma amostragem expressiva em relação ao número de provadores (recomenda-se n maior ou igual a 100), por se tratar de um teste destinado a consumidores do produto em geral, ou seja, pessoas que não receberam treinamento. Este tipo de teste permite aplicação em mais de uma amostra por sessão (sendo recomendado até 6 amostras por sessão para evitar fadiga sensorial), desde que a avaliação seja realizada individualmente, e não comparando as amostras entre si (ANDRADE et al., 2018; DUTCOSKY, 2013; O'SULLIVAN, 2017; TEIXEIRA, 2009; SHAN et al., 2016; TORRICO et al., 2018).

Além dos métodos afetivos também há os descritivos, que podem ser aplicados a fim de traçar um perfil sensorial de determinado produto. No geral, são métodos que demandam maior investimento e tempo para sua aplicação. Devido a estas restrições, há um crescente interesse no desenvolvimento de métodos mais rápidos de caracterização de perfil sensorial

dos alimentos, podendo citar o questionário “marque tudo que se aplica”, do inglês “*check-all-that-apply*”, cuja técnica visa aproximar o perfil sensorial da percepção do consumidor de forma rápida, simples e com menor custo em relação às técnicas que exigem painel de provadores treinados (JORGE et al., 2015). A técnica descritiva CATA é uma abordagem tradicionalmente utilizada na pesquisa de *marketing* para determinar como é realizada a percepção dos consumidores frente aos produtos, identificando quais associações os consumidores realizam ao ver/consumir um determinado produto, sendo considerada bastante prática e rápida, uma vez que não exige treinamento prolongado. Ainda, quando combinado com métodos afetivos como o de aceitabilidade, representa uma ferramenta muito eficaz para avaliar a qualidade e perfil sensorial de novos produtos. Os resultados podem ser relacionados a atributos do produto por intermédio de análise de componentes principais (PCA), a fim de encontrar relação entre a qualidade sensorial e alterações de origem bioquímica (como a oxidação, por exemplo) ou microbiológica, bem como comparar com métodos objetivos/instrumentais de avaliação dos atributos sensoriais, tais como cor e textura (JORGE et al., 2015; SALDAÑA et al., 2019).

O CATA consiste na aplicação de uma lista de terminologias que melhor descrevem o produto positiva ou negativamente, possibilitando que o consumidor/provador trace um perfil sensorial do produto. Estas terminologias, antes da aplicação do teste propriamente dito, são definidas e selecionadas por uma equipe de provadores (ALEXI et al., 2018; BRUZZONE et al., 2011). Em produtos cárneos, vem sendo amplamente utilizada a fim de traçar as características sensoriais dos produtos, principalmente em relação às modificações ocorridas durante o armazenamento (ALVES et al., 2017; ANDRADE et al., 2018; HECK et al., 2017; HECK et al., 2019; JORGE et al., 2015; GONZÁLEZ-CASADO; JÍMENEZ-CARVELO; CUADROS-RODRÍGUEZ, 2019; SALDAÑA et al., 2019; SILVA et al., 2019; YOSTSUYANAGY et al., 2016).

3.5.1 Análise objetiva em produtos cárneos

3.5.1.1 Cor

Alimentos possuem cor devido a presença de pigmentos, os quais são capazes de modificar a cor da luz transmitida ou refletida como resultado de absorção seletiva em um determinado comprimento de onda. Desta forma, tanto a concentração de pigmentos presentes no músculo como o estado químico desses pigmentos são determinantes na cor da carne ou do

produto cárneo, sendo que esta é uma importante característica que influencia diretamente na decisão de compra do consumidor (MANCINI; HUNT, 2005; SUMAN; NAIR, 2018).

O principal pigmento responsável pela cor da carne é a mioglobina (Mb), que se caracteriza como uma proteína presente no sarcoplasma da fibra muscular constituída de um grupo proteico (heme) ligado a uma molécula de proteína globular (globina), embora outras proteínas heme, como a hemoglobina e o citocromo C também tenham papel relevante no desenvolvimento da cor em carnes. A natureza ressonante das ligações duplas conjugadas no grupo heme é responsável pela capacidade de Mb para absorver a luz visível e, assim, obter a função de pigmento. No músculo vivo, desempenha a função de oxigenação para a mitocôndria. A cadeia de globina consiste em oito segmentos helicoidais que formam uma estrutura espiralada envolvendo heme, e a capacidade do Mb de se ligar ao oxigênio é devida à presença do heme localizado dentro de sua respectiva fenda. A cadeia de globina confere solubilidade em água ao grupo heme e protege o ferro heme de ambientes externos / oxidação para que a proteína possa manter sua funcionalidade. A formação da cor e o controle da descoloração das carnes exigem o conhecimento das reações que envolvem as três formas da mioglobina, e a formação destes compostos depende de reações de oxidação, oxigenação e redução da mioglobina (MANCINI e HUNT, 2005; SOARES; SILVA; GÓES, 2017; RAMOS; GOMIDE, 2017; SARANTÓPOULOS; PIZZINATTO, 1990; SUMAN; JOSEPH, 2012).

As reações ocorrem uma vez que o íon ferroso (Fe^{2+}) dos pigmentos heme pode aceitar seis elétrons em seu orbital mais externo e formar seis ligações covalentes, quatro com os átomos de nitrogênio dos anéis pirrólicos do grupo heme e uma com histidina proximal (posição 93 na cadeia da globina), ficando o sexto elétron disponível, o qual pode se ligar covalentemente ao oxigênio molecular gerando a oximioglobina, sendo esta a cor considerada ideal em carne pela maioria dos consumidores, por ser uma cor vermelho brilhante na presença de altas pressões de O_2 . Na ausência de oxigênio, a carne possui coloração púrpura, em decorrência da predominância da deoximioglobina, tendo como exemplo as carnes embaladas à vácuo. Em baixas pressões de oxigênio (1e 20mmHg), pode ocorrer a formação de cor amarronzada, denominada como metamioglobina ou mioglobina oxidada, que apresenta o íon ferrico (Fe^{3+}), sendo considerada um importante parâmetro de deterioração da carne e de produtos cárneos, por indicar efeitos negativos sobre a cor, aroma, sabor, textura e valor nutritivo. Ainda, a partir do avanço do processo de deterioração, pode haver a formação de sulfomioglobina, devido à produção de H_2S por micro-organismos deteriorantes (OLIVO, 2006; SOARES, SILVA e GÓIS, 2017).

Durante o cozimento da carne, ocorre a desnaturação do Mb solúvel, especialmente da globina (que expõe o grupo heme e aumenta a susceptibilidade deste à oxidação) é responsável pela cor marrom opaca das carnes cozidas. Sobre isso, pode-se dizer que a bioquímica da cor cozida difere da cor da carne *in natura*, muito embora se relacionem entre si devido a ação de vários fatores, especialmente em relação à estabilidade térmica da Mb, influenciada principalmente pela forma redox predominante, o pH (que quanto mais ácido, menos estável a Mb será ao tratamento térmico, tornando-a mais propensa à formação de coloração marrom) e a estrutura primária dos aminoácidos. Quando ocorre a exposição da porção heme, o pigmento se torna mais suscetível à oxidação do que o heme em seu estado original. Ainda, os pigmentos nas carnes cozidas coagulam e se tornam insolúveis em água / tampões (SUMAN et al., 2016).

Existem formas de avaliar os estágios de deterioração da Mb, podendo ser sensorial ou instrumentalmente. Os instrumentos de medição e quantificação desses atributos são chamados de espectrofotômetros e colorímetros, os quais medem a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em faixas específicas, para então quantificar os dados espectrais a fim de determinar as coordenadas de cor do objeto no espaço de cor $L^*a^*b^*$, apresentando a informação em termos numéricos. Sendo que L^* representa a luminosidade, a^* representa o teor de vermelho e b^* o teor de amarelo. Quanto menor é o valor de L^* e maior o valor de a^* , mais vermelha é a carne avaliada, e quanto maior o teor de b^* , no caso de carne e produtos cárneos, indica a formação de metamioglobina. Essas medições de refletância devem ser usadas para avaliar os pigmentos cárneos em produtos cozidos, enquanto a espectrofotometria de absorção é direcionada ao estudo dos pigmentos de carne *in natura*. Um fator importante a ser levado em consideração é o ângulo observador, que para carne e produtos cárneos, geralmente varia entre 2 a 10°, sendo o último o mais utilizado e recomendado por captar uma maior porção de amostra digitalizada e alinhar-se com o observador padrão 10°. Entretanto, é importante ressaltar que deve se tomar o devido cuidado neste tipo de análise, uma vez que o meio opticamente não homogêneo da carne e seus derivados refratam, refletem, difundem e absorvem o feixe luminoso emitido pelo colorímetro, não sendo incomum a ocorrência de ligeiros desvios nas leituras de cores, mesmo utilizando o mesmo equipamento no mesmo local da amostra, durante as repetições (AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION; RAMOS; GOMIDE, 2017; TOMASEVIC et al., 2019).

A partir destes valores de refletância obtidos pelo colorímetro, ainda é possível calcular outras características importantes da cor da carne, como por exemplo o Hue Angle e

o ΔE . O Hue Angle tem como objetivo avaliar a descoloração do pigmento cárneo em relação ao tempo de armazenamento, sendo que valores maiores de HA indicam maior presença de metamioglobina. Já o ΔE objetiva verificar a mudança da cor em relação a diferença entre o tempo inicial e final de armazenamento (AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION, 2012).

Outras determinações muito importantes acerca da cor da carne são as de pigmentos hemes totais e de pigmentos nitrosos. O teor de pigmentos totais é importante devido a sua relação com a intensidade da cor, e sob o ponto de vista nutricional, como um indicador do teor de ferro heme, o qual é altamente biodisponível e absorvido por um mecanismo diferente e mais eficiente do que o ferro não heme (TERRA e BRUM, 1988; RAMOS e GOMIDE, 2017). Em relação aos pigmentos nitrosos, os nitratos e nitritos são aditivos alimentares muito utilizados em produtos cárneos por, dentre outras funções, contribuir para fixação da cor avermelhada da carne curada. Quando em contato com a água, o nitrito forma ácido nitroso, que reage com a Mb, oxidando-a para metamioglobina. O ácido nitroso ligado é convertido em óxido nítrico ligado à metamioglobina (NO-MetMb), adquirindo coloração castanha. Em condições anaeróbicas o NO-MetMb é reduzido à nitrosil-Mb, conferindo então a coloração vermelha. Em mortadelas o nitrosil-Mb é desnaturado durante o cozimento e é convertido em nitrosilo hemocromo, que é um pigmento rosa bastante sensível à presença de luz e oxigênio, o que contribui para a diminuição da pigmentação característica durante o armazenamento (o a^* diminui e o b^* começa a aumentar). Fatores como método de cozimento, concentração de precursores de nitrosaminas, conteúdo de umidade, temperatura e entre outros, podem interferir na concentração de compostos nitrosos nos produtos cárneos (BERARDO et al., 2016; FAUSTMAN, 2017; LIU et al., 2018; SUMAN, 2018).

Entretanto, o nitrito pode ter efeitos tóxicos por excesso na dieta e pela formação endógena de composto n-nitrosos como a N-nitrosodimetilamina e monometilnitrosamina, que apresentam efeitos potencialmente carcinógenos, teratogênicos e mutagênicos. Quando em contato com o organismo humano, o nitrito interage com a hemoglobina (Hb) oxidando-a a metahemoglobina (MeHb), e ao alcançar a corrente sanguínea, o nitrito oxida o ferro da hemoglobina de seu estado ferroso (Fe^{2+}) para sua forma férrica (Fe^{3+}), dando origem à MeHb, a qual não transporta oxigênio para as células pois não se liga de forma reversível ao mesmo, como acontece com a Hb (ALAHAKOON et al., 2015; BERARDO et al., 2016; IAMARINO et al., 2015; SUMAN; JOSEPH, 2012). Com o aumento da conscientização sobre as preocupações de saúde devido às nitrosaminas, os estudos científicos têm se concentrado no uso de ingredientes vegetais / orgânicos, bem como aplicação novas

tecnologias e processos naturais de cura como substitutos dos nitritos para obtenção da coloração rosa característica em produtos cárneos. Além disso, vem se trabalhando na quantificação de nitrosaminas voláteis e não voláteis em produtos cárneos (AQUILANI et al., 2018; BEDALE; SINDELAR; MILKWOSKY, 2016; HERMANN et al., 2015; JIN et al., 2018; POMÉLIE et al., 2018; RIAZI et al., 2016; SANNINO; BOLZONI, 2013; SUCU; TURP, 2018).

3.5.1.2 Textura

A textura desempenha um papel crucial na determinação da qualidade dos alimentos, afetando diretamente sua aceitação pelos consumidores e, eventualmente, sua preferência. O desenvolvimento de alimentos com textura adequada envolve o uso de ferramentas multivariadas e estruturação de diferentes áreas, tais como a ciência dos alimentos, ciência dos materiais e estudo do comportamento do consumidor. A percepção da textura dos alimentos é uma tarefa complexa e é composta principalmente por respostas táteis ou superficiais relacionadas à pele (somestesia) e por respostas mais profundas relacionadas com músculos e tendões (cinestesia). Ainda, quando se trata de produtos cárneos com teores reduzidos de NaCl, fosfatos, gordura ou nitrito, ela se torna um atributo essencial na avaliação da qualidade (SALDAÑA et al., 2015).

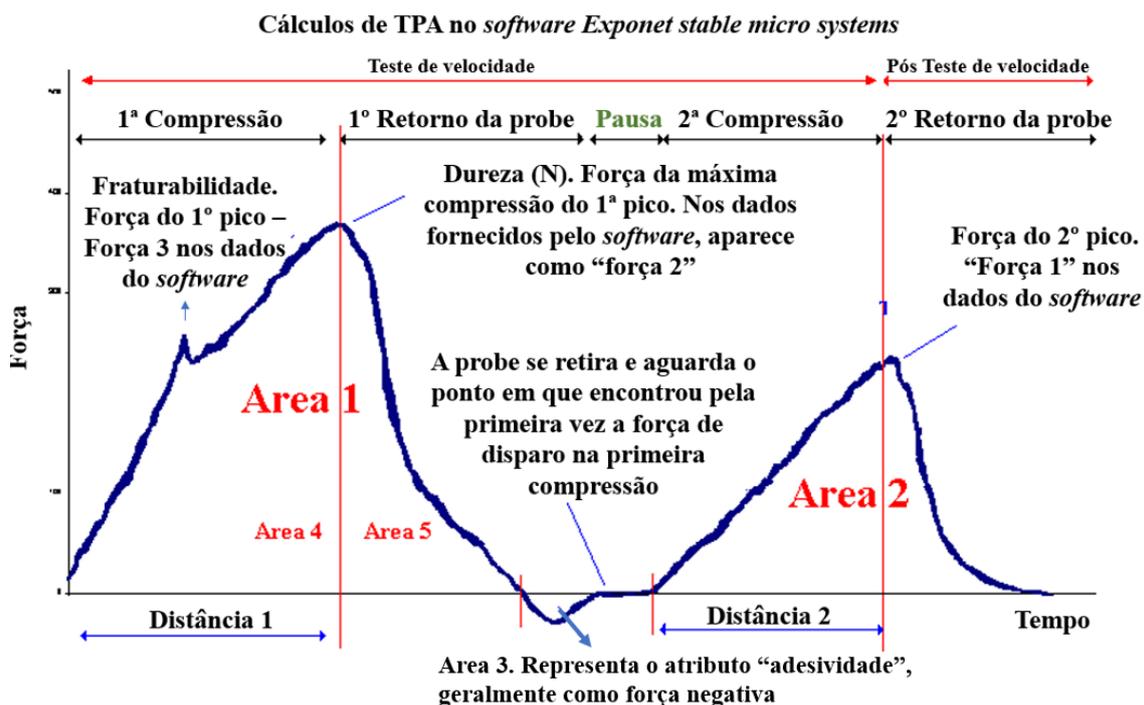
A textura pode ser medida objetivamente (instrumentalmente) e subjetivamente (sensorialmente). Testes objetivos usam uma gama de instrumentos manuais ou mecânicos, que fornecem dados quanto ao tempo de deformação e atributos de textura que podem ser calculados a partir da força-tempo e força-deslocamento. Dentre os dispositivos instrumentais, os texturômetros imitam condições de mastigação e apresentam correlação significativa com medidas de textura sensorial. A análise da textura deve refletir as características mecânicas do alimento quando submetido à uma força definida (BOURNE, 2002; CHEN; OPARA, 2013).

A Análise de Perfil de Textura (TPA) é atualmente o teste mais importante para avaliar as propriedades reológicas dos alimentos. Consiste em um teste capaz de avaliar, em uma única análise, vários atributos de textura que podem ser relacionados à aceitabilidade do consumidor diante do produto. O método TPA consiste em dois ciclos completos de compressão e descompressão de uma amostra pequena do alimento utilizando probe de tamanho específico, de forma a simular a ação dos dentes durante a mastigação e vem sendo amplamente utilizado para avaliar os atributos de textura em produtos cárneos (ÁVILA et al.,

2014; CICHOSKI et al., 2019; GHRIBI et al., 2018; HECK et al., 2019; RAMOS E GOMIDE, 2017; SALDAÑA et al., 2018).

Os parâmetros de textura de compressão usados no TPA foram delineados em estudo conduzido por Bourne (1978) e permanecem como os parâmetros de textura utilizados nas pesquisas atuais. Estes sete parâmetros foram: dureza, mastigabilidade, coesividade, fraturabilidade, gomosidade, elasticidade e adesividade. Estes dados são fornecidos pelo *software* utilizado no texturômetro, o qual fornece os valores dos picos de compressão, as distâncias e as áreas. O *software* que opera a probe comprime a amostra, recua para permitir que a amostra retorne / relaxe, seguida pela segunda compressão (MOREY, 2017). A partir destes dados, é possível calcular os atributos de textura (figura 2).

Figura 2 – Gráfico gerado pelo TPA com a representação das áreas e distâncias dos picos de compressão



*A partir dos dados fornecidos pelo *software*, calculam-se os demais atributos de textura, a saber: resiliência = $\text{Area 5} / \text{Area 4}$; elasticidade = $\text{distância 2} / \text{distância 1}$; gomosidade = $(\text{área 2} / \text{área 1}) \text{dureza}$; mastigabilidade = $(\text{distância 1} / \text{distância 2}) \text{gomosidade}$.

Fonte: adaptado (KORTEI et al., 2015).

A textura de um produto cárneo emulsionado está relacionada à funcionalidade das propriedades de gelificação dos componentes de proteína muscular para produzir textura

desejável. Assim, ela é utilizada para avaliar não apenas a percepção e aceitação sensorial do consumidor, mas também a integridade estrutural da matriz proteica. Pode-se dizer que a estabilidade da matriz proteica é testada por “deformação, desintegração e fluxo” ou “atributos mecânicos, geométricos e superficiais” (CHRISTENSEN, 2012).

Outros fatores a serem levados em consideração neste tipo de análise são a força (%) e velocidade de compressão (mm/min ou mm/s) em relação ao peso original da amostra e o tipo de probe a ser aplicada, bem como a altura da amostra, a qual deve ser padronizada, e isso dependerá da finalidade da análise e do tipo de amostra. Em trabalhos recentes, nos quais foi aplicado TPA em emulsões cárneas e/ou mortadelas, foram utilizadas forças de compressão entre 30-75%, probes de 30 a 50 mm de diâmetro (de eixo longo e base regular) e as amostras possuíam de 1.0 a 2.5 cm de altura. As velocidades de compressão variaram de 1 mm/s a 48 mm/min e os atributos geralmente avaliados foram a dureza (N), a coesividade, a elasticidade e a mastigabilidade, uma vez que estes atributos estão diretamente relacionados às propriedades gelificantes deste tipo de produto (ABBASI et al., 2019; ÁLVAREZ; BARBUT, 2013; BARBIERI et al., 2013; CICHOSKI et al., 2019; DOMÉNECH-ASENSI et al., 2013; PIRES et al., 2017; RIEL et al., 2017; SALDAÑA et al., 2015; SORAPUKDEE et al., 2013; PAGLARINI et al., 2019).

3.6 ULTRASSOM

As tecnologias emergentes são consideradas uma maneira eficaz de otimizar o uso de recursos naturais, economizando energia e reduzindo custos na indústria de alimentos, sendo consideradas uma alternativa viável em relação às técnicas convencionais de processamento e conservação. Dentre estas tecnologias encontra-se o ultrassom (US), o qual consiste na utilização de energia acústica para promover modificações na estrutura dos alimentos e, por isso, a indústria vem mostrando cada vez mais interesse na aplicação desta tecnologia (BARRETTO et al., 2018; FLORES et al., 2018).

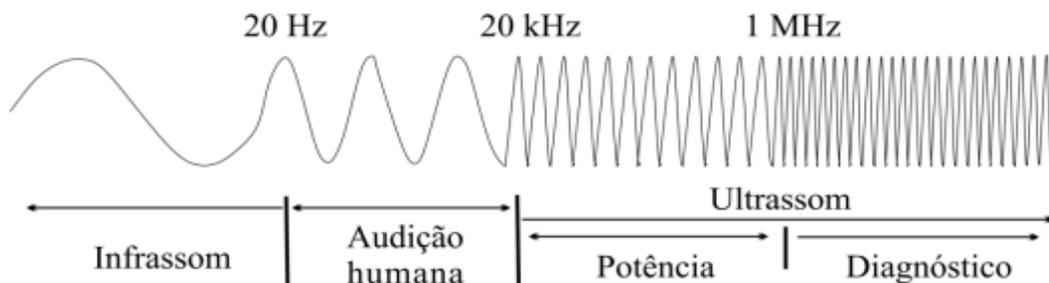
O US possui abordagem segura e permite operação em baixas temperaturas, sendo este um fator muito importante, pois implica em menor impacto nas propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos. Entretanto, embora o US tenha sido aplicado para melhorar uma ampla variedade de características dos alimentos, a aplicação dele em escala industrial foi estabelecida para um número relativamente pequeno de processos. Em produtos cárneos, muito tem se avaliado a ação do US durante o armazenamento dos produtos, principalmente em relação às características tecnológicas, oxidativas, sensoriais e microbiológicas, tendo

como principal objetivo analisar fenômenos desejáveis e indesejáveis nestes produtos, resultantes da aplicação desta tecnologia (ALARCÓN-ROJO et al., 2018; ALVES et al., 2013; BARRETTO et al., 2018; CICHOSKI et al., 2019; HIGUERA-BARRAZA et al., 2016; KENTISH; FENG, 2014; PENÃ-GONZÁLEZ et al., 2018; WÓJCIAK et al., 2019).

3.6.1 Estrutura e funcionamento do US

As ondas mecânicas acústicas do ultrassom necessitam de um meio para se propagar, e são classificadas levando-se em consideração a frequência audível pelo ouvido humano, que varia de 20 Hz (infrassom) a 20 kHz. A partir desta última frequência, ocorre o ultrassom, cuja transmissão do som se dá pelas variações dos locais de pressão oriundas de partículas em torno de um ponto de equilíbrio (figura 3) (SOARES, 2017).

Figura 3 – Espectro do som apresentando o limite de frequência audível pelo ouvido humano (até 20 kHz) e o US (não captado pelo ouvido humano)



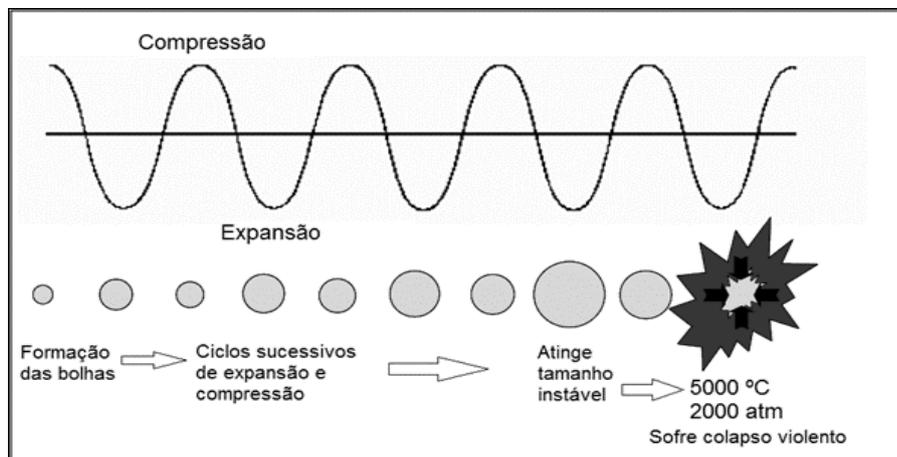
Fonte: (FENG et al., 2010).

O US pode ser classificado em dois grandes grupos de acordo com a sua frequência: de alta frequência (1 – 20 MHz) que possui baixa intensidade ($<1 \text{ W / cm}^2$), não sendo destrutivo, assim é mais indicado para técnicas não invasivas. Já os de baixa frequência (20 – 100 kHz) desenvolvem níveis de intensidade mais altos ($10 - 1000 \text{ W / cm}^2$) com energia suficiente para romper enlaces intermoleculares, sendo que intensidades superiores a 10 W / cm^2 originam o efeito de cavitação, o qual pode modificar propriedades físicas e favorecer reações químicas (ALARCÓN-ROJO et al., 2015; ALARCÓN-ROJO, 2018; ALVES, 2013; JAYASOORYIA et al., 2004; ZHANG et al., 2017).

No US de alta intensidade a onda sonora alterna entre alta (compressão) e baixa (rarefação) pressão. Isso produz microbolhas de gás com alto conteúdo de energia, que

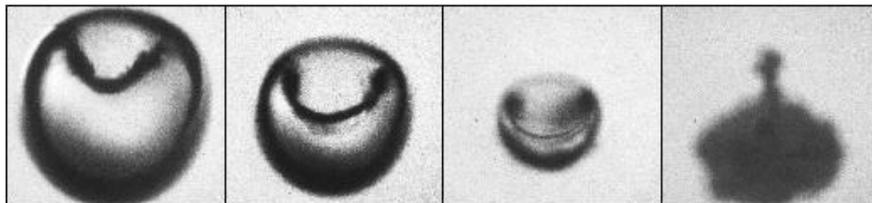
oscilam de acordo com a pressão e aumentam gradativamente de tamanho. O processo continua até que ocorra a implosão/colapso dessas bolhas, resultando no fenômeno de cavitação, liberando altas temperaturas e pressões, modificando propriedades físicas e favorecendo reações químicas (figuras 4 e 5) (ALARCON-ROJO et al., 2018; AWAD et al., 2012; HIGUERA-BARRAZA et al., 2016; PEÑA-GONZÁLEZ et al., 2018; WARNER et al., 2017).

Figura 4 – Formação de bolhas submetidas a ciclos de expansão e rarefação até entrarem em colapso e originando a cavitação



Fonte: Adaptado (MASON et al., 2011).

Figura 5 – Formação e colapso de uma bolha de cavitação detectada por microscopia eletrônica.



Fonte: (ANALÍTICA, 2015).

Pode-se dizer que a cavitação é responsável por boa parte dos efeitos do US nos alimentos. Se as bolhas colapsadas atravessarem material biológico, por exemplo, o US pode afetar o tecido desse material em macro e microescala. Dentre as principais alterações, pode-se citar a inativação dos micro-organismos, uma vez que a cavitação promove afinamento da membrana citoplasmática, aquecimento localizado e produção de radicais livres nocivos aos microrganismos. A ação do US frente aos micro-organismos dependerá da frequência,

intensidade, tempo de exposição, tipo de micro-organismo (bactérias gram-positivas tendem a apresentar maior resistência à ação do US, pois a estrutura da parede celular é mais espessa devido à camada de peptidoglicanos que protegem a célula da sonicação), bem como a matriz alimentar utilizada (ALARCÓN-ROJO, 2015; ALARCÓN-ROJO et al., 2018; ALVES et al., 2013; PIÑON et al., 2018; WARNER et al., 2017). De uma forma geral, em produtos cárneos o US vem apresentando ação positiva na redução da carga microbiana, especialmente ao longo do armazenamento do produto, apresentando redução significativa em relação ao produto elaborado de forma convencional

Em relação à cavitação, é importante salientar que a eficiência e taxa de reações sonoquímicas são influenciadas não apenas pela frequência e intensidade do US, como também pelo volume da amostra, volume de água no tanque, gás dissolvido, temperatura experimental, etc. Geralmente apenas a energia de entrada é dada como informativo. Entretanto, nem sempre esta é indicativo de potência ultrassônica, uma vez que a energia gerada depende de um transdutor. A calorimetria vem sendo utilizada como forma de especificar a potência ultrassônica média em uma reação, possibilitando correlacionar a energia térmica gerada e os efeitos sonoquímicos (KODA et al., 2003). A potência ultrassônica dissipada em um líquido pode ser calculada por calorimetria de acordo com a equação 1 apresentada abaixo.

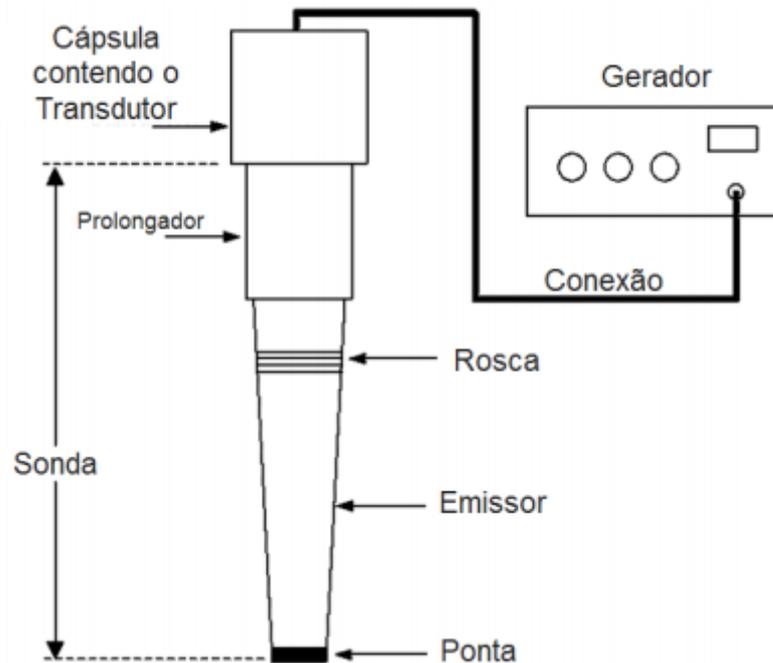
$$\text{Power (W)} = (dT/dt)com \quad (1)$$

Onde c_p é a capacidade calorífica da água; M é a massa da água (g); dT/dt é o aumento de temperatura por segundo.

É importante ressaltar que os sistemas de US comumente aplicados em matrizes alimentares são os sistemas de sondas e os banhos ultrassônicos. Ambos os sistemas possuem o mesmo arranjo básico, constituído de gerador elétrico e um ou mais transdutores, sendo este último a parte mais importante (LUCAS, 2015).

O sistema de sonda metálica baseia-se na transferência de energia ultrassônica, a qual é produzida por um único transdutor. O sistema possui um gerador que produz sinal elétrico em forma de pulsos na frequência e potência desejada, e um transdutor de material piezelétrico (geralmente *quartzo*) transforma essa energia elétrica em acústica, sendo esta transmitida ao meio por intermédio de uma sonda (figura 6). Dessa maneira, o sinal acústico produzido é amplificado e dirigido diretamente ao alimento (ALVES et al., 2013; CARVALHO, 2014; VÉLEZ, 2015).

Figura 6 – Sistema de sonda ultrassônica: o gerador envia o sinal até o transdutor que transforma a energia em acústica, a qual é emitida ao alimento através da sonda

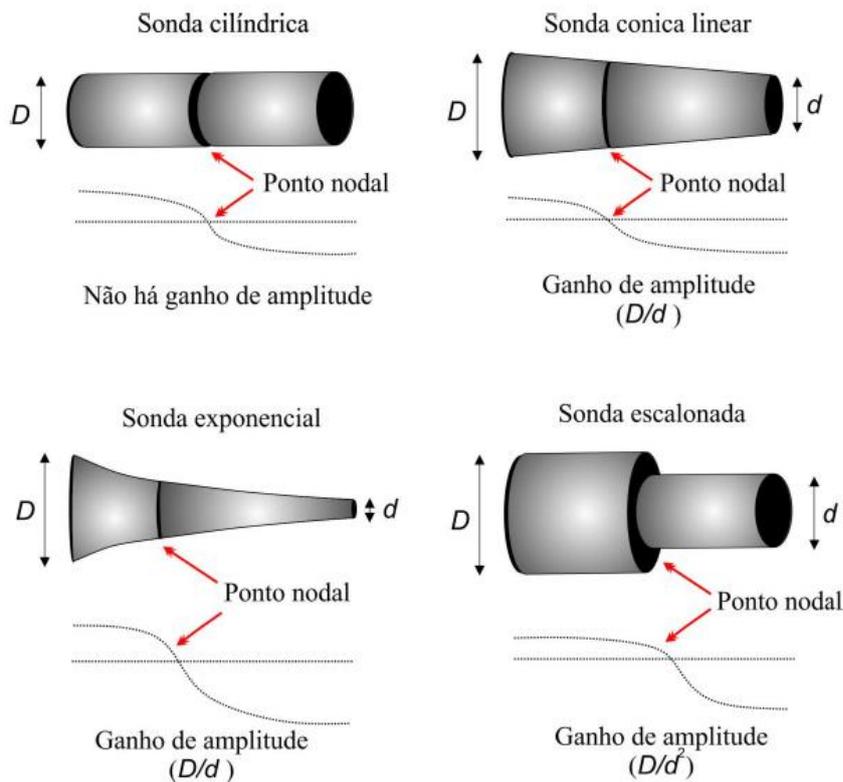


Fonte: (POLACHINI, 2015).

O material utilizado na fabricação das sondas deve ser resistente ao esforço mecânico gerado pela cavitação, o que pode gerar erosão na ponta da sonda, influenciando na correta emissão de ondas planas, que acabam se anulando parcialmente entre si, resultando em uma perda de eficácia das ondas ultrassônicas. O material mais utilizado atualmente são as ligas de titânio. O comprimento da sonda deve apresentar metade do comprimento da onda. A ponta da sonda também influencia muito na transmissão do sinal acústico. Uma sonda cilíndrica aplicada em líquidos, por exemplo, se limita a transmitir o sinal acústico produzido ao longo do transdutor. Já uma sonda em formato cônico ocorre amplificação de sinal, com um ganho que segue a relação D/d , onde D é o diâmetro do transdutor e d o diâmetro da ponta da sonda. Se a forma é escalonada o ganho seguirá a relação D/d^2 (figura 7). Neste caso, para evitar um stress mecânico importante, o degrau deve situar-se no ponto nodal da sonda já que a vibração neste ponto é zero (POLACHINI, 2015; VÉLEZ, 2015). Já para aplicação em gases, outros tipos de sondas são utilizadas, sendo o principal problema neste caso, obter um bom acoplamento entre o transdutor e o meio gasoso onde se deseja introduzir as ondas ultrassônicas, uma vez que este tipo de meio apresenta baixa impedância acústica específica e

uma elevada absorção acústica, dificultando o acoplamento com o transdutor e a transmissão de ondas. Para evitar estes problemas, o emissor utilizado em meios gasosos possui a forma de um prato com perfil escalonado, o que confere melhor acoplamento, bem como amplitude de vibração e direcionalidade elevada (GALLEGO-JUÁREZ, 2002).

Figura 7 – Diferentes tipos de sondas acústicas e seus ganhos de amplitude (D/d)



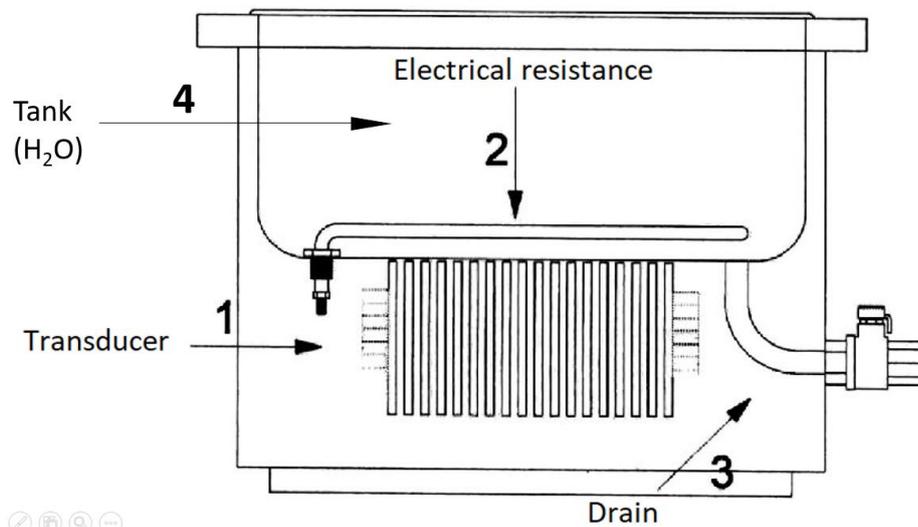
Fonte: (POLACHINI, 2015).

Os banhos ultrassônicos, por sua vez, consistem em tanque de aço inoxidável compostos basicamente por 3 partes: gerador, transdutor e tanque. Em laboratórios, é considerado o método mais comum e acessível, e a maioria deles possui capacidade de até 10 L (LUCAS, 2015). É composto por um tanque de aço inox, no qual possui vários transdutores acoplados em sua base e/ou suas laterais. Para iniciar seu funcionamento, é necessário que haja líquido no tanque (geralmente água), podendo o tratamento da matriz ocorrer em contato direto com a água ou em algum recipiente inserido no tanque (figura 8). O número de transdutores pode variar, e pelo fato de possuir mais de um, permite que o US opere em diferentes frequências. Porém, quando em funcionamento todos devem vibrar na mesma fase, a fim de aumentar a energia acústica produzida na superfície. A potência gerada dependerá

principalmente do número de transdutores e a frequência do tipo de transdutor (CARVALHO, 2014; LUCAS, 2015; POLACHINI, 2015).

Um sinal elétrico é produzido pelo gerador, podendo ser analógico ou digital, o que possibilita a operação de diferentes modos e frequências para aplicações específicas. Os transdutores são conectados a um equipamento eletrônico que fornece energia elétrica nas condições necessárias (frequência e intensidade), visando estimulá-los. Assim, os transdutores funcionam como uma espécie de “autofalante”, vibrando conforme com a frequência do sinal que recebem. A energia ultrassônica no banho é cedida diretamente ao líquido que preenche o tanque, que transfere essa energia ao alimento imerso nesse líquido. Alguns banhos ultrassônicos, ainda, permitem o emprego de altas temperaturas na água no interior do banho. Além disso, a altura da água no banho pode influir muito no campo acústico formado, tornando conveniente trabalhar com o nível de líquido recomendado pelos fabricantes (ALVES et al., 2013; ANALÍTICA, 2015; ELMA, 2014; MASON, 2010; SOARES, 2017).

Figura 8 – Sistema de um banho ultrassônico constituído por transdutores laterais (1), resistência elétrica (2) e dreno para retirada da água (3) e o tanque (4)



Fonte: adaptado (BERNARDI et al., 2013).

Os sistemas de banho ultrassônico, ainda, possuem diferentes modos de operação, cuja utilização irá variar de acordo com a finalidade na matriz alimentícia. Pode-se dizer que atualmente, 3 são os modos utilizados: o modo *degas*, o modo *sweep* e o modo normal. O modo *degas* opera o US alternando entre intervalos, e durante a operação as bolhas de cavitação recolhem os gases empurrando-os à superfície, e durante os intervalos estas bolhas

são liberadas da superfície do líquido, sendo um modo bastante utilizado em processos de degaseificação. No modo *sweep*, o gerador oscila a frequência ultrassônica em uma faixa estreita, proporcionando uma distribuição mais homogênea da cavitação e eliminando zonas de menor eficiência próximas aos cantos do tanque. É um modo bastante indicado para operações de limpeza. Já no modo normal o banho opera com uma faixa de frequência fixa, o que confere estabilidade e fluxo de líquido otimizado ao tanque, sendo mais indicado para preparo de amostras (ANALÍTICA, 2015; ELMA, 2014).

3.6.2 O ultrassom como alternativa de redução de sal em produtos cárneos emulsionados

Em matrizes cárneas, o enfoque do uso do US vem sendo fundamentado em modificações de textura e qualidade microbiológica. A carne é rica em proteínas, e o US pode atuar no tecido muscular promovendo modificações nas proteínas miofibrilares, podendo melhorar sua solubilidade, emulsificação e formação de gel (JAYASOORYIA et al., 2007; ZHANG et al., 2018). Para Higuera-Barraza et al. (2016), o US é considerado, atualmente, uma ferramenta útil no estudo e avaliação do comportamento dessas biomoléculas.

A implosão de bolhas de cavitação em dois líquidos imiscíveis (água e gordura) resulta em uma mistura eficiente das duas camadas, gerando emulsões mais estáveis quando comparadas às técnicas convencionais. Entre as vantagens da emulsificação com US em relação aos procedimentos convencionais, observa-se a possibilidade de reduzir o tamanho de glóbulos gordurosos tornando-os mais estáveis ao reduzir a tensão interfacial, proporcionando distribuição homogênea em tempo reduzido (AWAD et al., 2012; PRINGET et al., 2013).

Outro fator a ser observado é o de que US auxilia em uma melhor difusão de NaCl em produtos cárneos, mesmo que em quantidade reduzida (INGUGLIA et al., 2017). A difusão do NaCl não apenas possui como função a solubilização das proteínas, como também para a emulsificação e manutenção da CRA, influenciando diretamente na textura do produto. A difusão de NaCl na carne é geralmente lenta devido à matriz complexa constituída de gordura intra e intermuscular e miofibrilas, podendo ter o transporte de massa acelerado e mais homogêneo devido a aplicação de US (ALARCÓN-ROJO et al., 2016; KANG et al., 2016; SIRÓ et al., 2009).

Além disso, o US tem se mostrado como uma alternativa de melhoria das propriedades gelificantes da carne. A redução de NaCl limita a capacidade de extração das proteínas, o que implica em perda de CRA e pode afetar negativamente as características de textura dos produtos cárneos. Em estudos realizados, observou-se melhoria na propriedade gelificante de proteínas reconstituídas do soro de leite bovino, bem como aumento na solubilidade e na extração das proteínas (ZISU et al., 2008; JAMBRAK et al., 2011). Li et al. (2015), ao avaliarem as propriedades funcionais das proteínas de emulsões cárneas de peito de frango submetidas a diferentes tempos de US (0, 10, 20, 30 e 40 min.) e concentrações de NaCl (1, 1.5 e 2%) observaram que o US aos 20 min. melhorou a capacidade gelificante e a CRA em cada uma das concentrações em relação ao controle. Cichoski et al. (2019), ao avaliar a ação do US (em diferentes tempos e modos de operação) sobre as características tecnológicas e oxidativas de emulsões cárneas, observou que o US no modo normal a 25 kHz e 60% de amplitude foi capaz de aumentar o rendimento e estabilidade da emulsão, bem como melhorar a formação de gel (características de textura) e reduzir a velocidade de processos oxidativos em relação ao tratamento controle (sem US). Assim, acredita-se que o US pode proporcionar um bom desempenho na elaboração de emulsões com teor reduzido de NaCl, por auxiliar em processos importantes como a solubilização, extração e formação de gel das proteínas.

3.5 ÁGUA ELETROLISADA

A água eletrolisada (AE) possui diversificação de aplicações, o que permite que ela seja associada a outras tecnologias alternativas, possibilitando uma otimização de seus efeitos (FLORES, 2018). A combinação de AE com diferentes características tem sido considerada eficaz na redução ou eliminação de vários micro-organismos patógenos e deteriorantes, como *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shewanella*, coliformes, mesófilos, psicrotróficos em diferentes matrizes alimentares (ATHAYDE et al, 2017; GÓMEZ-LÓPEZ et al., 2015; WANG et al., 2018).

Devido à ação contra os micro-organismos, a AE vem sendo cada vez mais utilizada como substituinte de sanitizantes na indústria de alimentos e tem demonstrado melhores condições de manipulação e produção em comparação aos métodos tradicionais de geração de água clorada, uma vez que sua produção é oriunda, basicamente, de água e algum tipo de cloreto, sendo o NaCl o mais utilizado (ATHAYDE et al., 2017; MANSUR; OH, 2015; RAHMAN et al., 2010; SHENG et al., 2018; XIE et al., 2012a; WANG et al., 2018; WANG

et al., 2019). Algumas vantagens em relação a outros agentes de limpeza tradicionais, são a desinfecção eficaz, fácil operação, baixo custo e ambientalmente correta. A água eletrolisada possui diversas aplicações na indústria de alimentos e embora o custo do equipamento que a gera ser elevado, ela é de fácil produção uma vez que adaptações são possíveis, podendo ser utilizada na forma de *spray*, gelo ou para imersão do alimento, ocasionando em poucas modificações em lugares onde essa água é utilizada. A simplicidade do processo de produção, aplicação industrial conveniente, eficiente atividade antimicrobiana e custo-efetividade da combinação de diferentes tipos de AE tem promovido cada vez mais a sua utilização na indústria de alimentos, tanto em produtos de origem vegetal como em produtos de origem animal (AL-HAQ et al., 2005; ATHAYDE et al., 2018; DUANG et al., 2017; HUANG et al., 2008; SAKAI, 1995; SUN et al., 2012).

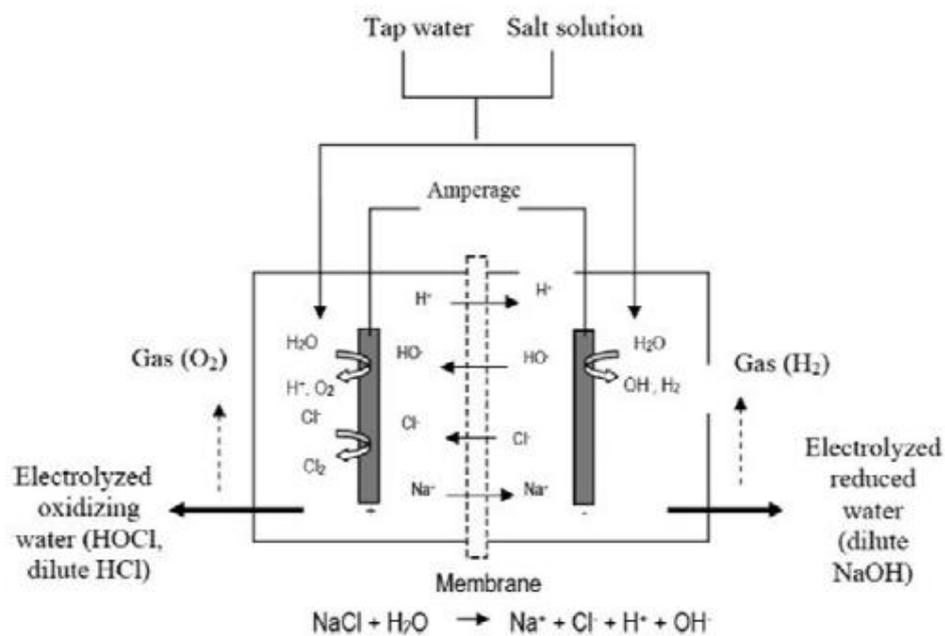
3.5.1 Obtenção e características da água eletrolisada

A obtenção da AE consiste basicamente na passagem de uma solução salina de NaCl ou de outro sal clorado por uma câmara constituída de uma célula de eletrolisação com dois pólos chamados de ânodo (-) e cátodo (+) (figura 9). Acerca disso, é importante ressaltar que existem 2 tipos de equipamentos de eletrólise: os que contém diafragma/membrana e produzem tanto a água eletrolisada ácida (AEA) quanto a água eletrolisada básica (AEB) por possuírem 2 células, e o objetivo dessa membrana é separar os dois tipos diferentes de AE, através da migração de Na^+ para o lado do cátodo (+), e do Cl^- para o lado do ânodo; o outro tipo de equipamento é o que não possui membrana (câmaras com uma única célula), que produzem AEA e água fracamente ácida (AEFA), a qual tem principal vantagem uma menor concentração de cloro livre (CCL) em relação à AEA, devido ao seu pH mais próximo à neutralidade (6.00 a 6.50, com POR de 800 a 900 mV) e por apresentar cerca 95% do cloro sob a forma de ácido hipocloroso (HClO), 5% na forma de íon hipoclorito (OCl^-) e traços de Cl_2 , o que a torna mais estável durante o armazenamento e menos corrosiva em relação à AEA (AFARI; HUNG, 2018; ATHAYDE et al., 2018; CAO et al., 2009; GUENTZEL et al., 2008; HUANG et al., 2009; RHAMAN; KHAN; OH, 2016; WANG et al., 2019).

A AEA é oriunda do ânodo e tem como principais produtos Cl_2 dissolvido, ácido hipocloroso (HOCl) e ácido clorídrico (HCl) diluído, apresentando pH baixo (< 3.0) e POR > 1000 mV, enquanto que o cátodo origina os produtos hidróxido de sódio (NaOH) em pequena quantidade, hipoclorito (OCl^-) e H_2 que são constituintes da AEB, que possui pH > 10.0 e POR de -800 a -900 mV. Estudos realizados na área de alimentos nos quais utilizou-se

NaCl para elaboração da AE, foram encontradas concentrações que variam de 0,03 a 5%, para diferentes matrizes alimentares e finalidades (AFARI; HUNG, 2018; ATHAYDE et al., 2017; CUI et al., 2009; HUANG et al., 2008; LEE et al., 2014; LI et al., 2016; OVISSIPOUR et al., 2015; RAHMAN; JIN; OH, 2011; SHENG et al., 2018; SUN et al., 2012; WANG et al., 2018;. WANG et al., 2019). As propriedades físico-químicas de AE variam dependendo da concentração NaCl, tempo de eletrólise ou fluxo de água (ATHAYDE et al., 2018; RHAMAN; KHAN; OH, 2016).

Figura 9 – Sistema de eletrolisação da água: à esquerda, formação de AEA e à direita, de AEB



Fonte: (HUANG et al., 2008)

A eletroquímica é a parte da ciência que lida com as inter-relações de correntes elétricas, ou voltagens e reações químicas, e a conversão mútua de energia química e elétrica. Com base nisso, os geradores comerciais de AE podem apresentar 3 formas de controlar a amperagem: o primeiro permite fixar a taxa de fluxo da salmoura, enquanto a máquina ajusta automaticamente a voltagem e a amperagem; o segundo permite que o usuário escolha a amperagem e a voltagem, enquanto a máquina regula a taxa de fluxo da salmoura; e o terceiro tipo permite que os usuários definam um nível de concentração de cloro. Quando em funcionamento, as máquinas alteram automaticamente a amperagem e/ou a vazão de voltagem e salmoura. As propriedades físico-químicas de EW variam dependendo da concentração de

cloreto de sódio, valores atuais e tempo de eletrólise ou fluxo de água (RHAMAN; KHAN; OH, 2016).

É importante ressaltar que a estabilidade e ação da AE, especialmente AEA está diretamente relacionada à CCL, a qual pode ser influenciada por condições de armazenamento, principalmente a temperatura. Estudos realizados indicaram que houve maior decréscimo de CCL em AEA armazenada à temperatura ambiente (25 °C) em relação ao armazenamento à frio (4 °C). Isso pode estar relacionado ao fato de que, em baixas temperaturas ocorre pouca movimentação das moléculas, que reduz a velocidade de decomposição do cloro (CUI et al., 2009; FABRIZIO; CUTTER, 2003; NAGAMATSU et al., 2002; WANG et al., 2019).

A temperatura de aplicação da AE possui influência na ação perante os micro-organismos. Estudos realizados indicaram melhor ação antimicrobiana da AEA e AEFA quando aplicadas em faixas que variam entre 25 a 50 °C dependendo do tipo de micro-organismo (DING et al., 2011; KOIDE et al., 2011; RAHMAN et al., 2010). Xie et al. (2012b) ao avaliarem as propriedades físico-químicas e atividade antimicrobiana da AEA em diferentes temperaturas de armazenamento, constataram que a -18 °C ocorreu uma diminuição não significativa na CCL durante o armazenamento, e que a aplicação da AEA a 50 °C potencializa a ação bactericida. Em estudo realizado por Forghani et al. (2015), foi observado que a solução salina pré-aquecida a 40 °C obteve maior ação em relação à AEFA aquecida na mesma temperatura na redução de *L. monocytogenes* e *E. coli O157:H7*, sendo o resultado atribuído à perda de cloro livre durante o aquecimento da AEFA já elaborada. O mesmo comportamento foi observado em estudo realizado por Athayde et al. (2017), no qual houve maior desprendimento/perda de cloro em *spray* de diferentes combinações de AE aplicadas em lombo suíno, aquecidas a 30 °C, em relação às aplicadas na temperatura de 18 °C.

3.5.2 Aplicações dos diferentes tipos de água eletrolisada nos alimentos

Abadias et al. (2008) avaliaram a ação de AEFA na redução de micro-organismos em vegetais minimamente processados. Guentzel et al. (2008) avaliaram a ação da AEFA na redução da carga microbiana em espinafre, alface e superfícies de manipulação. Xie et al. (2012a) avaliaram a ação da AEA frente ao desenvolvimento de *Vibrio parahaemolyticus* e *L. monocytogenes* em camarão armazenado em diferentes temperaturas. Rahman et al. (2011) aplicaram uma combinação de AEB e ácido cítrico em temperatura ambiente e avaliaram o efeito sobre as características microbiológicas, sensoriais e vida de prateleira de cenouras.

Graça et al. (2011) utilizaram AEA e AEFA na desinfecção de maçãs minimamente processadas. Forghani e Oh (2013) avaliaram a ação antimicrobiana da AEFA na higienização de cenoura, alface, folha de gergelim e espinafre. Ju et al. (2017) avaliaram a influência da AEA (com CCL de 100 e 200 mg/L) sobre as características sensoriais e ação antimicrobiana sobre coliformes, *B. cereus*, mesófilos aeróbicos e *E. coli*, em relação aos sanitizantes convencionais, na higienização de vegetais. Tango et al. (2017) avaliaram a ação de AEFA em combinação com tratamentos químicos e físicos sobre a descontaminação de frutas frescas. Sheng et al. (2018) avaliaram o efeito da AEFA sobre as características microbiológicas e vida de prateleira de bife bovino durante armazenamento refrigerado. Wang et al. (2019) investigaram o efeito das condições de armazenamento e das cargas orgânicas na estabilidade da AEA e da AEFA, bem como detectaram o potencial de corrosão no metal e determinaram o cloro residual na carne quando aplicaram AEA e AEFA na higienização de matadouros. Ainda, Wang et al. (2018) desenvolveram uma cabine com *sprays*, que permitiu a ação AEA E AEFA (após etapa de evisceração) para reduzir micro-organismos em carcaças de frango.

Assim, constata-se que existem vários estudos que associam o uso dos diferentes tipos de AE em processos de sanitização na indústria de alimentos. Entretanto, estes estudos são em sua maioria realizados objetivando redução ou eliminação de carga microbiana, sendo a AEA ou a AEFA mais explorada nesses estudos.

Em relação à AEB, são poucos os estudos que tratam de sua aplicação em alimentos, e em boa parte esta é aplicada em combinação com a AEA a fim de potencializar a ação antimicrobiana. Koseki et al. (2004) avaliaram o efeito pré-tratamento com AEB (em temperatura ambiente) e com posterior aplicação de AEA sobre o desenvolvimento de *E. coli* e *Salmonella* em alface. Fabrizio e Cutter (2005) aplicaram AEFA, AEA e AEB para a redução de *Listeria monocytogenes* em carnes prontas para o consumo. Rahman, Jin e Oh (2011) avaliaram a ação da AEB em combinação com ácido cítrico sobre características microbiológicas, sensoriais e vida de prateleira de cenoura ralada. Jadeja e Hung (2014) avaliaram a aplicação de AEB e AEFA em couro bovino para o controle de *E. coli* O157:H7 e *Salmonella typhimurium* DT 104. Ovissipour et al. (2015) avaliaram a ação de AEA e AEB na inativação de *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Aeromonas hydrophila* e *Vibrio parahaemolyticus* em suspensões celulares. Athayde et al. (2017) aplicaram AEFA, AEA e AEB em diferentes temperaturas em lombo de porco e avaliaram a influência dessas águas eletrolisadas nas características microbiológicas e oxidativas. Hara et al. (2003a) avaliaram a aplicação de AEA e AEB em baixas concentrações no cozimento de

macarrão, estudando as características tecnológicas, pH e parâmetros de textura, e em outro estudo (HARA et al., 2003b) avaliaram o efeito da AEB e AEA em baixas concentrações em conjunto e individualmente nas propriedades de oxidativas e sensoriais do Tofu. Rigdon, Hung e Stelzleni (2017) avaliaram a ação da AEB como substituinte total e/ou parcial de fosfatos sobre a CRA, maciez e características sensoriais de lombo suíno.

Decorrente que a aplicação de AEB em alimentos ainda é pouco explorada, observa-se a necessidade de investigar qual a ação desta em produtos cárneos, especialmente os emulsionados, como a mortadela. Suas características como presença de NaOH e cloro, bem como a ação que esta pode ter frente matrizes orgânicas (especialmente a gordura), poderiam trazer um efeito benéfico a este tipo de produto no que diz respeito às características tecnológicas da emulsão cárnea, o que, inicialmente, impulsionou a realização do presente trabalho. Também se faz importante investigar a ação desta durante o armazenamento do produto, no que diz respeito às modificações nas características microbiológicas, oxidativas e sensoriais (ANJANEYULU et al, 1997; BOLES; RATHGEBER; SHAND, 2000; KNIPE et al., 1985; MOISEEV; CORNFORTH, 1997; XARGAYÓ et al., 2006).

4 ARTIGO 1

ÁGUA ELETROLISADA E ULTRASSOM: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DE NA_{CL} EM EMULSÕES CÁRNEAS¹

¹Artigo formatado de acordo com as normas da revista *Meat Science*

ORIGINAL PAPER**Água eletrolisada e ultrassom: uma nova alternativa para redução de NaCl em emulsões cárneas**

Yasmim Sena Vaz LEÃES¹, Mariana Basso PINTON¹, Cleuza Terezinha de Aguiar ROSA¹, Silvino Sasso ROBALO¹, Roger WAGNER¹, Cristiano Ragagnin de MENEZES¹, Juliano Smanioto BARIN¹, Paulo Cezar Bastianello CAMPAGNOL¹, Alexandre José CICHOSKI^{1*}

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Av. Roraima, 1000. Cidade Universitária, Bairro Camobi. CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil

Fone:

*Autor para correspondência: cijoale@gmail.com (Alexandre José Cichoski).

RESUMO

Foram elaboradas emulsões cárneas com diferentes concentrações de NaCl (2.5%, 2.25%, 2%, 1.75%, 1.50% e 1.25%) e investigou-se a ação da água eletrolisada básica (AEB) a 0.01% e do ultrassom (25 kHz, 175 W e modo normal por 10 e 20 min) sobre as características físico-químicas (pH, potencial redox e atividade de água) e tecnológicas (rendimento, estabilidade, cor e textura). Observou-se ação positiva do US20 min junto à AEB ($p < 0.001$) até a concentração de 70% de NaCl em relação ao rendimento e estabilidade da emulsão, assim como na textura, quando comparadas ao padrão (WUSW100). Em relação ao ΔE , somente amostras com 1.50 e 1.25% de NaCl (independente da aplicação de US ou BEW) apresentaram valores maiores que 2, indicando efeito pró-oxidante de pigmentos provocado pelo NaCl em baixas concentrações. Assim sendo, este estudo mostrou que o US por 20 min. e a AEB podem melhorar as características tecnológicas de emulsões cárneas com teor reduzido de NaCl.

Palavras-chave: emulsões cárneas; redução de NaCl; ultrassom; água eletrolisada; estabilidade do gel.

4.1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que aproximadamente 90% do sódio presente no corpo vem do cloreto de sódio (NaCl) comestível na dieta humana. Porém, quando consumido em excesso, o sódio ocasiona em problemas sérios de saúde, aumentando o risco de doenças cardiovasculares e acidente vascular cerebral. A fim de reduzir estes riscos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a ingestão diária menor que 5 g de NaCl, representando consumo de sódio inferior a 2 g. Estes fatores geraram crescente demanda de produtos com teor reduzido de NaCl, o que faz com que as indústrias de alimentos, especialmente as de produtos cárneos, busquem por técnicas de processamento que possibilitem a substituição total ou parcial do NaCl (Vidal et al., 2019; Kameník et al., 2017; Laranjo et al., 2016; OMS, 2016; Pietrasik, Gaudette, & Jonston, 2016; Kloss et al., 2015).

Nos produtos cárneos, especialmente os emulsionados, a redução do NaCl pode promover sérias implicações nas características tecnológicas do produto, tais como perdas na capacidade de retenção de água (CRA), gordura e força do gel. Isso porque o NaCl está relacionado diretamente ao processo de extração e solubilização das proteínas miofibrilares da carne durante a elaboração da emulsão. O NaCl, quando adicionado de forma reduzida e sem nenhum substituinte ou processo que auxilie em sua difusão e/ou na extração das proteínas

miofibrilares, promove a desestabilização da emulsão, ocasionando principalmente na separação das fases (água e gordura), e com isso ocorre redução no rendimento e na qualidade do produto (Vidal et al., 2019; Barretto et al., 2018; Stanley, Bower, & Sullivan, 2017; Higuera-Barraza et al., 2016; Pietrasik, Gaudette, & Jontson, 2016).

Nesse sentido, tem-se buscado alternativas que visem reduzir o uso de NaCl em produtos cárneos sem que venha a ocorrer esses problemas mencionados, e uma delas é o emprego de tecnologias limpas. Entre estas tecnologias, pode-se destacar o ultrassom (US) e a água eletrolisada (AE). Estudos recentes mostraram que a aplicação do US em emulsões cárneas proporcionou melhorias nas propriedades funcionais das proteínas, uma vez que melhorou as propriedades emulsificantes e gelificantes das mesmas, mostrando-se uma alternativa viável na redução do uso de NaCl (Pinton et al., 2019; Cichoski et al., 2019). Além disso, outros estudos tem indicado a ação do US em relação à redução e padronização dos glóbulos de gordura em sistemas de emulsão, bem como uma melhor difusão do NaCl no produto, o que, em emulsões cárneas, vem a ser um aspecto positivo, pois contribui em sua estabilidade (Krasulya et al., 2019; Alarcón-Rojo et al., 2018; Barretto et al., 2018; Cabrera-Trujillo et al., 2018; Inguglia et al., 2017; Krasulya et al., 2016; Kaci et al., 2014).

A AE é obtida pelo processo de eletrolisação de uma solução salina (geralmente NaCl), originando a água eletrolisada ácida (AEA) ($\text{pH} < 3.0$ e potencial redox > 1000 mV), básica (AEB) ($\text{pH} > 10.0$ e potencial redox entre -800 e -900 mV), e a água fracamente ácida (AEFA), ($\text{pH} 6.0 - 6.5$ e potencial redox entre 600 a 650 mV). A AEA apresenta cloro na forma de Cl_2 e a AEFA na forma de ácido hipocloroso (HClO), enquanto que na AEB ocorre a formação de NaOH e traços de cloro na forma de íons hipoclorito (OCl^-) (Wang et al., 2019; Afari, & Hung, 2018; Athayde et al., 2018; Rahman, Khan, & Oh, 2016).

Diversos estudos investigaram a eficácia da AE (em sua maioria, aplicação de AEA e AEFA em ação conjunta ou não) em processos de sanitização em diferentes etapas de processamento dos alimentos (Wang et al., 2019; Sheng et al., 2018; Wang et al., 2018; Athayde et al., 2017; Sun et al., 2012; Xie et al., 2012), os quais apresentaram resultados positivos em relação à ação microbiana. Existem poucos estudos que contemplem a aplicação da AEB em produto alimentício, sendo geralmente aplicada em combinação com AEA e AEFA a fim de potencializar o efeito antimicrobiano (Athayde et al., 2017; Ovissipour et al., 2015; Jadeja, & Hung, 2014). Rigdon, Hung e Stelzleni (2017), Vinnikova e Porkina (2016) e Вiннiкoвa e Пpoнькiнa (2015) avaliaram a ação da AEB sobre matrizes cárneas. Assim, o objetivo deste trabalho foi elaborar emulsões cárneas com diferentes concentrações de NaCl e com adição de AEB e submetê-las à ação de diferentes tempos de US, e posteriormente

avaliar a ação destes sobre as características físico-químicas e tecnológicas (rendimento, estabilidade, cor e textura).

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Elaboração das emulsões cárneas e características da água eletrolisada básica (AEB)

Na elaboração das emulsões utilizou-se carne bovina (patinho – *Vastus lateralis*, *Vastus intermedius*, *Vastus medialis* e *Rectus femoris*, 43.75%), carne suína (paleta – *Triceps brachialis* – 33.75%) e toucinho (10%). As carnes e o toucinho foram moídos em disco de 5 mm (JAMAR Ltda. modelo PJ-22 Plus Professional). As emulsões foram elaboradas em *cutter* (G PANIZ® modelo 0,5l 60 Hz), onde adicionou-se a carne, o NaCl e metade da quantidade de água/e ou AEB, e misturou-se por 20 seg. após adicionou-se o toucinho e restante da quantidade de água/e ou AEB, e misturou-se por mais 20 seg. A emulsão cárnea foi colocada em envoltórios artificiais (46µm de espessura, 32 mm de diâmetro, 16± 1 cm de comprimento, constituídos de poliamida 6 /adesivo de coextrusão/polietileno de baixa densidade/adesivo de coextrusão/poliamida 6), que foram previamente hidratados em água a 25 °C por 10 min. Posteriormente as emulsões foram tratadas no banho de US na frequência de 25 kHz e potência acústica de 175 W (marca Elma®, modelo TI-H-10), em amplitude de 60% no modo normal de operação (Cichoski et al., 2019), com temperatura da água em 18 °C ± 1, nos tempos de 10 e 20 min.

Posterior aos tratamentos em US, as amostras destinadas às análises de rendimento e estabilidade da emulsão, foram armazenadas sob refrigeração (± 5 °C) até o momento da análise. As amostras destinadas às análises de pH, atividade de água, umidade, textura e cor foram cozidas em água a 80 °C. Ao atingirem 73 °C em seu interior, permaneceram por 5 min. Após foram resfriadas em banho de gelo (3 água: 1 gelo) até atingirem 10 °C internamente, e posteriormente foram mantidas a 5 °C (±1) até o momento da análise.

Foram utilizadas seis concentrações de NaCl (2.5%, 2.25%, 2%, 1.75%, 1.50% e 1.25%), enquanto que as quantidades de água ou de AEB adicionadas, foram em relação inversa ao teor de NaCl (10%, 10.25%, 10.50%, 10.75%, 11% e 11.25%), isto é, quanto menor o teor de NaCl maior a quantidade de água ou AEB, que originaram 36 tratamentos, que foram realizados três vezes em três dias diferentes (Tabela 1).

4.2.2 Preparo da água eletrolisada alcalina

A AEB foi elaborada no equipamento DEMO-30 (Envirolyte, Estônia) a partir de uma solução de NaCl na concentração de 0.01% e apresentou pH de $10,91 \pm 0,21$ e potencial redox (POR) de $-330 \text{ mV} \pm 4,15$ e concentração de cloro livre (CCL) de 1,2 mg/L. O CCl foi determinado pelo método de potenciometria direta do iodo liberado pela adição de iodeto de potássio à amostra, conforme método 4500-Cl *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1999).

Tabela 1 - Concentrações de NaCl (%) e água/e ou água eletrolisada básica que foram utilizadas na elaboração de emulsões e que foram submetidas a diferentes tempos de exposição ao ultrassom (US).

Treatment	NaCl (%)	Water or BEW (%)	US time (min)
WUS100	2.50	10.00	0
WUS90	2.25	10.25	0
WUS80	2.00	10.50	0
WUS70	1.75	10.75	0
WUS60	1.50	11.00	0
WUS50	1.25	11.25	0
US100 10'	2.50	10.00	10
US90 10'	2.25	10.25	10
US80 10'	2.00	10.50	10
US70 10'	1.75	10.75	10
US60 10'	1.50	11.00	10
US50 10'	1.25	11.25	10
US100 20'	2.50	10.00	20
US90 20'	2.25	10.25	20
US80 20'	2.00	10.50	20
US70 20'	1.75	10.75	20
US60 20'	1.50	11.00	20
US50 20'	1.25	11.25	20

4.2.3 Avaliação do rendimento e da estabilidade da emulsão cárnea

A avaliação do rendimento da emulsão cárnea seguiu metodologia descrita por Parks e Carpenter (1987), com adaptações. Pesou-se 20g de amostra (emulsão) em embalagem de poliamida/polietileno, com posterior cozimento a 70 °C por 1 h. Afim de verificar a diferença entre o peso inicial e peso final da amostra, utilizou-se a equação 1.

$$(\%) \text{ rendimento no cozimento: } (\text{peso final} \times 100) / \text{peso inicial} \quad (1)$$

A avaliação da estabilidade da emulsão seguiu metodologia descrita por Colmenero, Ayo e Carballo (2005). Os resultados foram expressos em % de água e gordura liberados da emulsão, conforme equações 2 e 3.

(%) gordura liberada: $[\text{peso da gordura liberada}/\text{peso da emulsão}] \times 100$ (2)

(%) água liberada: $[\text{peso da água liberada}/\text{peso da emulsão}] \times 100$ (3)

4.2.4 Determinação de pH, POR, atividade de água e umidade

As determinações de pH e potencial de oxirredução (POR) foram realizadas segundo metodologia da AOAC (2006), utilizando um aparelho digital de duplo canal (Digimed® - DM 23), com eletrodo de alça de platina para determinação de POR e de difusão para o pH. A atividade de água foi determinada a 20 °C pela detecção do ponto de condensação em espelho refrigerado, utilizando o aparelho Aqualab® (modelo 4TEV) previamente calibrado com soluções padrão de a_w entre 0,92 e 1,00. A umidade foi determinada por secagem em micro-ondas seguindo metodologia de Marques et al. (2016) e o resultado expresso em % de umidade liberada.

4.2.5 Análise de perfil de textura instrumental (TPA)

As amostras foram cortadas em cilindros de 2,5 cm de altura, 32 mm de diâmetro e avaliadas em texturômetro modelo TA.XT (*Texture Analyser TA.XT plus, Stable Micro Systems®*, Reino Unido) utilizando probe de 40 mm, taxa de compressão de 50% e velocidade de compressão de 5 mm/seg. O *software Exponet Stable Micro Systems* calculou os atributos, dos quais 3 foram considerados para o presente estudo: dureza (N), elasticidade (mm), coesividade e mastigabilidade (N) (Bourne et al., 1978).

4.2.6 Análise objetiva de cor

As medidas de cor foram realizadas em espectrofotômetro Minolta (modelo CM-700d, marca Konica Minolta) em amostras com 1,0 cm de espessura e 32 mm de diâmetro, e realizou-se leitura em seis diferentes pontos da superfície interna e externa, considerando os valores de luminosidade (L^*), vermelhidão (a^*) e amarelo (b^*) com iluminante A, componente especular incluso (SCI) e ângulo do observador em 10°. Com os resultados obtidos calculou-se a diferença global de cor (ΔE) das amostras em relação ao padrão (SUS 100), utilizando-se a equação 4 (AMSA, 2012).

$$\Delta E = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{1/2} \quad (4)$$

Onde: L^* , a^* e b^* são as características de luminosidade, vermelhidão e amarelidão das amostras submetidas às diferentes condições de tratamento e L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 são os valores da amostra

considerada o “padrão” (SUSW 100)

4.2.7 Análise estatística

Foi utilizado um modelo linear generalizado que considerou os tratamentos como efeito fixo e as repetições como efeito aleatório, seguido de análise de variância (ANOVA). Ao serem encontradas diferenças significativas empregou-se o teste de Tukey nos níveis de significância de 5% ($P \leq 0,05$), 1% ($P \leq 0,01$) e 0,1% ($P \leq 0,001$). Nas tabelas foi também utilizado o erro padrão da média (EPM) entre os tratamentos. Todo o experimento foi realizado três vezes em três dias diferentes, e as análises em triplicata ($n=9$). A partir do modelo utilizado, aplicou-se análise de variância (ANOVA). Para o tratamento estatístico, foi utilizado o software IBM SPSS *Statistics* (SPSS, versão 21, 2012). Os gráficos foram expressos com médias, diferenças (considerando as significâncias acima citadas) e erro padrão da média, utilizando o programa Excel (Microsoft Office System, 2016).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Estabilidade e rendimento das emulsões cárneas com diferentes concentrações de NaCl e tempos de US, elaboradas com água (W) ou BEW

A fig. 1 mostra os resultados de liberação de gordura (a) e água (b) das emulsões com diferentes concentrações de NaCl e adição de água ou BEW. Observou-se que as amostras com água na formulação e US por 20 min não diferiram ($p < 0.001$) do controle (WUSW 100) até a concentração de 70%, tanto em relação à liberação de gordura quanto em relação à água, o que representa um aspecto positivo, pois indica que o US aos 20 min ajudou a potencializar o processo de extração das proteínas miofibrilares (promovida pelo NaCl) das emulsões (Alarcón-Rojo et al., 2018; Astruc, Desfrétières, & Vénien, 2018), o que auxiliou a manter a estabilidade mesmo com a redução do NaCl em até 30%.

Isso se dá, principalmente, devido a maior difusão e homogeneização do NaCl promovidas pelo US, mesmo quando este se encontra em quantidade reduzida. Conseqüentemente teremos maior absorção de água, pois o efeito mecânico da cavitação proporciona a formação de microcanais, facilitando assim a aproximação dos ions Cl^- aos filamentos das proteínas, aumentando as forças repulsivas eletrostáticas, a qual permite que a matriz do filamento se expanda, melhorando a retenção de água (Kang et al., 2017; Kang et al., 2016; Zhao et al., 2014; Pingret et al., 2013; Visessaguan et al., 2000; Gordon, & Barbut, 1992). Ainda, nesse tempo de exposição o US pode promover modificações no tamanho dos

glóbulos de gordura da emulsão. Chemat, Zil-E-Huma e Khan (2011) observaram que, dependendo das condições de aplicação (tempo, temperatura, frequência e potência), a energia acústica pode transformar os glóbulos grandes de gordura em gotículas submicrométricas de gordura, e com isso ocorrendo estabilização da emulsão.

Ainda, observou-se redução significativa ($p < 0.001$) nos valores de liberação de gordura (fig. 1a) das amostras com BEW e US por 20 min, tanto em relação ao padrão (SUSW100) em todas as concentrações de NaCl quanto em relação às amostras somente com água e 20 min de US. Em relação à liberação de água (fig. 1b) este comportamento também foi observado, porém até a concentração de 70% de NaCl. Estes resultados indicam que a ação conjunta do US 20' e BEW aumentaram a estabilidade da emulsão.

A ação da BEW pode estar atribuída à presença do hidróxido de sódio (NaOH), do H^+ e do hipoclorito (OCl^-) presentes nela (Athayde et al., 2018), mesmo que em quantidades pequenas, devido à concentração da solução salina utilizada em seu preparo. Isso porque os prótons (H^+) e hidróxidos (OH^-) apresentam propriedades ácido-base, capazes de promoverem reações de hidrólise nas ligações peptídicas, o que poderia auxiliar na exposição das cadeias laterais polares e apolares das proteínas, aumentando a retenção de água e gordura e com isso a estabilidade da emulsão (Harrison et al., 2015; Chieh, 2012; Elias, 2006). Ainda, o cloro presente na BEW pode ter desempenhado influência na solubilização das proteínas cárneas. O OCl^- pode se unir às cadeias proteicas de carga positivas, e isso abriria a matriz tridimensional das proteínas, o que pode aumentar o número de cargas elétricas expostas que se uniriam à água e à gordura (Xargaió et al., 2006).

Segundo Konomatsu et al. (2003) a BEW pode apresentar capacidade emulsificante devido a presença de NaOH, uma vez que este pode solubilizar proteínas e reduzir glóbulos de gordura. Ainda, estudos demonstraram que a ação do NaOH poderia ser benéfica na modificação das proteínas da carne quando usado em conjunto com outros sais (como o NaCl e fosfatos) pois além de ter melhorado as características de carne mecanicamente separada, melhorou também a estabilidade de salsichas elaboradas com essa carne (Bai, Niu, & Xiang, 2019; Boles, Rathgeber, & Shand, 2000; Moiseev & Cornforth, 1997).

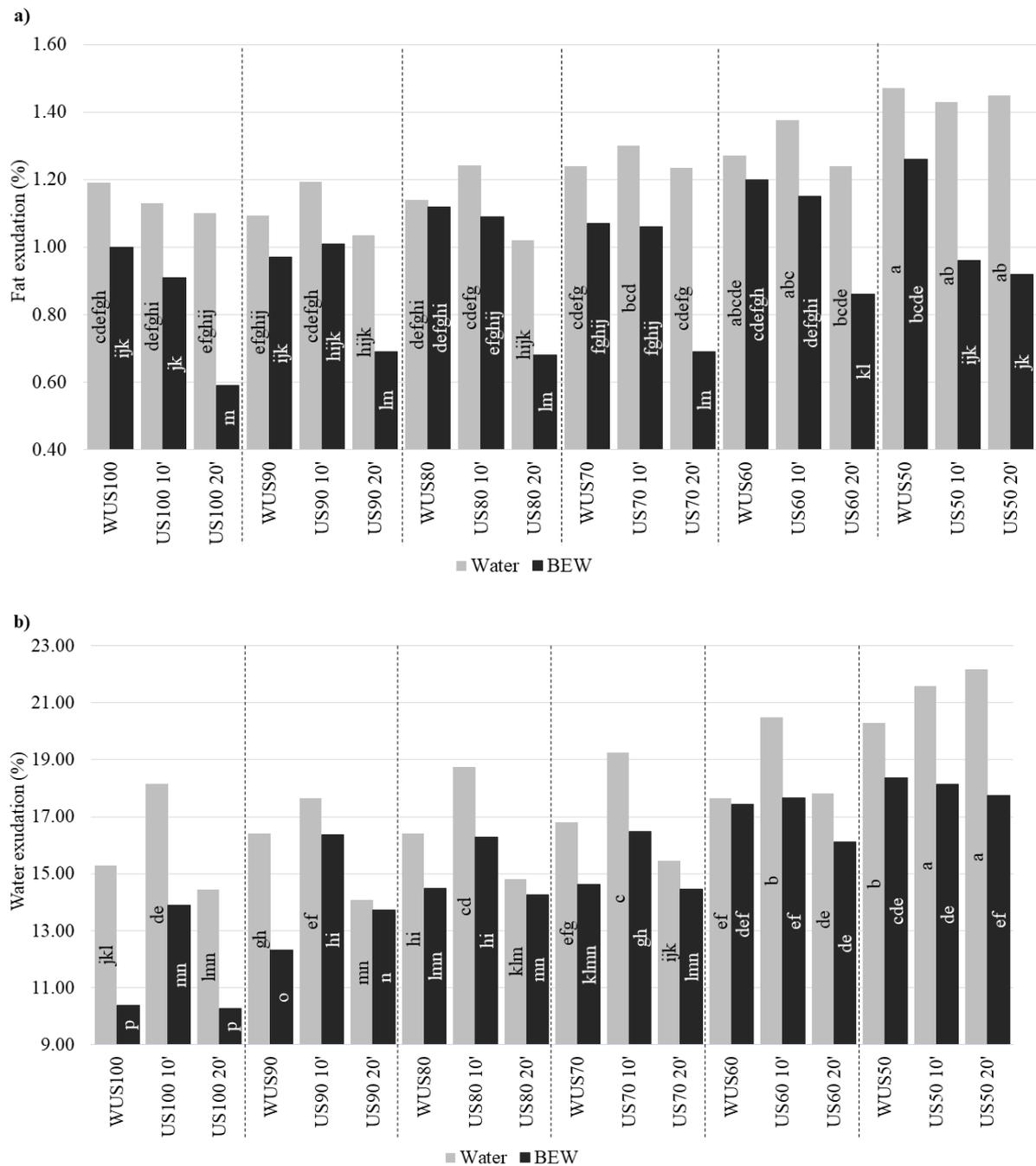


Fig. 1 – Liberação de água (a) e gordura (b) nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US

Nota: Letras diferentes entre os tratamentos apresentam diferença significativa ao nível de 0,1 % pelo teste de Tukey ($P < 0.001$). EPM: 0.33 (A) e 0.25 (B).

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

A fig. 2 mostra o rendimento das emulsões com diferentes concentrações de NaCl, tempos de US e adição de BEW. De uma forma geral, amostras com USW 20 min e USBEW 20 min não diferiram ($p < 0.001$) entre si independente da concentração de NaCl, o que neste aspecto indica uma maior ação do US aos 20 min quanto consideramos o rendimento como

um todo, embora quando falamos em liberação de gordura (fig 1a), as amostras com BEW + 20 min. de US tenham apresentado valores significativamente ($p < 0.001$) menores. Ainda, o rendimento das emulsões com US 20 min e/ou BEW não diferiram ($p > 0.05$) do tratamento controle (WUSW 100) até a concentração de 70%, corroborando com os resultados mencionados anteriormente sobre liberação de gordura e água (fig. 1a e 1b).

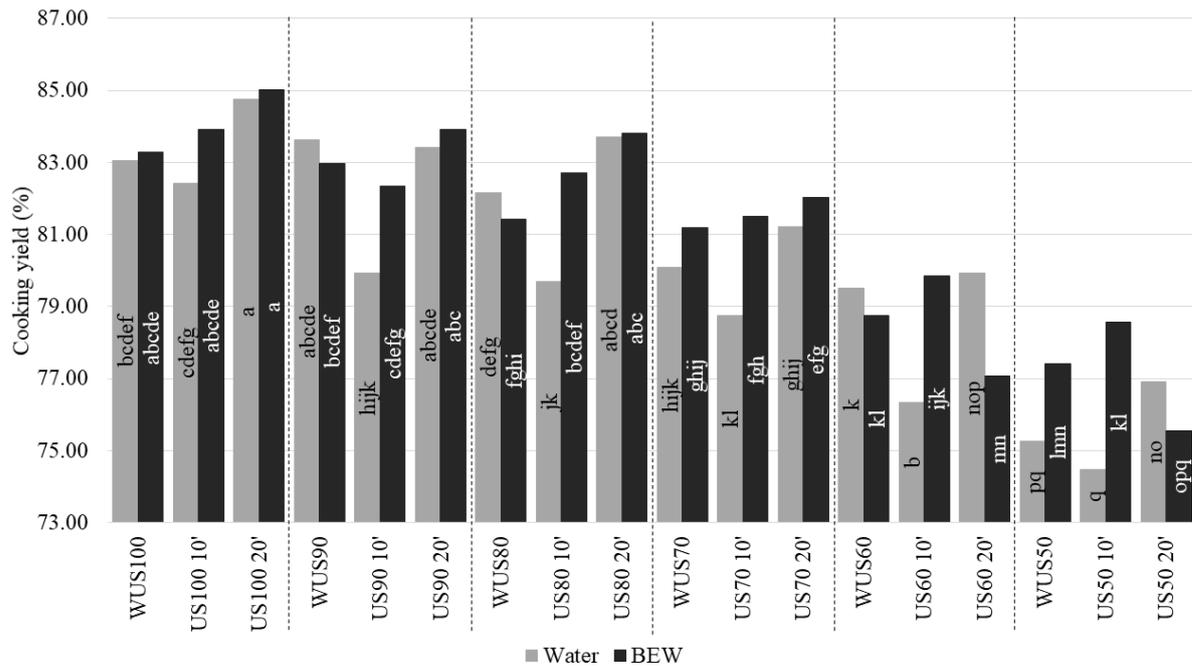


Fig. 2 – Rendimento nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US
Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 0.67.
WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

Quando comparamos estes resultados apresentados nas fig. 1 e 2. com os de umidade e atividade de água (fig. 3 e 4, respectivamente), observa-se que os mesmos corroboram com a possibilidade de que o US por 20 min e a BEW atuaram sinergicamente e contribuíram com o rendimento e estabilidade da emulsão. Em relação à umidade (fig. 3), foi possível observar maiores índices ($p < 0.001$) de umidade em relação ao controle (WUSW 100) nas amostras com USW e 20 min. e, quando adicionadas de BEW, o valor foi significativamente maior ($p < 0.001$) do que quando apenas com água e 20 min. de US. Recentemente Bai, Nui & Xiang (2019) relataram que pouco se sabe da ação da BEW sobre a umidade dos alimentos, e sobretudo em matrizes cárneas. Vinnikova e Porkina (2016) avaliaram salmoura elaborada com AEB em relação ao rendimento em carne suína e observaram que a salmoura de AEB, aumentou o rendimento e reduziu a perda de umidade em até 7,3% durante o processamento

térmico, em relação à salmoura tradicional. Em estudo realizado por Виннікова e Пронькіна (2015), no qual foi aplicado AE em diferentes proporções catódicas e anódicas em carne bovina e suína picadas, as quais posteriormente foram utilizadas para a elaboração de salsicha com 2.5% de NaCl, foi observada redução significativa na perda de umidade do produto, especialmente quanto a utilização da água 100% catódica (alcalina). Em ambos os estudos o resultado foi relacionado ao aumento do pH promovido pela salmoura com AEB.

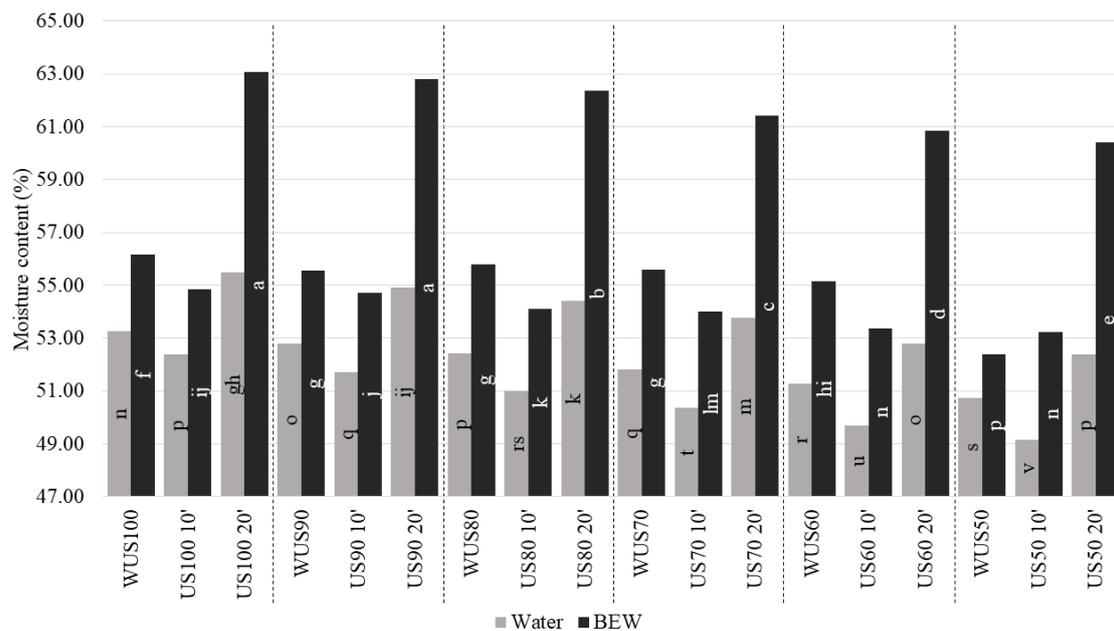


Fig. 3 – Umidade (%) nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US
Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 0.23.
WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

A atividade de água (fig. 4) não apresentou diferenças ($p > 0.05$) em relação a WUSW 100 até a concentração de 70% de NaCl para US20 min, independente da adição ou não de BEW, o que pode ser considerado um aspecto positivo. Isso porque o teor de umidade na emulsão está diretamente relacionado com a interação da água com os teores de NaCl e o valor de a_w . Menores valores de a_w , indicam maior difusão do NaCl na emulsão, e isso proporciona aumento no número de interações entre a água e os íons Cl^- , assim como maior interação da água com à matriz cárnea, e esses dois acontecimentos diminuem a quantidade de água livre (Aykın-Dinçer, & Erbaş, 2018; Barretto et al., 2018; Martuscelli et al., 2017; Ros-Polski et al., 2015).

Ainda, a partir dos resultados de atividade de água (fig. 4) também foi possível observar que US promoveu boa difusão do NaCl, mesmo com a redução em sua concentração.

Sobre a ação sinérgica do US e da BEW, acredita-se que o tempo de emprego ideal do US (20 min) provavelmente pode ter proporcionado maior ligação da BEW com o NaCl adicionado na massa, assim como o NaOH e OCl⁻ presente em sua própria constituição, o que indica que nestas concentrações houve uma maior ligação da água e gordura disponíveis, não apenas com o NaCl adicionado na massa, como também aos compostos presentes na BEW (especialmente o Cl e NaOH).

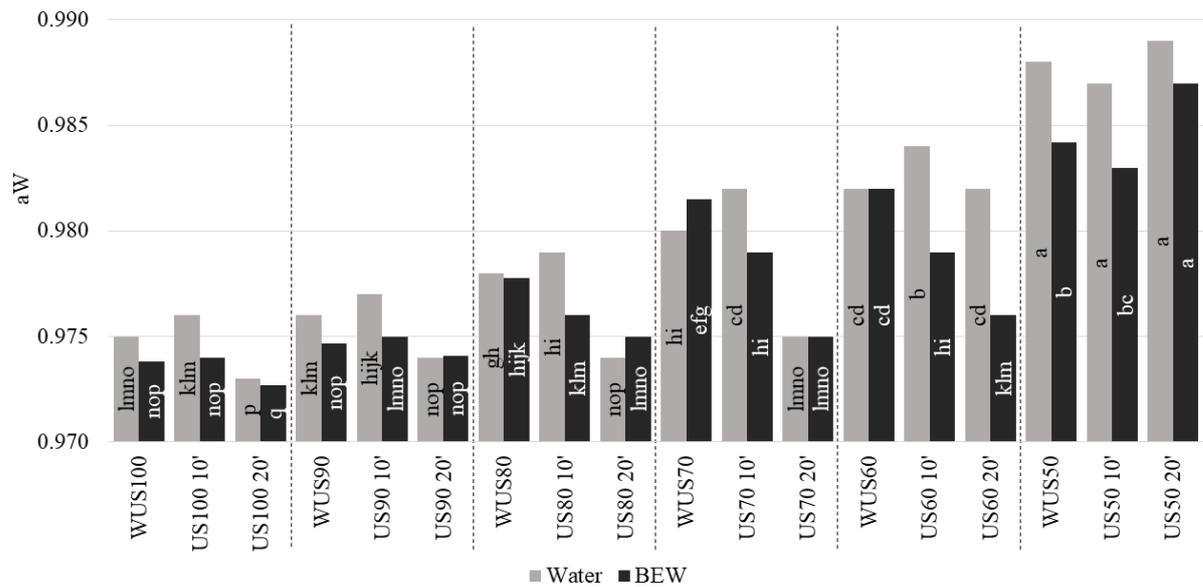


Fig. 4 – Atividade de água nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US
Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$).

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

4.3.2 pH e POR das emulsões cárneas elaboradas com água (W) e BEW em diferentes tempos de US

No presente estudo, observou-se influência significativa ($p < 0.001$) no pH (fig. 5) das amostras com BEW e 20 min. de US, apresentando maiores valores em relação ao controle (WUSW 100) até o nível de 70% e em relação às amostras com USW 20 min. em suas respectivas concentrações de NaCl. O aumento no pH poderia estar relacionado à alcalinidade da BEW (promovida pela presença de NaOH). Acerca da ação do NaOH na emulsão, quando este promove aumento no pH ocorre o distanciamento deste do ponto isoelétrico das proteínas musculares. A consequência é um aumento no número de grupos hidrofílicos nas moléculas de proteínas, o que, por sua vez, contribui para sua maior hidratação (Pinton et al., 2019;

Rigdon, Hung, & Stelzleni, 2017; Vinnikova, & Porkina, 2016). Em estudo realizado por Винникова, e Пронькіна (2015), foi observado juntamente com o aumento no pH promovido pela BEW um aumento no teor de umidade da carne bovina e suína, bem como no produto (salsicha) elaborado a partir destas. Knipe, Olson e Rust (1985) avaliaram a ação do NaOH, em separado ou combinado com vários tipos de fosfatos na elaboração de emulsão cárnea. A adição de 0,075% de NaOH aumentou o pH da emulsão e a proteína solubilizada, porém quando sozinha reduziu o rendimento do produto abaixo do controle. Desta forma, acredita-se que o aumento do pH nos tratamentos com BEW e US 20 min. em relação a WUSW 100 pode estar atribuído a uma homogeneização da BEW na emulsão cárnea, promovida pela ação do US, o que propiciou uma melhor ação do NaOH.

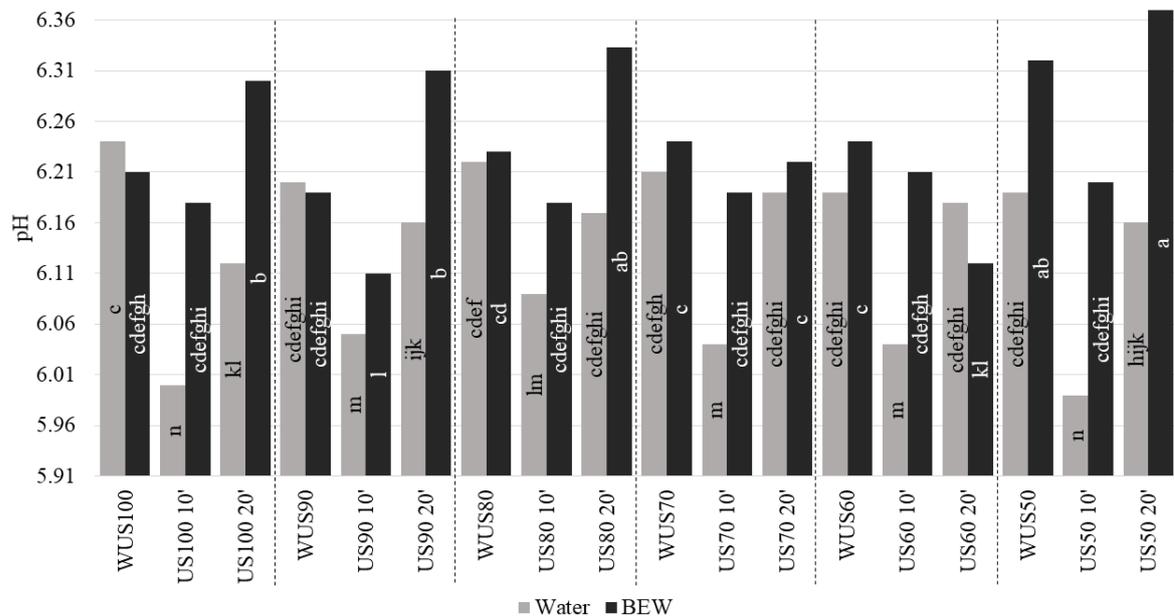


Fig. 5 – Valores de pH nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US

Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 0.04.

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

Em relação ao potencial redox (POR) das amostras, de uma forma geral observou-se que os maiores valores foram encontrados nas emulsões elaboradas com água e sem US (fig. 6), apresentando uniformidade quando se compara com o pH obtido nas amostras (fig. 5), que reduziu conforme a carga positiva aumentou e a concentração de NaCl diminuiu. Sobre isso, é importante entender a predominância de cargas positivas ou negativas na emulsão cárnea, uma vez que estão diretamente relacionadas à sua estabilidade. As proteínas possuem uma carga eletrônica que muda conforme o pH aumenta ou reduz em relação ao PI. Em valores

próximos ao PI (entre 5.0 e 5.4) as cargas positivas e negativas das proteínas se encontram em baixa repulsão eletrostática (quando a carga eletrônica líquida é igual a zero), havendo assim maior interação entre elas, ocasionando em mínima CRA devido a expulsão da água. A predominância de cargas positivas ou negativas resultará em uma repulsão de grupos de proteínas carregadas da mesma carga e maior capacidade de retenção de água. Em geral, quando falamos em emulsões cárneas, quanto maior o pH maior será a predominância de cargas negativas, o que contribui na CRA da proteína e conseqüentemente em sua estabilidade (Bao, Boeren, & Ertbjerg, 2018; Xiong, 2018; Alarcón-Rojo, & Janacua-Vidales, 2017; Cercel et al., 2015; Abdullah et al., 2013).

Como visto anteriormente, o pH das emulsões com AEB se apresentaram mais próximos à neutralidade (fig. 5), e ao relacionarmos este fator com a hipótese de distribuição de cargas, a ação da AEB poderia estar relacionada à ativação das moléculas da água, bem como um aumento nos íons de hidróxido (OH⁻) e H⁺ presentes nela, os quais se juntaram aos grupamentos livres das moléculas de proteína, portanto, ocupando um número maior de íons positivos (Віннікова, & Пронькіна, 2015; Harrison et al., 2015). Entretanto, em relação às amostras com BEW observou-se que não houve um comportamento uniforme na distribuição de cargas positivas ou negativas, especialmente nas amostras com US em 10 e 20 min. Sobre isso, pode ter havido influência do US neste fator, uma vez que quando ocorre a cavitação, partículas contendo íons de cargas negativas ou positivas atravessam o meio líquido (Shah et al., 1999), o que pode ter contribuído na variação dos valores de POR.

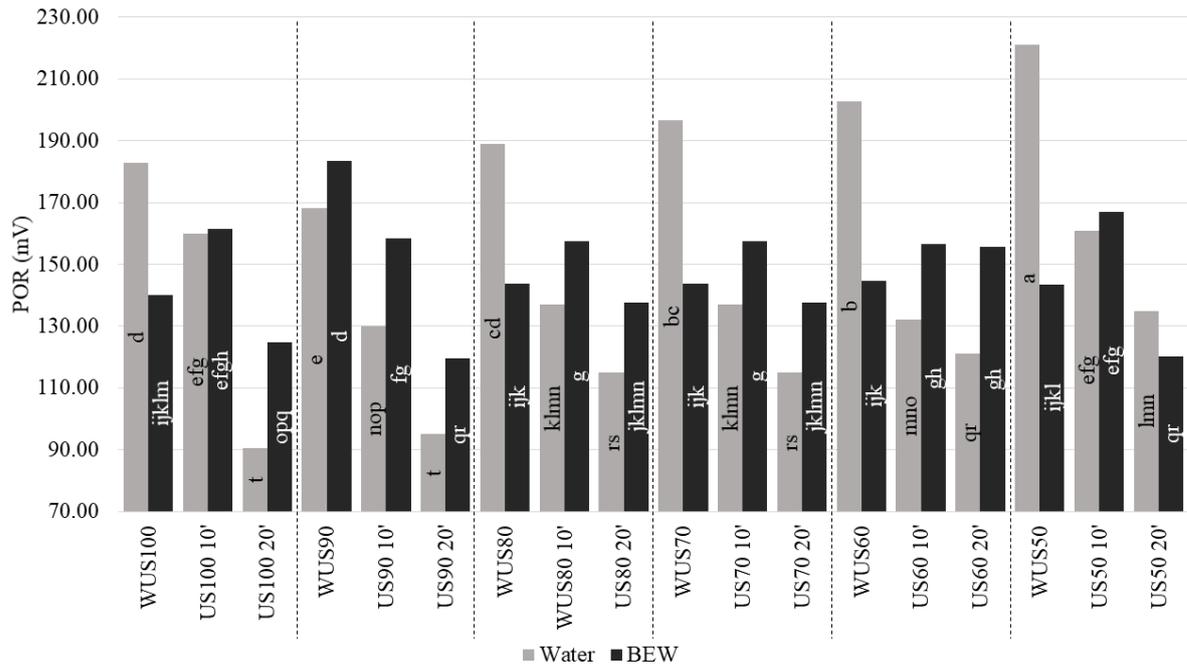


Fig. 6 – Valores de POR nas emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US

Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 2.30.

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

4.3.3 Atributos de textura avaliados nas emulsões cárneas elaboradas com água (W) e com água eletrolisada básica (BEW)

Observou-se que os atributos de dureza (N), coesividade e mastigabilidade foram coerentes em relação aos resultados obtidos em estabilidade (figura 1A – 1B) e rendimento (figura 2) das emulsões com água e BEW. Em relação à dureza (N) e coesividade (fig. 9 a e b) foram observados os maiores valores nas amostras com BEW e 20 min. de US, não havendo diferença significativa em relação a SUSW 100 ($p > 0.05$) até a concentração de 70% de NaCl.

Diversos estudos tem mostrado o US como uma alternativa de melhoria das propriedades gelificantes da carne. Em uma emulsão, a redução de NaCl limita a capacidade de extração das proteínas, o que implica em perda de CRA e pode afetar negativamente as características de textura dos produtos cárneos (Li et al., 2015; Jambrak et al., 2008). Cichoski et al. (2019), ao avaliarem a ação do US em diferentes tempos e modos sobre a textura de emulsões cárneas, observaram um aumento nas características de dureza, coesividade e mastigabilidade em banho de US no modo normal por 6 min (25 kHz e 154 W de potência) em relação ao controle, com consequente aumento da coesividade e mastigabilidade. Pinton et al. (2019) observaram aumento nos mesmos atributos em emulsões cárneas com teor reduzido de fosfato, utilizando banho ultrassônico no modo normal por 18 min (25 kHz, 60% de

amplitude). Em ambos os estudos, os resultados foram atribuídos à ação do US na conformação primária das proteínas e eventual desdobramento na estrutura das mesmas, o que poderia aumentar a capacidade de gelificação devido à formação de uma rede proteica tridimensional, capaz de reter a água e a gordura.

Entretanto, pouco se sabe sobre a ação da BEW sobre a formação de gel, sobretudo em produtos cárneos. Porém, acredita-se que as funcionalidades anteriormente citadas, as quais contribuíram para a retenção de água e gordura da emulsão e conseqüentemente para o aumento no rendimento, também tenha influenciado na formação de gel da emulsão. Vinnikova e Pronkina (2016) observaram redução de até 7.3% na perda de umidade em carne suína tratada com BEW durante o cozimento. Виннікова, e Пронькіна (2015), observaram ação benéfica da BEW em salsicha (com 2.5% NaCl na formulação) durante o processamento térmico de salsicha, reduzindo a perda de umidade em até 8.4% em relação ao controle, aumentando CRA do produto após cozido (sem BEW).

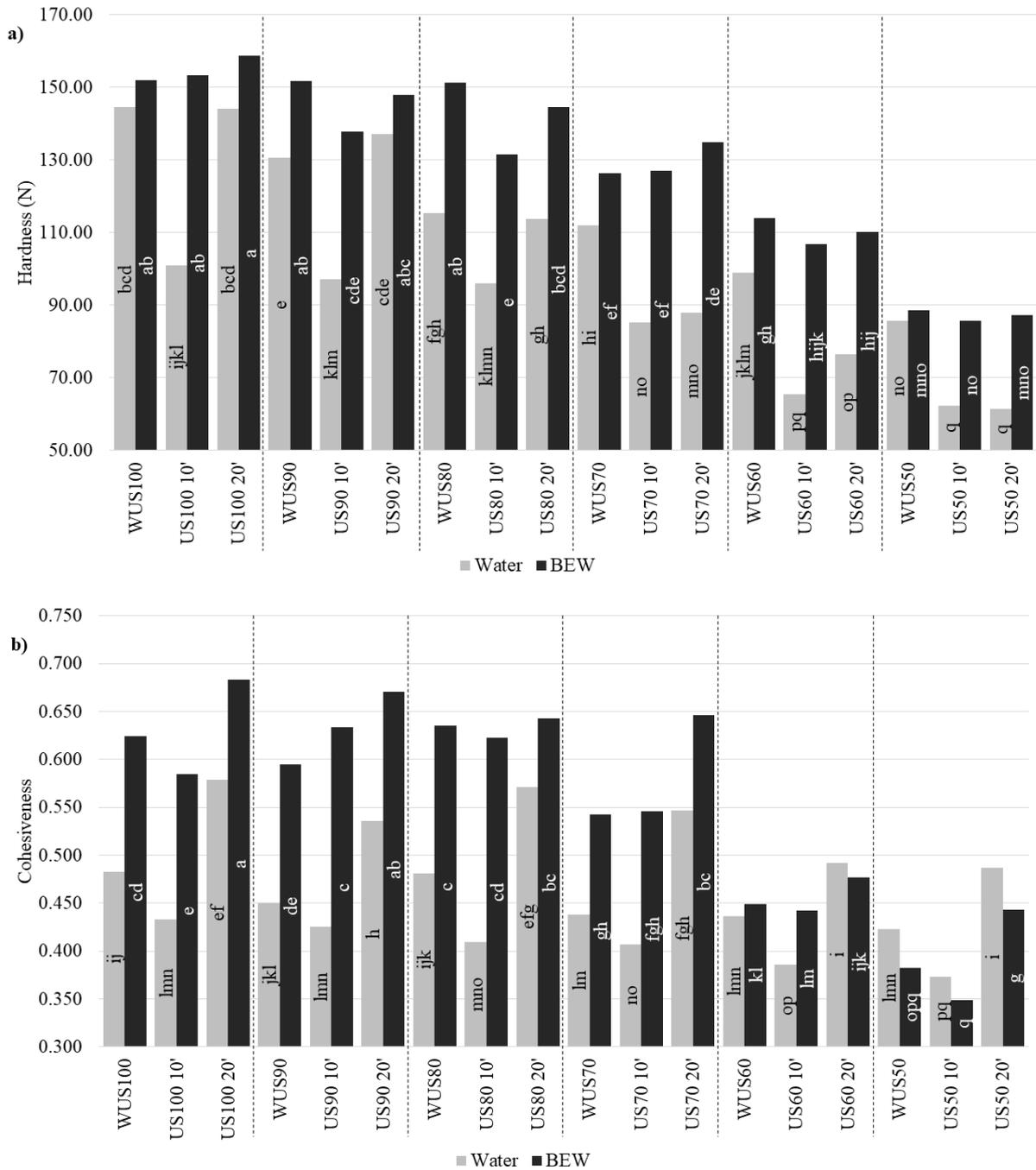


Fig. 7 – (a e b) Valores dureza (N) e coesividade das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US

Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 3.21 (a) e 0.008 (b)

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

Em relação à elasticidade e mastibabilidade (fig. 8 a e b), foi observado que tanto o US 20 min com água quanto US 20 min com BEW apresentaram bons resultados se comparados a WUSW 100, entretanto as amostras com BEW se destacaram apresentando maiores valores ($p < 0.001$) em relação a USW 20 min e WUSW 100 até o nível de 70% de NaCl, o que indica

que o US por 20 min nas condições testadas em conjunto com a BEW não apenas melhorou as características da emulsão como também no produto após cozido (formação de gel).

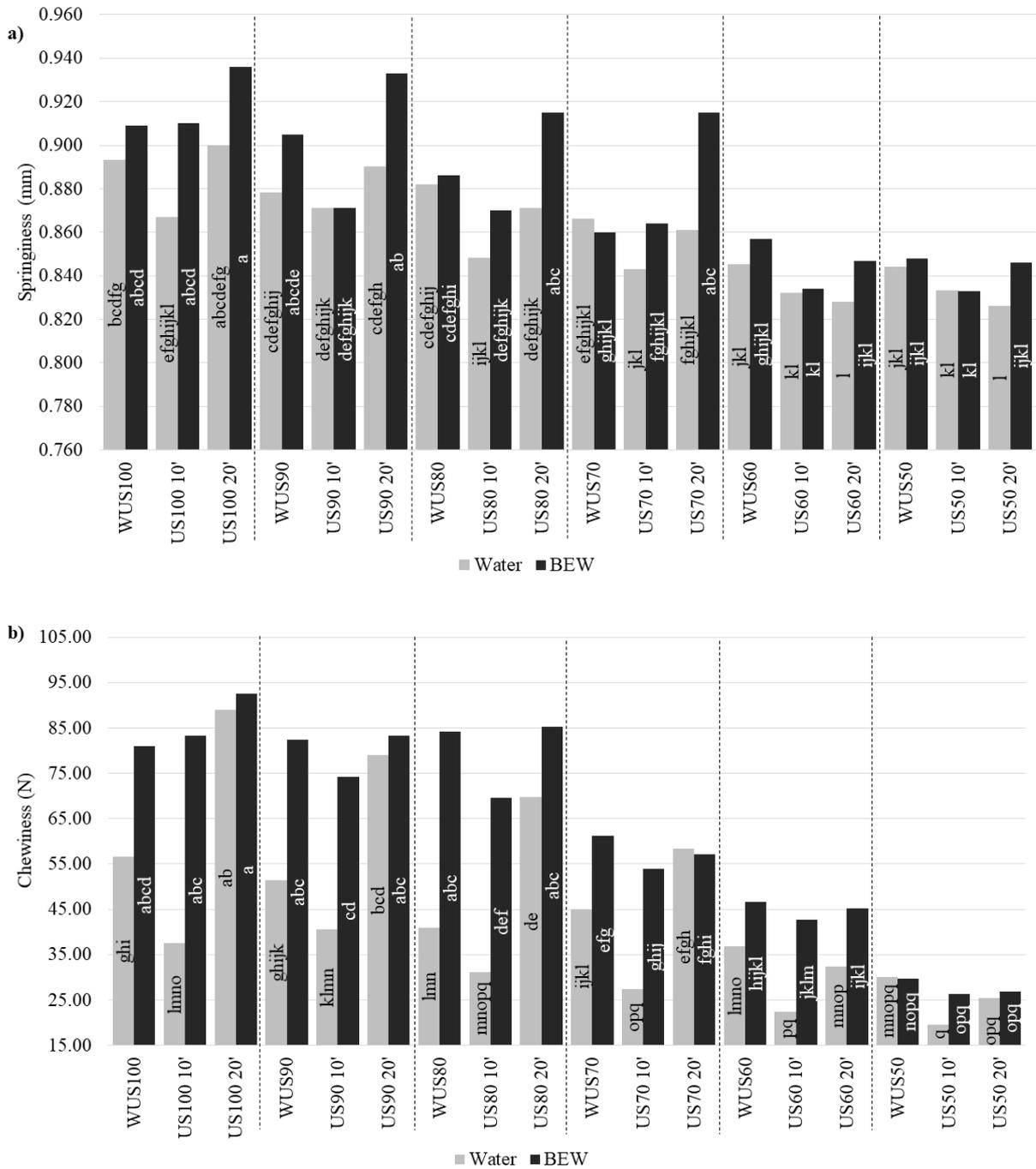


Fig. 8 – (a e b) Valores de elasticidade e mastigabilidade das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US

Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 1.66.

WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

4.3.4 Modificações na cor de emulsões cárneas elaboradas com água (W) e com água eletrolisada básica (BEW)

Neste estudo, a diferença de cor (ΔE) das emulsões foi calculada em relação ao controle (WUS100). Sabe-se que as diferenças na cor da carne são perceptíveis pelos consumidores com valores de ΔE entre 2-10 (Heck et al., 2019; Tomasevic et al., 2018). Neste estudo, foram observados valores mais altos de ΔE (Fig. 9) para as emulsões feitas com água (WUS60, WUS50, US50 10', US60 20') ou BEW (WUS50 e US50 20') e redução de 40% e 50% de NaCl, provavelmente devido aos níveis mais baixos de sódio desses tratamentos, 1,50% e 1,25% (Tabela 1). Em concentrações abaixo de 2% o NaCl pode apresentar efeito pró-oxidante, sobretudo sobre os pigmentos, podendo aumentar a atividade do ferro iônico a partir de moléculas contendo ferro, como as proteínas heme, podendo favorecer a formação de metamioglobina (Amaral, Silva, & Lannes, 2018; Fernández-López et al., 2004). Dimitrakopoulou, Ambrosiadis, Zetou e Bloukas (2005) observaram que a redução de 2 para 1% na adição de NaCl em lombo suíno diminuiu sua vermelhidão, evidenciando modificações na coloração em relação ao controle. Pires et al. (2017) observaram que a redução de 20, 40 e 60% de sódio em mortadela diminuiu a vermelhidão quando comparado com a amostra de controle.

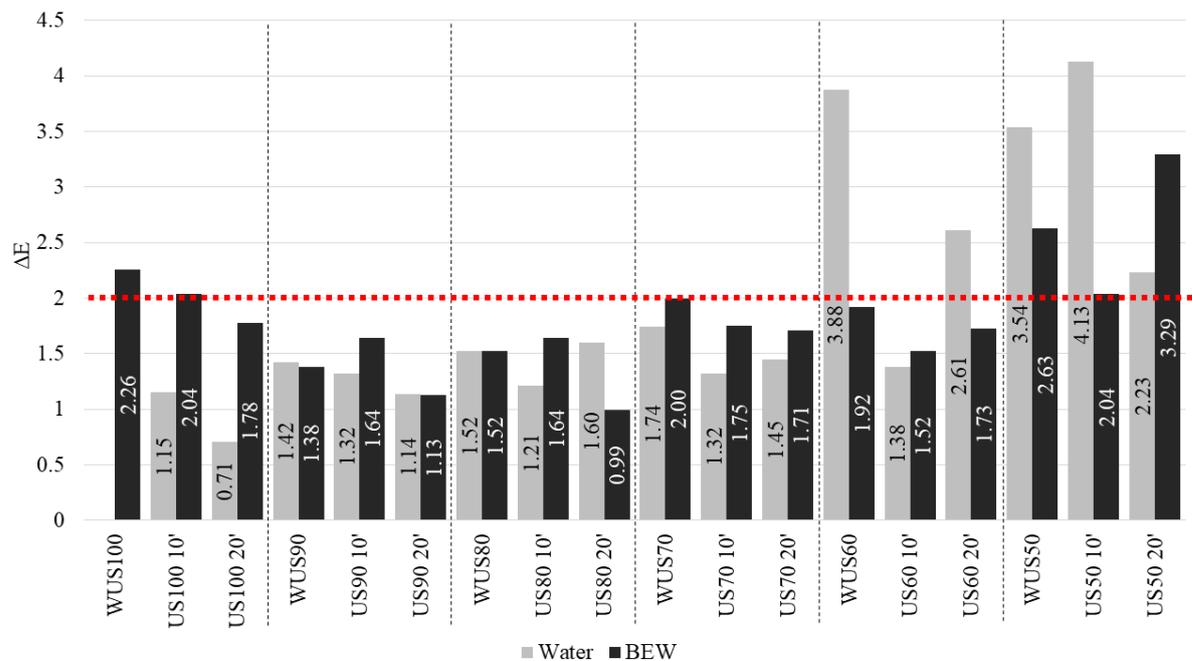


Fig. 9 – Valores de ΔE das emulsões cárneas elaboradas com água e com BEW e diferentes tempos de US
Nota: Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ao nível de 0,1% pelo Teste de Tukey ($P < 0.001$). Erro padrão da média: 0.25.
WUS: amostra não submetida ao US; **US 10':** amostra submetida ao US por 10 min.; **US 20':** amostra submetida ao US por 20 min.

4.4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a combinação de BEW e 20 min de US permite reduzir até 30% do teor de NaCl sem comprometer a qualidade tecnológica das emulsões de carne, considerando propriedades como estabilidade, rendimento de cozimento, textura e alterações de cor. No entanto, para esta tecnologia para serem aplicadas em nível industrial, são necessários mais estudos para avaliar a estabilidade oxidativa, as características microbiológicas e as propriedades sensoriais das emulsões de carne tratadas com BEW com baixo teor de sódio e sonicadas.

4.5 REFERÊNCIAS

- Abdullah, B. M., Cullen, J. D., Korostynska, O., & Mason, A. (2014). *Assessing Water-Holding Capacity (WHC) of Meat Using Microwave Spectroscopy Microwave cavity*, 117–140. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02318-2>
- Afari, G. K., & Hung, Y. C. (2018). A meta-analysis on the effectiveness of electrolyzed water treatments in reducing foodborne pathogens on different foods. *Food Control*, 93, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.06.009>
- Alarcón-rojo, A. D., & Janacua-Vidales, H. (2017). Applications of ultrasound in meat industry. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 5(6), 76–79. Retrieved from http://www.iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/2-382-150408607976-79.pdf
- Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A. (2018). Ultrasound and meat quality: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
- Amaral, A. B., Silva, M. V. da, & Lannes, S. C. da S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Science and Technology*, 38(suppl 1), 1–15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>
- American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. Champaign: American Meat Science Association, 136p.

- American Public Health Association. (1999). Iodometric electrode technique. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis. 18th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburgs, MD.
- Astruc, T. (2018). Histological Study of Ultrastructural Changes in Muscle Exposed to Various Concentrations of NaCl Brine. *Journal of food Science*, 0, 1–8. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14122>
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., da Silva, J. S., Genro, A. L. G., Silva, M. S., Klein, B., ... Cichoski, A. J. (2017). Application of electrolyzed water for improving pork meat quality. *Food Research International*, 100, 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.009>
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., Silva, J. S., Silva, M. S., Genro, A. L. G., Wagner, R., ... Cichoski, A. J. (2018). Characteristics and use of electrolyzed water in food industries. *International Food Research Journal*, 25(1), 11–16.
- Aykın-Dinçer, E., & Erbaş, M. (2018). Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents. *Meat Science*, 145(2017), 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.007>
- Bai, Y. Niu, L., Xiang, Q. (2019). Application of Electrolyzed Water in Red Meat and Poultry Processing. Chapter 5. In: Ding, T., Oh, D., Liu, D. (org.). *Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications*. Hangzhou: Springer, Singapore, 274p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
- Bao, Y., Boeren, S., & Ertbjerg, P. (2018). Myofibrillar protein oxidation affects filament charges, aggregation and water-holding. *Meat Science*, 135, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.011>
- Barbut, S. (1992). Mechanisms of Meat Batter Stabilization: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(4), 299–332. <https://doi.org/10.1080/10408399209527602>

- Barretto, T. L., Pollonio, M. A. R., Telis-Romero, J., & da Silva Barretto, A. C. (2018). Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction. *Meat Science*, *145*(June), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.023>
- Boles, J. A., Rathgeber, B. M., & Shand, P. J. (2000). Recovery of proteins from beef bone and the functionality of these proteins in sausage batters. *Meat Science*, *55*, 223–231. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00146-1)
- Bourne, M. C., Kenny, J. F., Barnard, J. (1978). Computer-Assisted Readout of Data From Texture Profile Analysis Curves. *Journal of Texture Studies*, *9*(4), 481–494.
- Cabrera-Trujillo, M. A., Filomena-Ambrosio, A., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Sotelo-Díaz, L. I. (2018). Stability of low-fat oil in water emulsions obtained by ultra turrax, rotor-stator and ultrasound homogenization methods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *13*(June), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.06.002>
- Cercel, F., Stroi, M., Alexe, P., & Ianițchi, D. (2015). Characterization of Myofibrillar Chicken Breast Proteins for Obtain Protein Films and Biodegradable Coatings Generation. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *6*, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.059>
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, *18*(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chieh, C. (2012). Water chemistry and biochemistry. Chapter 1. In: Simpson, Benjamin K. *Food Biochemistry and Food Processing*. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2094p.
- Cichoski, A. J., Silva, M. S., Leães, Y. S. V., Brasil, C. C. B., de Menezes, C. R., Barin, J. S., ... Campagnol, P. C. B. (2019). Ultrasound: A promising technology to improve the technological quality of meat emulsions. *Meat Science*, *148*, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.009>

- Colmenero, J. F.; Ayo, M. J.; Carballo, J. (2005). Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers. *Meat Science*, 69, 781–788.
- Dimitrakopoulou, M. A., Ambrosiadis, J. A., Zetou, F. K., & Bloukas, J. G. (2005). Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. *Meat Science*, 70(4), 743–749. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.011>
- Elias, F. O., Capitani, C. D., Añon, M. C., Teresa, M., & Pacheco, B. (2006). Emulsifying Properties of Whey Protein-polysaccharide Complexes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 1, 75–80.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J. A., & Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of Sodium Chloride, Sodium Tripolyphosphate and pH on Color Properties of Pork Meat. *Color Research and Application*, 29(1), 67–74+6. <https://doi.org/10.1002/col.10215>
- Harrison, Roger G., Todd, Paul W., Rudge, Scott R., Petrides, Demetri P. (2015). *Bioseparations Science and Engineering*. 2nd ed. New York: Oxford University, 551p.
- Heck, R. T., Saldaña, E., Lorenzo, J. M., Correa, L. P., Fagundes, M. B., Cichoski, A. J., Menezes, C. R., Wagner, R., Campagnol, P. C. B. (2019). Hydrogelled emulsion from chia and linseed oils: A promising strategy to produce low-fat burgers with a healthier lipid profile. *Meat Science*, 156, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.034>
- Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 558–562. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.007>
- Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., & Burgess, C. M. (2017). Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 59, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.016>

- Jadeja, R., Hung, Y. (2014). Efficacy of near neutral and alkaline pH electrolyzed oxidizing waters to control *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* DT 104 from beef hides. *Food Control*, 41(1), 17-20. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.030>
- Jambrak A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., Herceg, I. L. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, 86 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004>
- Kaci, M., Meziani, S., Arab-Tehrany, E., Gillet, G., Desjardins-Lavisse, I., & Desobry, S. (2014). Emulsification by high frequency ultrasound using piezoelectric transducer: Formation and stability of emulsifier free emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3), 1010–1017. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.11.006>
- Kameník, J., Saláková, A., Vyskočilová, V., Pechová, A., & Haruštiaková, D. (2017). Salt, sodium chloride or sodium? Content and relationship with chemical, instrumental and sensory attributes in cooked meat products. *Meat Science*, 131, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.010>
- Kang, D. C., Wang, A. R., Zhou, G. H., Zhang, W. G., Xu, S. M., & Guo, G. P. (2016). Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 35, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.03.009>
- Kang, D. Cheng, Gao, X. Gin, Ge, Q. Feng, Zhou, G. hong, & Zhang, W. Gang. (2017). Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.026>
- Kloss, L., Meyer, J. D., Graeve, L., & Vetter, W. (2015). Sodium intake and its reduction by food reformulation in the European Union – A review. *NFS Journal*, 1, 9–19.
- Knipe, C. L., Olson, D. G., Rust, R. E. (1985). Effects of Sodium Hydroxide and Selected Inorganic Phosphates on the Characteristics of Reduced Sodium Meat-Emulsions. *Journal of food Science*, 50, 1017-1020.

- Konomatsu, A., Sugibayashi, K., Okajima, M., & Ishii, F. (2003). Preparation and stability of surfactant free emulsions using electrolyzed deoxidized and ionized water. *Mater. Technol.*, *21*, 273–285.
- Krasulya, O., Bogush, V., Trishina, V., Potoroko, I., Khmelev, S., Sivashanmugam, P., & Anandan, S. (2016). Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics Sonochemistry*, *30*, 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.013>
- Krasulya, O., Tsirulnichenko, L., Potoroko, I., Bogush, V., Novikova, Z., Sergeev, A., ... Anandan, S. (2019). The study of changes in raw meat salting using acoustically activated brine. *Ultrasonics Sonochemistry*, *50*, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.024>
- Laranjo, M., Gomes, A., Agulheiro-Santos, A. C., Potes, M. E., Cabrita, M. J., Garcia, R., ... Elias, M. (2016). Characterisation of “Catalão” and “Salsichão” Portuguese traditional sausages with salt reduction. *Meat Science*, *116*, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.01.015>
- Marques, Í. E., Lucion, F. B., Bizzi, Cesar A., Cichoski, A. J., Wagner, R., Menezes, C. R., Barin, J. S. (2016). Are infrared and microwave drying suitable alternatives for moisture determination of meat products? *Journal of food quality*, *39*, 391–397. <https://doi.org/10.1111/jfq.12195>
- Martuscelli, M., Lupieri, L., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2017). Prediction of the salt content from water activity analysis in dry-cured ham. *Journal of Food Engineering*, *200*, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.017>
- Moiseev, I., & Cornforth, D. P. (1997). Sodium hydroxide and sodium triphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. *Meat Science*, *45*(1), 53–60.
- Ovissipour, M., Al-Qadiri, H. M., Sablani, S. S., Govindan, B. N., Al-Alami, N., & Rasco, B. (2015). Efficacy of acidic and alkaline electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O104: H4, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Aeromonas hydrophila*, and *Vibrio parahaemolyticus* in cell suspensions. *Food Control*, *53*, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.006>

- Parks, L. L.; Carpenter, J. A. (1987). Functionality of six non meat proteins in meat emulsion systems. *Journal of Food Science*, 52(2), 271-274.
- Pietrasik, Z., Gaudette, N. J., & Johnston, S. P. (2016). The use of high pressure processing to enhance the quality and shelf life of reduced sodium naturally cured restructured cooked hams. *Meat Science*, 116, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.009>
- Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F. (2013). Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*, 31(2), 593–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.039>
- Pinton, Mariana B., Correa, Letícia P., Facchi, Michelle M. X., Heck, Rosane T., Leães, Yasmim S. V., Cichoski, A. J., Lorenzo, José M., Santos, Mirian, Pollonio, Marise A. R., Campagnoll, Paulo C. B. (2019). Ultrasound: a new approach to reduce phosphate content in meat emulsions. *Meat Science*, 152, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>
- Pires, M. A., Munekata, P. E. S., Baldin, J. C., Rocha, Y. J. P., Carvalho, L. T., Santos, I. R., ... Trindade, M. A. (2017). The effect of sodium reduction on the microstructure, texture and sensory acceptance of Bologna sausage. *Food Structure*, 14,1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.002>
- Rahman, S. M. E, Khan, I., Oh, D. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 471-490. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>
- Rigdon, M., Hung, Y. C., & Stelzleni, A. M. (2017). Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics. *Meat Science*, 123, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.10.007>
- Ros-Polski, V., Koutchma, T., Xue, J., Defelice, C., & Balamurugan, S. (2015). Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.003>

- Shah, Y.T., Pandit, A.B., Moholkar, V.S. (1999). *Cavitation Reaction Engineering*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Shanmungan, A., Ashokkumar, M. (2017). Ultrasonic Preparation of Food Emulsions. Chapter 10. In: Villamiel, Mar, Montilla, Antonia, García-Pérez, José V., Cárcel, Juan A., Benedito, Jose (org.). *Ultrasound in food processing: recent advances*. Hoboken: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118964156>
- Sheng, X., Shu, D., Tang, X., & Zang, Y. (2018). Effects of slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of beef during refrigeration. *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1975–1981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.779>
- Stanley, R. E., Bower, C. G., & Sullivan, G. A. (2017). Influence of sodium chloride reduction and replacement with potassium chloride based salts on the sensory and physico-chemical characteristics of pork sausage patties. *Meat Science*, 133(May), 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.021>
- Sun, J. L., Zhang, S. K., Chen, J. Y., Han, B.Z (2012). Efficacy of acidic and basic electrolyzed water in eradicating *Staphylococcus aureus* biofilm. *Canadian Journal of Microbiology* 58, 448-454. <https://doi.org/10.1139/w2012-005>
- Tomasevic, I., Tomovic, V., Milovanovic, B., Lorenzo, J., Đorđević, V., Karabasil, N., & Djekic, I. (2019). Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. *Meat Science*, 148, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.015>
- Vidal, Vitor A. S., Biachi, João P., Paglarini, Camila S., Pinton, Mariana B., Campagnol, Paulo C. B., Esmerino, Erick A., Cruz, Adriano G, Morgano, Marcelo A., Pollonio, Marise A.R. (2019). Reducing 50% sodium chloride in healthier jerked beef: Na efficient design to ensure suitable stability, technological and sensory properties. *Meat Science*, 152, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.005>
- Vinnikova, L. G., Pronkina, K. V. (2016). The changes of characteristics of the pork whole muscle meat products while using the electrolyzed water. *Харчова наука і технологія*, 10(2), 19-23.

- Visessanguan, W., Ogawa, M., Nakai, S., & An, H. (2000). Physicochemical changes and mechanism of heat-induced gelation of arrowtooth flounder myosin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(4), 1016–1023. <https://doi.org/10.1021/jf9900332>
- Wang, H., Duan, D., Wu, Z., Xue, S., Xu, X., & Zhou, G. (2019). Primary concerns regarding the application of electrolyzed water in the meat industry. *Food Control*, 95(June 2018), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.049>
- Xargaió, M., Lagares, J., Fernández, E., Borrel, D., Juncá, G. (2006). *Una solución definitiva para mejorar la textura de la carne*. Departamento Tecnológico de Metalquimia.
- Xie, J., Sun, X., Pan, Y., & Zhao, Y. (2012). Combining basic electrolyzed water pretreatment and mild heat greatly enhanced the efficacy of acidic electrolyzed water against *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp. *Food Control*, 23(2), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.019>
- Xiong, Y. L. (2018). *Muscle proteins. Proteins in Food Processing* (Second Edition). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00006-1>
- Zhao, Y. Y., Wang, P., Zou, Y. F., Li, K., Kang, Z. L., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2014). Effect of pre-emulsification of plant lipid treated by pulsed ultrasound on the functional properties of chicken breast myofibrillar protein composite gel. *Food Research International*, 58, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.024>
- Zhao, Y., Hou, Q., Cao, S., Wang, Y., Zhou, G., & Zhang, W. (2019). Effect of regenerated cellulose fiber on the properties and microstructure of emulsion model system from meat batters. *Food Hydrocolloids*, 87(June 2018), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.044>
- Віннікова, Л. Г., Пронькіна К. В. (2015). Вплив фракцій електроактивованої води на функціонально-технологічні властивості яловичини та свинини. *Восточно-Європейський журнал передових технологій*, 75, 36-43.

5 ARTIGO 2**ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA BÁSICA AFETAM CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS, OXIDATIVAS E SENSORIAIS EM PRODUTO CÁRNEO EMULSIONADO COM TEOR REDUZIDO DE SAL?¹**

¹Artigo formatado de acordo com as normas da revista *Meat Science*

ORIGINAL PAPER**ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA BÁSICA AFETAM CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS, OXIDATIVAS E SENSORIAIS EM PRODUTO CÁRNEO EMULSIONADO COM TEOR REDUZIDO DE SAL?**

Yasmim Sena Vaz LEÃES¹, Jéssica Soares SILVA¹, Cleuza Terezinha de Aguiar ROSA¹, Silvino Sasso ROBALO¹, Mariana Basso PINTON¹, Mariane BITTENCOURT¹, Suelen Priscila dos SANTOS¹, Roger WAGNER¹, Cristiano Ragagnin de MENEZES¹, Juliano Smanioto BARIN¹, Paulo Cezar Bastianello CAMPAGNOL¹, Alexandre José CICHOSKI^{1*}

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Av. Roraima, 1000. Cidade Universitária, Bairro Camobi. CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil

Fone:

*Autor para correspondência: cijoale@gmail.com (Alexandre José Cichoski).

RESUMO

Investigou-se a ação de água eletrolisada básica (AEB) a 0.01% e do ultrassom (US) (20 min., 25 kHz, modo normal, 175 W) em mortadelas com 2 concentrações de NaCl: 100% (2.5%) e 70% (1.75%) sobre as características microbiológicas e oxidativas durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias) relacionando estes fatores a características como pH, mV, a_w cor e textura. A AEB em si pode ter desencadeado reações que favoreceram ($p < 0.001$) a oxidação lipídica (especialmente em relação aos trienos conjugados e TBARS) e proteica (reduzindo os valores de tiol) e desenvolvimento microbiano (especialmente de microrganismos mesófilos, psicrotróficos e lipolíticos) ao longo do armazenamento. O US quando aplicado em emulsões com água apresentou-se como uma alternativa viável na redução de NaCl, uma vez que reduziu a carga microbiana e velocidade de oxidação ($p < 0.001$), havendo necessidade de novos estudos sobre condições de aplicação da AEB em produtos cárneos emulsionados, mesmo que em conjunto com o US.

Palavras-chave: Ultrassom. Água eletrolisada. Deterioração de produtos cárneos. Mortadela.

5.1 INTRODUÇÃO

O cloreto de sódio (NaCl), também conhecido como sal, é considerado a principal fonte de sódio na alimentação humana e, por isso, sua elevada ingestão diária implica no risco de doenças cardiovasculares, gerando um problema de saúde pública. Em decorrência disso, muito se tem buscado reduzir a ingestão deste composto, o que tem gerado pressão na indústria de alimentos por parte da população e dos órgãos públicos de saúde (Barretto et al., 2018, Cluff et al., 2017). A *World Health Organization* (WHO, 2003) recomenda a ingestão diária de < 5 g de NaCl, o que implica em menos de 2 g de sódio/dia, e estima-se que a maioria da população mundial ingere, no mínimo, o dobro desta quantidade (Souza et al., 2016).

Diante deste cenário, as indústrias de produtos cárneos buscam desenvolver produtos com teor reduzido de NaCl, a fim de atender a esta demanda. Dentre os produtos cárneos cuja redução no teor de sal é necessária destaca-se a mortadela, produto emulsionado que possui, em média, de 2 a 3% de NaCl em sua formulação. Entretanto, o NaCl desempenha importantes funções sob o ponto de vista tecnológico, físico-químico, oxidativo, microbiológico neste tipo de produto, o que torna sua redução problemática, pois influencia diretamente na vida de prateleira e características importantes como textura, cor e qualidade

sensorial (Raybaudi-Massilia et al, 2019, Delgado-Pando et al., 2018, Stanley, Bower, & Sullivan, 2017).

Diversos estudos tem buscado o uso de tecnologias alternativas que apresentem menor tempo de processamento, menor gasto de água e energia, ao mesmo tempo em que se mantem ou melhora a qualidade do produto. Dentre elas, estão o ultrassom (US) e a água eletrolisada (AE). A aplicação e efeito do US frente as características tecnológicas, sensoriais, oxidativas e microbiológicas em produtos cárneos vem sendo amplamente estudada (Cichoski et al., 2019, Pinton et al., 2019; Barretto et al., 2018; Inguglia et al., 2017, Ohja et al., 2016, Li et al, 2015, Ozuna et al., 2013). A cavitação promovida pelo US em baixas frequências (20 – 100 kHz) e altas intensidades (10 – 1000 W·cm⁻²) é capaz de promover mudanças nas propriedades físicas e favorecer reações químicas nos produtos, o que implica em alterações importantes em produtos cárneos, tais como características oxidativas e microbiológicas, bem como cor e textura (Zhang et al., 2018, Alarcón-Rojo et al., 2018, Barretto et al., 2018, Alarcón-Rojo et al., 2015).

A AE, por sua vez, é obtida pelo processo de eletrolisação, o qual origina a água eletrolisada ácida (AEA, oriunda do ânodo) e água eletrolisada básica (AEB, oriunda do cátodo). A AE é formada através da eletrólise de uma solução, geralmente oriunda de NaCl diluído. Existem diversos estudos que mostram a eficácia da AE em processos de sanitização em diferentes etapas de processamento dos alimentos, porém com foco na ação da AEA e da água eletrolisada fracamente ácida (AEFA), em separado ou em combinação com a AEB (Wang et al., 2019, Athayde et al., 2018, Sheng et al., 2018, Wang et al., 2018; Athayde et al., 2017; Tang et al., 2017; Sun et al., 2012; Xie et al., 2012), tendo apresentado resultados positivos em relação à ação microbiana. Entretanto, há poucos estudos que contemplem a aplicação da AEB em produto alimentício, bem como seus efeitos na qualidade deste, especialmente no que diz respeito a aspectos importantes relacionados ao armazenamento, tais como desenvolvimento microbiano, oxidação, cor e textura dos produtos. Hara et al. (2003a) avaliaram a ação da AEB em baixas concentrações no cozimento de macarrão, estudando as características tecnológicas, pH e parâmetros de textura, e em outro estudo (HARA et al., 2003b) avaliaram o efeito da AEB em baixas concentrações nas propriedades oxidativas e sensoriais do Tofu. Em produtos cárneos, Rigdon, Hung e Stelzleni (2017), Vinnikova e Porkina (2016) e Віннікова e Пронькіна (2015) investigaram a ação da AEB sobre matrizes cárneas, avaliando características importantes como capacidade de retenção de água (CRA), umidade, pH e textura.

Dada a necessidade de reduzir o teor sal em produtos cárneos e os possíveis problemas relacionados a essa redução, especialmente no que diz respeito às consequências em relação à vida de prateleira do produto, o presente estudo objetivou investigar a influência do US e da AEB (em separado e em conjunto) sobre as características físico-químicas, oxidativas, microbiológicas e sensorial em mortadela italiana com reduzido teor de sal durante o armazenamento.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Elaboração dos produtos cárneos emulsionados e características da AEB

As mortadelas foram constituídas de carne bovina (patinho - *Vastuslateralis*, *Vastusintermedius* *Vastusmedialis* e *Rectusfemoris*, 43.2%), carne suína (paleta - *Triceps brachialis*, 33.2 %), toucinho (10%), sal de cura (0.25%), eritorbato de sódio (0.25%), fosfato (0.20%), alho em pasta (0.20%), coentro em pó (0.10%), pimenta preta (0.10%), NaCl (nas concentrações de 2.5 e 1.75%), bem como gelo de H₂O e AEB (nas concentrações de 10 e 10.75%, dependendo da concentração de NaCl utilizada).

Para a elaboração da AEB, foi utilizada uma solução de NaCl P.A. (DINÂMICA LTDA.) em água deionizada (deionizador PERMUTION) na concentração de 0.01%. A eletrólise foi realizada em equipamento DEMO-30 (ENVIROLYTE, Estônia), e a AEB apresentou pH de $10,91 \pm 0,21$ e potencial redox (POR) de $-330 \text{ mV} \pm 4,15$ e concentração de cloro livre (CCL) de 1,2 mg/L, a qual foi determinada por potenciometria direta do iodo liberado pela adição de iodeto de potássio à amostra, conforme método 4500-Cl *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1999).

Primeiramente a carne e o toucinho foram moídos em moedor com disco de 5 mm (JAMAR Ltda. modelo PJ-22 Plus Professional). A elaboração da massa cárnea consistiu na cominuição desta em *cutter* (G PANIZ® modelo 0,5l 60 Hz), seguindo as etapas: cominuição da carne moída, ½ do gelo (de H₂O ou AEB), NaCl, fosfato e sal de cura por 35 seg.; adição do eritorbato de sódio, alho em pasta, coentro e pimenta e cominuição por 35 seg.; adição do toucinho e restante do gelo seguido de cominuição por 30 seg. Após, as massas foram embutidas utilizando um embutidor manual (JAMAR® modelo EJ-09) em envoltórios artificiais (46µ de espessura, 32 mm de diâmetro, 16 ± 1 cm de comprimento (originando peças com aproximadamente 170 ± 1 g), constituídos de poliamida 6 /adesivo de coextrusão/polietileno de baixa densidade/adesivo de coextrusão/poliamida 6), previamente

hidratados em água a 25-30 °C por 10 min. Posteriormente, as emulsões foram tratadas em banho de US.

5.2.2 Condições de tratamento no US e cozimento das mortadelas

As mortadelas foram tratadas em banho ultrassônico (Elma®, modelo TI-H-10, 750W de potência nominal). Cinco peças foram dispostas aleatoriamente (independente da concentração de NaCl e/ou adição de AEB) no banho de US. Foram aplicadas as condições de 25 kHz de frequência, 60% de amplitude, 175 W de potência acústica no modo normal e temperatura da água controlada ($18\text{ °C} \pm 1$) por 20 min.

Posterior ao tratamento com US, as peças de mortadela foram cozidas em banho industrial com água a 80 °C. Ao terem atingido 73 °C em seu interior, as peças permaneceram por mais 5 min no banho. Após, foi aplicado banho de gelo na proporção de 3:1 (água:gelo) até que as peças atingissem temperatura interna de 10 °C (± 15 min.). As mortadelas foram mantidas sob refrigeração ($\pm 5\text{ °C}$) durante 90 dias para a realização das análises.

A partir das variáveis estabelecidas (concentração de NaCl, utilização de AEB e aplicação de US), foram originados os seguintes tratamentos: **WUSW 100**: sem US, 2.5% de NaCl e H₂O; **USW 100**: com US, 2.5% de NaCl e H₂O; **WUSBW 100**: sem US, 2.5% NaCl e AEB; **USBW 100**: com US, 2.5% NaCl e AEB; **WUSW 70**: sem US, 1.75% de NaCl e H₂O; **USW 70**: com US, 1.75% de NaCl e H₂O; **WUSBW 70**: sem US, 1.75% NaCl e AEB; **USBW 70**: com US, 1.75% NaCl e AEB;

5.2.3 Avaliação da vida de prateleira

Para a avaliar a influência do US e da AEB sobre características físico-químicas, oxidativas e microbiológicas das mortadelas italianas com teor reduzido de NaCl ao longo do período de armazenamento, as amostras foram analisadas nos dias 1, 30, 60 e 90 em três repetições e realizou-se as seguintes análises:

5.2.3.1 Composição centesimal

Foram realizadas a determinação do teor de umidade (105 °C até peso constante), proteínas (% N total na mortadela x 6,25 pelo método micro *Kjeldahl*) e cinzas (mufla 550°C por 5 h), seguindo os métodos oficiais da AOAC (1995), 950.46, 928.08 e 923.03, respectivamente. A determinação dos lipídios foi realizada por extração a frio pelo método

Bligh-Dyer (Bligh & Dyer, 1959). As análises de composição centesimal foram realizadas no dia 1 de armazenamento.

5.2.3.2 pH, POR e atividade de água

Para a determinação do pH e POR, as amostras foram trituradas e uma alíquota de 5g foi homogeneizada em 50 mL de água destilada a fim de realizar a leitura em pHmetro digital de duplo canal (Digimed® - DM 23), equipado com um eletrodo de platina (modelo DME-CP1) para determinação de POR, um eletrodo de vidro do tipo bulbo (modelo DME-CV1) para determinação de pH e um termocompensador (modelo DMF-N1), previamente calibrados com solução padrão a 25 °C. A atividade de água foi determinada pela detecção do ponto de condensação em espelho refrigerado, utilizando o aparelho Aqualab® (modelo CX2) previamente calibrado com soluções padrão de a_w entre 0,92 e 1,00 a uma temperatura de 20° C.

5.2.3.3 Análises microbiológicas

Para a contagem de bactérias mesófilas (Brasil, 2003) utilizou-se incubação a 36 °C / 48 h com semeadura em profundidade, e as psicotróficas a 7 °C por 10 dias com semeadura em superfície (BRASIL, 1992), ambas utilizando o meio de cultura *plate count agar* (MERCK, Alemanha). As bactérias lácticas foram inoculadas a 36 °C / 48 h em anaerobiose com semeadura em profundidade utilizando meio de cultura *Lactobacilli MRS agar* (MERCK, Alemanha) com posterior sobreposição de camada *Ágar-ágar* (VETEC, Brasil) seguindo metodologia descrita pela *American Public Health Association* (2001). As bactérias do grupo *Enterobacteriaceae* foram semeadas em profundidade utilizando meio de cultura *violet red bile glucose agar* (ACUMEDIA, Brasil) e sobreposição de camada *Ágar-ágar* (VETEC, Brasil) e incubadas a 36 °C / 24 h, conforme metodologia descrita em Brasil (2003). Para a contagem de fungos, foi realizada com semeadura em superfície utilizando *Potato dextrose agar* (MERCK, Alemanha), com incubação a 25 °C por 7 dias (Brasil, 2003). Ainda, visando encontrar relações do desenvolvimento microbiológico com a velocidade das reações oxidativas, realizou-se a identificação e contagem de bactérias lipolíticas utilizando meio *tributyryn ágar* adicionado de *glyceryl tributyrate* (ambos Sigma Aldrich®, Estados Unidos), com semeadura em superfície, e as placas incubadas em anaerobiose a 35°C/48h. Os resultados das análises microbiológicas foram expressos em log unidades formadoras de colônia por grama (log UFC/g) de amostra.

5.2.3.3 Avaliação da oxidação lipídica

A oxidação lipídica foi realizada pelas análises de índice de peróxidos, conforme metodologia descrita por Shanta & Decker (1994) a 500 nm e o resultado expresso em mEq de peróxidos por kg de lipídios, dienos/trienos conjugados conforme metodologia descrita por Recknagel e Glende (1984), com adaptações de Semb (2012) e a leitura realizada em 234 (dienos) nm e 266 nm (trienos), sendo os resultados expressos em mg de lipídios em 3 mL de ciclohexano. As substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram determinadas pela metodologia descrita por Bruna et al. (2001, adaptado de Shahidi et al., 1985), com leitura a 532 nm e os resultados expressos em mg de monoaldeído (MDA) por kg de amostra (mg MDA/kg amostra). Todas as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Agilent 8453).

Ainda, foi realizada a determinação do hexanal (composto escolhido como indicador da oxidação lipídica). As amostras de mortadela foram coletadas nos dias 1, 30 e 60 de armazenamento, embaladas a vácuo e congeladas até o momento da análise. Para a realização da análise foi realizada a técnica de microextração em fase sólida (SPME), na qual as amostras foram moídas ainda congeladas, e 5g de mortadela (sendo cada amostra em triplicata, n=3) foram pesadas e adicionadas em *vial*. Antes da extração, cada *vial* foi submetido ao pré-equilíbrio em banho-maria 40°C/15min (sem exposição da fibra). Passado o tempo de equilíbrio a fibra Carboxen-polidimetilsiloxano (75 µm, 10 mm, Supelco, Bellefonte, PA, EUA) foi exposta no interior do *vial* em banho-maria 40°C/45min, para que os compostos voláteis fossem adsorvidos no *headspace* do *vial*. Após a extração, os compostos voláteis retidos na fibra foram levados a um GC equipado com um detector de massas (GC-MS) SHIMADZU, QP-2010 Plus, Tóquio, Japão).

Os compostos foram separados em coluna ZP-WAX Plus (Chrompack, EUA) de 60 m x 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura de fase. O hélio foi utilizado como gás carreador, sob fluxo constante de 1,0 mL / min. A temperatura inicial da coluna foi ajustada para 35°C/durante 3min, em seguida, um gradiente de temperatura foi iniciado subindo a 2°C/min até 80°C. Seguido por um aumento a 5°C/min até 230°C e mantida em condições isotérmicas durante 5 min. A temperatura do detector foi mantida a 230°C. A identificação dos compostos voláteis foi realizada em um espectrômetro de massa operando em modo de ionização de elétrons (+70 eV) usando uma varredura de 35-350 m / z e voltagem do detector de 0,96 kV. A identificação foi feita de acordo com Wagner e Franco (2012), comparando os espectros de massa com aqueles obtidos no Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST 05). Os n-alcenos homólogos foram analisados sob as mesmas condições cromatográficas

para calcular o índice de retenção linear (IRL). Na corrida cromatográfica foi identificado e monitorado o hexanal através da área do pico cromatográfico.

5.2.3.4 Avaliação da oxidação proteica

Foi realizada utilizando o método do grupamento tiol proteico conforme Ellman (1959) e quantificação da proteína pelo método de Lowry (1951), com leituras em espectrofotômetro (AGILENT 8453) a 412 e 280 nm, respectivamente. O resultado foi expresso em nanomol de Tiol.

5.2.3.6 Determinação de cor instrumental e pigmentos totais e nitrosos

As medidas de cor foram realizadas em espectrofotômetro Minolta portátil, modelo CM-700d (Konica Minolta). As mortadelas foram cortadas em cilindros de aproximadamente 1,0 cm e a cor avaliada em seis diferentes pontos da superfície interna e externa, considerando as características de luminosidade (L^*), vermelhidão (a^*) e amarelo (b^*) com iluminante A, componente especular incluso (SCI) e ângulo do observador em 10° e valor de abertura de 8 mm. A partir dos dados obtidos, foram calculados o ΔE , a fim de mensurar a diferença global de cor visualmente percebida entre as amostras em relação ao padrão (WUSW 100) e se estas modificações influenciam na formação de cor vermelha, respectivamente. Para a determinação do ΔE foi utilizada a equação 1.

$$\Delta E = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Onde: L^* , a^* e b^* são as características de luminosidade, vermelhidão e amarelidão das amostras submetidas às diferentes condições de tratamento e L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 são os valores da amostra considerada o “padrão” (SUSW 100) nos dias 1, 30, 60 e 90 de armazenamento.

Além disso, a fim de encontrar relações entre a cor e a oxidação proteica, foi realizada a determinação de pigmentos totais e pigmentos nitrosos seguindo metodologia descrita por Terra e Brum (1988). Os pigmentos nitrosos e totais foram lidos em espectrofotômetro (Agilent 8453) a 640 e 540 nm. Os resultados para pigmentos totais foram expressos em % de conversão, e os nitrosos, expressos em pigmento nitroso por ppm.

5.2.3.7 Análise instrumental de textura

As amostras foram cortadas em cilindros de 2 cm de altura e 32 mm de diâmetro e avaliadas em texturômetro modelo TA.XT (Texture Analyser TA.XT *plus*) utilizando probe

de 40 mm de diâmetro. O *software Stable Micro Systems* calculou os parâmetros de TPA, dos quais 4 foram considerados para o presente estudo: dureza (N), elasticidade (mm), coesividade e mastigabilidade (N).

5.2.3.8 *Análise sensorial*

Foram aplicados os testes de aceitabilidade, intenção de compra e *check-all-that-apply* (CATA), sendo o projeto aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa em Humanos da UFSM, protocolado sob o número 91346618.9.0000.5346, e todos os participantes assinaram um tempo de consentimento livre e esclarecido, concordando em participar do experimento. A análise sensorial foi realizada considerando o dia 1 de armazenamento, e participaram 102 provadores.

Para o teste de aceitabilidade foi utilizada escala hedônica de 7 pontos, variando de “+3 gostei extremamente” e “-3 desgostei extremamente”, através do valor intermediário zero associado com o termo “indiferente”, bem como escala de intenção de compra. Foram considerados os atributos de cor, aroma, sabor e textura (DUTCOSKY, 2013). A intenção de compra foi realizada utilizando uma escala de 5 pontos, variando entre “+2 certamente compraria” e “-2 certamente não compraria”.

Para o CATA, foi conduzida uma mesa redonda na qual uma equipe de 3 julgadores provou e analisou as amostras objetivando realizar o levantamento de terminologias que consideravam apropriadas para descrevê-las. Após, foi realizada uma discussão das terminologias obtidas, a fim de eliminar termos redundantes e/ou que não se aplicam ao produto. A partir das deliberações entre o grupo, obteve-se um total de 13 termos descritores, dos quais originou-se a ficha de avaliação.

A intenção de compra foi expressa em percentual (%) e para aceitabilidade foi aplicado teste de Tukey a 5% de significância, também considerando EPM nas tabelas e gráficos. Para o questionário CATA, foi utilizado método de análise da correspondência, considerando a distância do qui-quadrado (Vidal et al., 2015), calculado sobre a matriz contendo a frequência de uso de cada termo para cada amostra. A aceitabilidade e o CATA foram calculados com o software XLSTAT (ADINSOFT, Paris, França, 2017).

5.2.4 **Análise estatística**

Todo o experimento foi repetido três vezes em dias diferentes, sendo cada amostra analisada em duplicata (n=6). Para o tratamento estatístico, foi utilizado o software IBM SPSS Statistics (SPSS, versão 21, 2012). Uma análise de variância (ANOVA) utilizando o

procedimento do modelo linear geral foi realizada para analisar os dados dos aspectos físico-químicos, oxidativos e microbiológicos, o qual considerou os tratamentos como um efeito fixo e as repetições dos experimentos como efeito aleatório. Quando encontrados efeitos significativos entre tratamentos em relação ao dia ou tratamento em relação aos dias analisados, aplicou-se teste de Tukey utilizando os níveis de significância (Sig.) de 5% ($P \leq 0,05$), 1% ($P \leq 0,01$) e 0,1% ($P \leq 0,001$). Nas tabelas foi também utilizado o erro padrão da média (EPM) entre os tratamentos e entre os dias. Os gráficos foram expressos com médias, diferenças (considerando as significâncias acima citadas) e erro padrão da média, utilizando o programa Excel (Microsoft Office System, 2016).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição centesimal

A tabela 1 mostra os resultados da composição centesimal das amostras de mortadela com adição de BEW e diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US.

Tabela 1 – Composição centesimal nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e adição de AEB e submetidas ao US

Tratamento	Proteína (%)	Lipídios (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)
WUSW 100	19.21 ^a	15.53 ^{ab}	69.80 ^a	2.69 ^a
USW 100	19.18 ^a	15.66 ^a	69.73 ^a	2.75 ^a
WUSBW 100	18.98 ^a	15.29 ^c	69.27 ^a	2.63 ^a
USBW 100	19.13 ^a	15.43 ^{bc}	69.23 ^a	2.63 ^a
WUSW 70	19.06 ^a	15.60 ^{ab}	68.93 ^b	2.41 ^b
USW 70	19.27 ^a	15.38 ^{bc}	68.10 ^b	2.49 ^b
WUSBW 70	19.03 ^a	15.43 ^{abc}	68.42 ^b	2.42 ^b
USBW 70	19.20 ^a	15.29 ^c	68.52 ^b	2.41 ^b
EPM	0.27	0.07	0.34	0.04
Sig.	n.s.	***	*	*

Nota: Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey;

EPM: Erro padrão da média;

Sig.: significância: *** ($p < 0.001$); * ($p < 0.05$); n.s. ($p > 0.05$)

Em relação ao teor de proteína, não houve diferença ($p > 0.05$) nos valores em nenhuma das amostras, indicando a AEB e as diferentes concentrações de NaCl e posterior aplicação de US não apresentaram influência sobre este atributo no presente estudo. Em estudo realizado por Barretto et al. (2018), no qual foi aplicado US (sistema de sonda, 20 kHz, com amostras imersas em banho de gelo) em presunto cozido com teor reduzido de NaCl, também não foram encontradas diferenças entre o teor de proteína de amostras com e sem US, obtendo teor de 17.75% de proteínas mesmo com 50% de redução de NaCl. Stanley, Bower e

Sullivan (2017) e Yotsuyanagi et al. (2016) também não encontraram diferenças no teor de proteínas em salsicha suína e *frankfurters* com teor reduzido de NaCl, respectivamente.

Foram observadas diferenças ($p < 0.001$) nos tratamentos WUS e USBEW 100, USW e USBEW 70 para o teor de lipídios, os quais apresentaram um decréscimo nos valores. Entretanto, acredita-se que não haja influência do US, da BEW e do NaCl nos resultados, considerando a quantidade de gordura adicionada na formulação (10%) e o fato de que o teor de lipídios da matéria-prima, ainda mais quando moída e submetida ao cozimento, pode variar (Perham et al., 2019; Wolf et al., 2019), o que pode ter ocasionado os valores apresentados.

Em relação ao teor de umidade, foram observadas diferenças ($p < 0.05$) entre os tratamentos com 100 e 70% de NaCl. Sobre isso, acredita-se que a influência está relacionada à concentração de NaCl, uma vez que ele é capaz de promover mudanças na solubilidade e no ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, aumentando a força iônica e influenciando positivamente a capacidade de retenção de água (CRA) de produtos cárneos, o que consequentemente reflete na umidade do produto (Inguglia et al., 2017).

Observou-se redução ($p < 0.05$) no conteúdo de cinzas nos tratamentos com 70% em relação aos tratamentos com 100% de NaCl, entretanto não diferiram ($p > 0.05$) considerando a mesma concentração de NaCl, o que indica que a diferença no resultado pode estar diretamente relacionada à redução do NaCl em si. Em estudo apresentado por Barretto et al. (2018) também foram detectadas diferenças no teor de minerais de acordo com a quantidade de NaCl adicionada no produto, independente da ação do US.

5.3.2 pH, POR e atividade de água nas mortadelas contendo AEB e com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US

Em relação ao pH, ao compararmos os tratamentos nos dias analisados (fig. 1), observou-se que as mortadelas com água não apresentaram diferenças ($p > 0.05$) independente do tempo de aplicação de US, nas diferentes concentrações de NaCl, nos dias 30, 60 e 90. Somente no 1º dia, observou-se diferença ($p < 0.001$) no tratamento USW100, o qual apresentou diminuição de 0.03 unidades em relação ao controle (WUSW 100). Sobre isso, a influência do US sobre o pH é variável de acordo com as condições de tratamento (Carrillo-Lopez et al., 2019). Alarcón-Rojo et al. (2015) e Gambuteanu, Filimon e Alexe (2013) sugerem que o US pode auxiliar a modificar propriedades importantes nos produtos cárneos, sem necessariamente modificar seu pH de forma expressiva e/ou significativa. Outros estudos também não reportaram diferenças significativas no pH na carne e em produtos cárneos com e sem aplicação de US (Zhang et al., 2018; Cichoski et al., 2015; Stadnik et al., 2008).

As mortadelas elaboradas com AEB apresentaram aumento significativo no pH ($p < 0.001$) em relação às mortadelas elaboradas com água já a partir do dia 1 (com exceção de WUSW100), indicando aumento de até 0.12 unidades no dia 90. Entretanto, não foi observada diferença significativa ($p > 0.05$) em relação às mortadelas somente com AEB e AEB + US em suas respectivas concentrações de NaCl. Виннікова, e Пронькіна (2015) avaliaram a influência de diferentes proporções de AEB e AEA sobre a carne *in natura* (bovina e suína) picada e posteriormente no produto cárneo emulsionado (salsicha), foi observado aumento de até 0.8 unidades e 0.6 unidades utilizando água 100% básica para carne *in natura* e salsicha, respectivamente, sendo uma diferença mais expressiva em relação à encontrada no presente estudo. Entretanto, é importante ressaltar que no estudo de Виннікова e Пронькіна (2015) foram utilizados 20% de AE em diferentes proporções básicas e ácidas sobre o peso da carne, enquanto o presente estudo utilizou um pouco mais da metade deste valor, entre 10-10.75%. Este aumento expressivo no pH do estudo citado foi relacionado à alcalinidade promovida pela AEB devido principalmente à presença de NaOH.

Com base nisso, pode-se dizer que a AEB, quando em contato com a matéria orgânica, pode promover mudanças no pH. Entretanto, não há estudos que avaliem a influência desta durante o armazenamento. Alguns estudos indicam que, quando em contato com a matéria orgânica, a AEA e AEFA perderam o cloro livre após um curto tempo de contato (Zhao et al., 2014, Fabrizio et al., 2002). Waters e Hung (2012) e Parks et al (2009) comentam que o cloro presente na AE se liga à matéria orgânica (aminoácidos e lipídios) e formam cloro combinado, perdendo assim sua forma livre. Entretanto, é importante ressaltar que em nenhum destes estudos a AE (seja ácida ou fracamente ácida) foram adicionados como um ingrediente na formulação, e sim na forma de imersão ou em *spray*, e que principalmente a AEB tem baixa concentração de cloro presente.

Assim, no presente estudo, acredita-se que a AEB pode ter influenciado o pH no dia 1 e desencadeado reações, entretanto, o aumento no pH durante o armazenamento pode não estar necessariamente relacionado à AEB, uma vez que não se sabe até que ponto do armazenamento ela manteve sua ação. Decorrente que a ação de micro-organismos também pode contribuir para o aumento do pH, especialmente os mesófilos e psicrotróficos, que estão presentes em produto cárneo refrigerado (Xu et al., 2014; Jay, 2005).

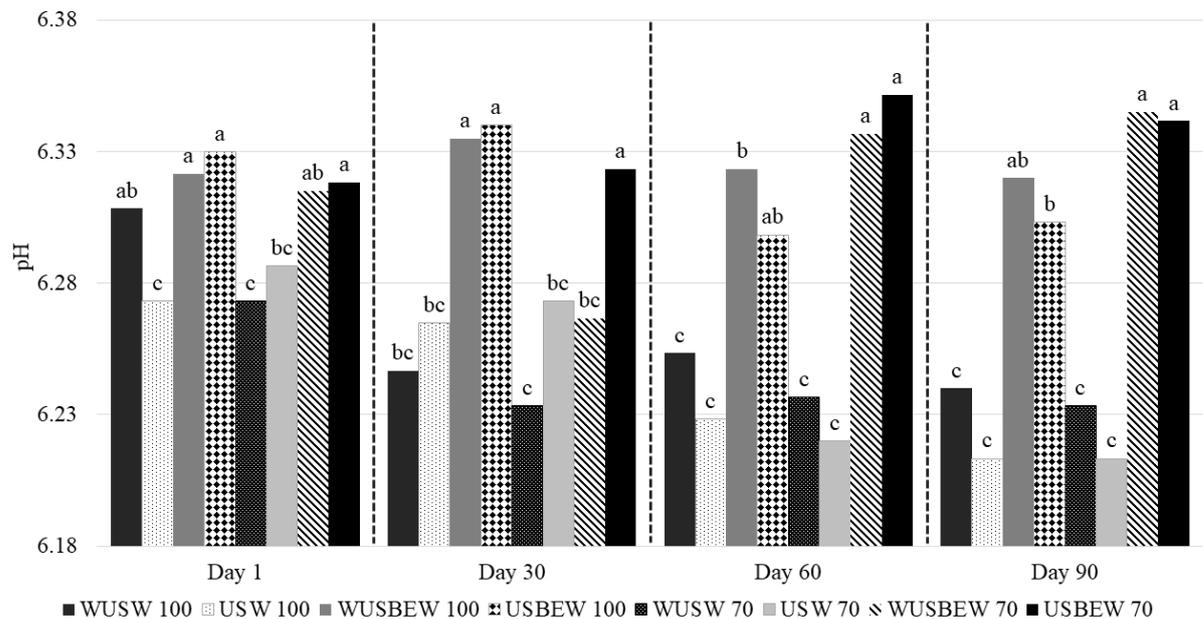


Fig. 1 – Valores de pH das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa ao nível de 0.01% de significância pelo teste de Tukey ($p < 0.001$), com erro padrão da média de 0.01 em todos os pontos analisados.

Sobre o potencial de oxirredução (POR) das mortadelas que foram aplicadas US (fig. 2), não diferiram ($p > 0.05$) das amostras elaboradas com água e sem US em uma mesma concentração de NaCl, com exceção do dia 60, no qual USW 70 apresentou um aumento em relação ao WUSW70. Porém, ao compararmos as mortadelas somente com água e com BEW na formulação, sem aplicação de US, observou-se diferença ($p < 0.001$) em relação aos valores, tendo ficado mais acentuada a partir do dia 60. É importante ressaltar que o POR se constitui como importante característica na obtenção e correlação de fatores como desenvolvimento microbiano e oxidação (Cichoski et al., 2019; Misir, & Koral, 2019; Heck et al., 2018). Logo, observa-se que no presente estudo, no período inicial (dia 1) a AEB pode ter influenciado no pH (aumentando-o) e conseqüentemente em seu POR (diminuindo-o) em relação às mortadelas contendo água na formulação. Entretanto, não se sabe se sua progressiva redução estaria relacionada à ação da AEB ou ao desenvolvimento microbiano, podendo este ter sido desencadeado devido ao aumento no pH inicial proporcionado por ela.

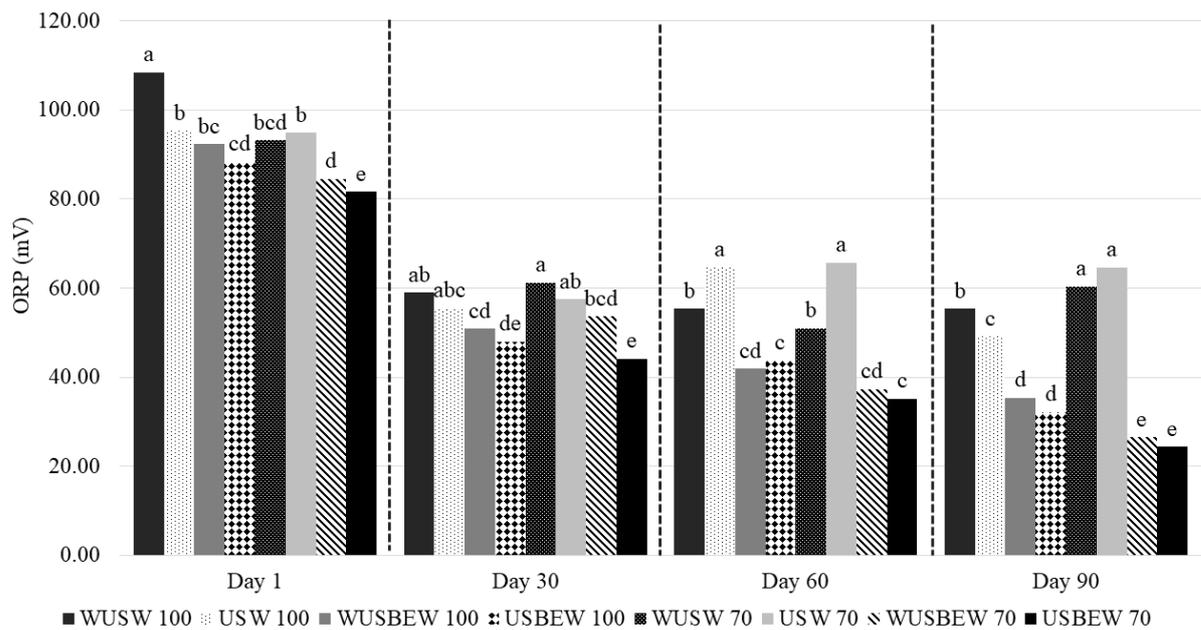


Fig. 2 – Valores de POR (mV) das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa ao nível de 0.01% de significância pelo teste de Tukey ($p < 0.001$). Erro padrão da média: 1.74 (dia 1); 1.80 (dia 30); 2.11 (dia 60); 1.44 (dia 90).

Sobre a ação da AEB, Аронбаев et al. (2013) e Bal'-Prilipko e Leonova (2016) comentam que o POR é o fator mais importante a ser considerado, pois ele está diretamente relacionado à capacidade antioxidante e antimicrobiana, e explicam que um líquido quando eletricamente ativado entra em um estado metaestável e é capaz de alterar as propriedades de outros líquidos e sólidos. Ao avaliarem a capacidade de relaxamento da água ácida (pH 3,01 e POR +1045 mV) e básica (pH 10.36 e POR -815) em diferentes concentrações catódicas e anódicas, eles observaram que, apesar da AEB 100% catódica possuir maior atividade antioxidante (potencializada em faixas de mV entre -200 e -800), ela perde suas propriedades muito mais rapidamente (retornando ao estado natural de água pura) em relação à AEA, sendo bem menos estável, e isso inclui a perda de potencial de oxirredução e modificações no pH.

Sabe-se que, no geral, quando o mV é mais próximo da negatividade, indica grande potencial redutor devido a uma maior presença de íons de H⁺, o que indica ação antioxidante. Quanto mais positivo for o mV, menor será o potencial redutor, e maior será a propensão à oxidação devido à redução ou ausência de íons de H⁺. Os íons de hidrogênio, quando em

atividade redutora, reagem com radicais livres visando torná-los mais estáveis (Misir, & Koral, 2019).

Em relação à atividade de água (a_w) (fig. 3), observou-se que os menores valores ($p < 0.001$) foram encontrados nas mortadelas com maior concentração de NaCl, com exceção do dia 1, no qual as mortadelas com BEW (independente da aplicação ou não do US) apresentaram maiores valores, não diferindo ($p > 0.05$) das mortadelas com 70% de NaCl. De uma forma geral, não foi possível mensurar a ação do US frente à a_w . Em trabalho realizado por Pinton et al (2019), no qual foi avaliada a ação do US em diferentes tempos (9 e 18 min.) sobre a qualidade de emulsões com teor de fosfato reduzido, não foram encontradas diferenças ($p < 0.05$) nos valores de a_w , independente do tempo de US e teor de fosfato. Considerando a adição de fosfato em todas as mortadelas elaboradas, o qual atua sinergicamente com o NaCl na extração e solubilização das proteínas miofibrilares, que são responsáveis pela retenção de água, e também a alcalinidade contida inicialmente AEB, no dia 1 pode ter havido uma potencialização na retenção de água, levando-se em consideração esses fatores (Rigdon, Hung, & Stelzleni, 2017). Porém, fatores como exposição ao ar, luz, agitação e contato com a matéria orgânica pode fazer com que a AEB perca suas propriedades muito rapidamente (Cao, Wang, & Zhang, 2012). Por isso, acredita-se que a partir do dia 30 de armazenamento os resultados tenham sido influenciados pela redução do NaCl, uma vez que um menor teor pode implicar em maiores valores de a_w devido à redução do número de interações entre a água e os íons Cl^- , modificando a mobilidade das moléculas de água e aumentando sua disponibilidade para reações (Aykın-Dinçer, & Erbaş, 2018; Ros-Polski et al., 2015).

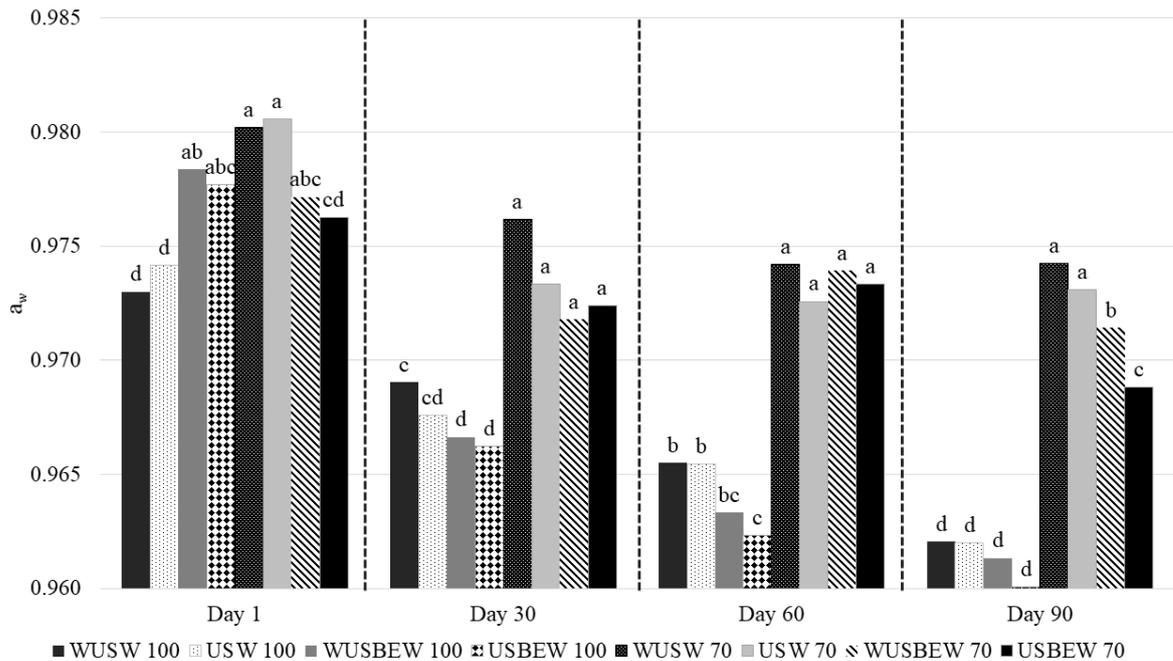


Fig. 3 – Valores de atividade de água das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa ao nível de 0.01% de significância pelo teste de Tukey ($p < 0.001$), com erro padrão da média de 0.001 em todos os pontos analisados.

5.3.3 Análises microbiológicas

A fig. 4 apresenta o desenvolvimento dos micro-organismos mesófilos. De uma forma geral as mortadelas elaboradas com água e US apresentaram os menores logs, especialmente em relação às amostras com AEB (WUS e US). A partir do dia 30, não foram observadas diferenças ($p > 0.05$) entre USW 100 e 70, evidenciando que, embora não tenha diferido do controle (WUSW 100), o US apresentou bom efeito de redução deste tipo de micro-organismo mesmo com a redução do NaCl para 70%, sendo que as mortadelas com US e água foram as únicas que apresentaram log inferior a 2.00 UFC no dia 1. As mortadelas com AEB e 70% de NaCl apresentaram maior valor de log das mesófilas ($p < 0.001$) em relação às demais mortadelas já no dia 1, tendo reduzido ($p < 0.001$) com a ação do US + AEB apenas neste dia. A partir do dia 30, os maiores logs foram observados nas mortadelas com AEB, independente da concentração de NaCl e/ou ação conjunta do US.

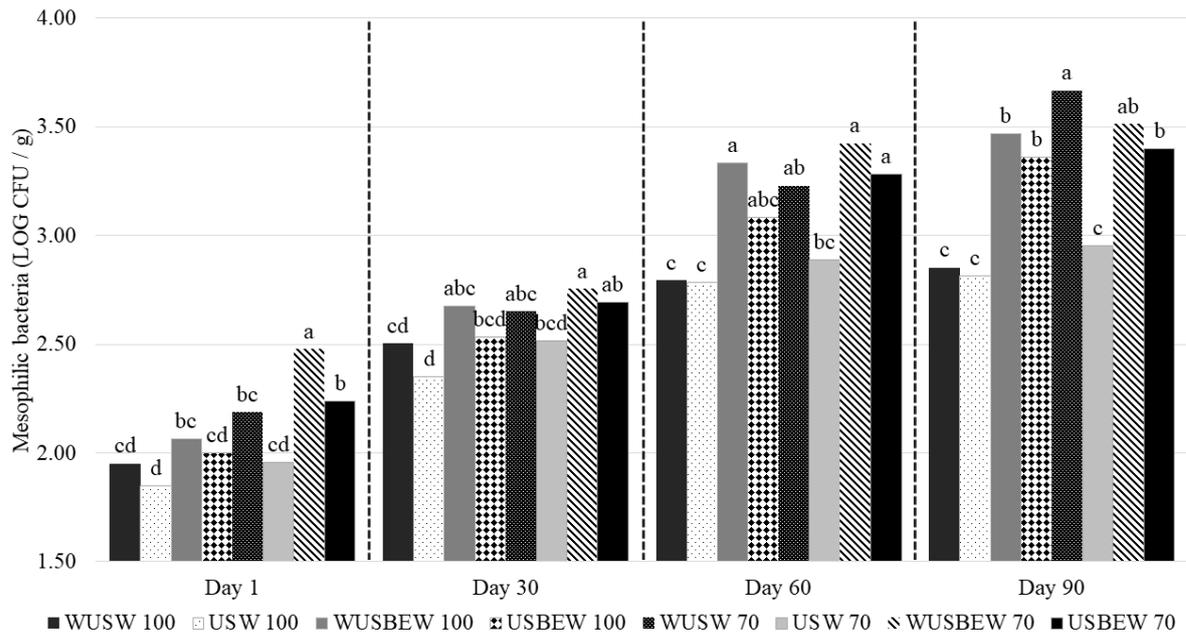


Fig. 4 – Número de colônias de mesófilos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa ao nível de 0.01% de significância pelo teste de Tukey ($p < 0.001$). Erro padrão da média: 0.21 (dia 1); 0.05 (dia 30); 0.11 (dia 60); 0.05 (dia 90).

Piñon et al. (2018) comentam que o US pode aumentar número de colônias de mesófilos por aumentar a disponibilidade de nutrientes, como proteína e gordura. Entretanto, não foi o que ocorreu no presente estudo, podendo estar relacionado às condições de tratamento utilizadas uma vez que em baixas frequências (20-40 kHz) o US pode resultar na formação de fragmentos celulares, destruindo a integralidade da membrana. Dolatowski & Stasiak (2002) descobriram que os micro-organismos mesófilos (sobretudo as bactérias) podem ser controlados pela ação do US em uma faixa de frequência de 25 kHz, intensidade de 2 W cm² durante 2 min. Caraveo et al. (2014) observaram redução na contagem de mesófilos em amostras de carne bovina tratada em banho ultrassônico (40 kHz e intensidade de 11 W cm⁻²) em diferentes tempos (0, 60 e 90 min) e armazenadas a 4°C em relação às amostras controle. Cichoski et al. (2015) evidenciaram influência do US na pasteurização de salsichas a partir do dia 40 de armazenamento, reduzindo a contagem de mesófilos em relação ao controle. Analisando os resultados de uma forma geral, nenhuma das mortadelas ultrapassou valores de log 4.00 UFC ao longo dos 90 dias de armazenamento. Em trabalho realizado por Yotsuyanagi et al. (2016), no qual avaliou-se o impacto da redução do NaCl sobre características microbiológicas de salsichas *frankfuters* (adicionando 64.37, 81.97 e

100% de NaCl), em relação aos mesófilos observaram valores de log de 1.22 no dia 1 e logs de 5.92 no dia 56, não tendo diferido ($p > 0.05$) a contagem entre as diferentes concentrações de NaCl utilizadas.

As contagens de bactérias psicrotróficas podem ser visualizadas na fig. 5. Não foram observadas diferenças ($p > 0.05$) entre os tratamentos nos dias 1 e 60. Entretanto, no dia 30 o tratamento USW 100 apresentou diferença ($p < 0.05$) em relação à WUSBW 100, WUSW70, WUSBW70 e USBW 70. Nos 90 dias de armazenamento, pode-se observar de maneira significativa ($p < 0.001$) o efeito do US frente as bactérias psicrotróficas, nos tratamentos USW100 e USW70.

Apesar do US não ter apresentado ação frente às bactérias psicrotróficas durante os 60 dias de armazenamento, também não foi observado um aumento propiciado pela ação do US, o que de certa forma pode ser considerado um aspecto positivo. Sobre isso, Dolatowski e Stasiak (2002) relataram que as amostras de carne armazenadas sob refrigeração não mostraram uma redução significativa nas bactérias psicrotróficas, mesmo quando foram tratadas com US a 25 kHz a 2 W cm² durante 10 min. Sabe-se que a mortadela, por ser um produto armazenado sob refrigeração (4 a 8 °C), esta propicia o desenvolvimento aos psicrotróficos. Ainda, alguns estudos apontam que o US pode atuar extraindo nutrientes propícios ao desenvolvimento de bactérias psicrotróficas, sobretudo as *Pseudomonas* (Alves et al., 2018; Piñon et al., 2018; Cluff et al., 2017).

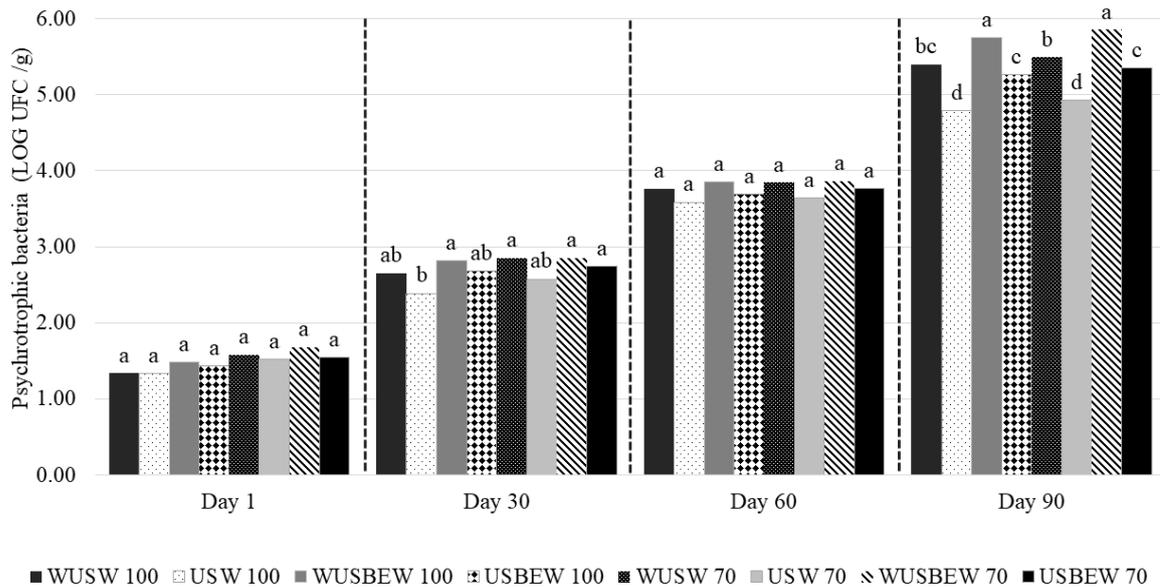


Fig. 5 – Número de colônias de bactérias psicrotróficas nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, sendo que: dia 30 ($p < 0.05$); dia 90 ($p < 0.001$). Erro padrão da média: 0.11 (dia 1); 0.09 (dia 30); 0.09 (dia 60); 0.05 (dia 90).

A tabela 2 mostra o número de colônias bactérias lácticas, lipolíticas e enterobactérias ao longo dos 90 dias de armazenamento. Em relação às bactérias lácticas, foi evidenciado crescimento apenas a partir do dia 30 em todos os tratamentos. Considerando a concentração de NaCl em si, não foi observada diferença ($p > 0.05$) entre os valores com USW e WUSBEW/USBEW com 100% NaCl, muito embora os tratamentos com AEB tenham diferido do tratamento controle (WUSW 100), sendo que os menores logs foram observados ($p < 0.001$) nas amostras com USW100, WUSBEW100 e USBEW100 especialmente nos 60 e 90 dias de armazenamento, que diferiram ($p < 0.001$) do controle (WUSW100). Em relação à ação do US, observou-se que este apresentou menores valores de bactérias quando em conjunto com a AEB. Piñon et al. (2018) também não encontraram diferenças nas contagens de bactérias lácticas de peitos de frango submetidos ao US em diferentes condições de sonicação (24 kHz e 27.6 W, 40 Khz e 10.3 W e 850 kHz e 24.1 W) e embalagens (em condições aeróbicas e anaeróbicas) em relação à amostra controle (WUS). Acerca disso, Cameron, McMaster e Britz (2008) constataram que em alguns casos, as contagens de bactérias lácticas não são influenciadas quando a carne é tratada com US (20 kHz, 750 W). Piñon et al. (2018) sugerem que algumas bactérias lácticas são resistentes a vários métodos e

parâmetros de US de alta intensidade, especialmente devido a dois fatores: a) por serem gram-positivas, possivelmente porque as células possuem uma parede celular espessa e mais robusta devido à reticulação de peptidoglicano (principal componente de estresse da parede celular bacteriana) e ácido teicóico; b) por serem esféricas (coccos), uma vez que alguns estudos indicam que a menor superfície de bactérias do tipo coccos reduzem a ação do US em relação aos bacilos (Ohja et al., 2016; Joyce; Al-Hashimi; & Mason, 2011).

Ainda, faz-se necessário ressaltar os resultados de USBEW 70 para as bactérias lácticas, os quais foram menores ($p < 0.001$) em relação aos demais tratamentos com 70% de NaCl, porém não diferiram dos tratamentos com 100% de NaCl acima citados, com exceção do dia 30. Assim, observa-se que, neste quesito, a AEB pode ter desempenhado influência no desenvolvimento das bactérias lácticas devido ao aumento inicial do pH (fig. 1), que pode ter afetado a taxa de crescimento dessas bactérias lácticas. Entretanto, esse valor de pH pode ter facilitado o crescimento de outros grupos de bactérias, como as mesófilas e psicrotróficas (as quais podem ter sido responsáveis também pelo aumento do pH nas amostras com BEW a partir do dia 30) (Marino et al., 2019; Shange et al., 2018; Xu et al., 2014).

As bactérias lipolíticas desenvolveram-se apenas a partir do 30º dia de armazenamento, sendo observadas diferenças ($p < 0.001$) nos 30 e 60 dias nas amostras WUS e USBEW com 70% NaCl em relação aos demais tratamentos, as quais apresentaram os maiores valores. Observou-se, ainda, que no 30º e 60º dia as mortadelas elaboradas com água e US diferiram ($p < 0.001$) das demais, independente da concentração de NaCl (tab. 2). USW70 não diferiu ($p > 0.05$) do tratamento considerado padrão (WUSW100) no 30º e 60º dia, o que pode ser considerado um aspecto positivo, pois indica que o US conseguiu manter o número de colônias similar ao do padrão mesmo com redução no teor de sal. O mesmo houve com USBEW 100, porém acredita-se que este resultado estaria atribuído à ação do US e a concentração de NaCl visto que as amostras com 70% NaCl e AEB, bem como WUSBEW 100 apresentaram os maiores valores. Aos 90 dias, somente o tratamento USW100 (4.73 UFC/g) diferiu ($p < 0.05$) de SUSBEW 70 (4.86 UFC/g).

As bactérias lipolíticas estão diretamente relacionadas à formação de compostos de oxidação lipídica, devido à ação da enzima lipase presente em alguns dos micro-organismos pertencentes a este grupo, tais como *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium sporogens*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Penicillium comune*, passíveis de crescimento no meio Tributyrin Agar. A maioria das lipases bacterianas são enzimas extracelulares e suas atividades são influenciadas por nutrientes como carbono, fontes de nitrogênio e minerais (Sigma-Aldrich, 2013; Cho et al., 2010). As lipases são hidrolases de ésteres de glicerol, que

hidrolisam as ligações ésteres de glicerídios na interface água-óleo. Uma característica importante das lipases é a sua capacidade não só de hidrolisar as ligações ésteres, de transesterificar triglicerídios e de resolver a mistura racêmica, como também de sintetizar ligações éster em meios não aquosos; Assim, as lipases podem acilar álcoois, açúcares, tióis e aminas, sintetizando uma variedade de ésteres estéreo-específicos, ésteres de açúcar, tioésteres e amidas (Sooch, & Kauldhar, 2013). Dentre os microrganismos citados acima, dois deles são propícios ao desenvolvimento em produtos cárneos: o *S. aureus* e a *P. aeruginosa*.

O *S. aureus* se constitui de um patógeno frequentemente encontrado em carne moída ou produtos como salsichas, sendo resistente ao NaCl e nitrito, cuja lipase melhora a aderência e colonização deste tipo de bactéria pela degradação de lipídios em superfície, e os ácidos graxos livres liberados funcionam como nutrientes para a persistência das bactérias colonizadas (Cho et al., 2010). Ainda, há a possibilidade de ação proteolítica oriunda desse micro-organismo. Ao avaliarem a formação de biofilme, ação proteolítica e lipolítica e perfil de resistência a antibióticos de *Staphylococci* isolados de vários alimentos, Gundogan, Ataol e Torlak (2013) observaram que o *S. aureus* isolado de carne e produtos cárneos tiveram maior atividade proteolítica que lipolítica. Sobre isso, é importante ressaltar que proteases bacterianas induzem degradação proteolítica, gerando peptídeos, aminoácidos e aminas (Adab, & Hassouna, 2015). Entretanto, em estudo realizado por Gundogan e Devren (2010), foi observado que a atividade proteolítica e lipolítica do *S. Aureus* não ocorreu em produtos cárneos na temperatura de 4°C, e sim a 20°C. Porém, considerando que por se tratar de um microrganismo mesófilo, cuja temperatura para o desenvolvimento varia entre 7 e 48°C (Feitosa et al., 2017), pode ter ocorrido alguma ação deste micro-organismo se presente no produto.

Além disso, é importante ressaltar que muitas das bactérias com atividade lipolítica são psicrotróficas, sendo este um grupo cujas condições de armazenamento da mortadela (ente 4 e 8°C) torna propício seu desenvolvimento. Dentre as principais que se encontram nesse grupo e podem se desenvolver em produtos cárneos, está a *P. aeruginosa*, a qual age na deterioração de produtos refrigerados como leite, produtos lácteos, carnes e produtos cárneos. Esse tipo de bactéria catalisa a hidrólise de gorduras em ácidos graxos e glicerol, devido à alta atividade de lipases (Luz et al., 2014; Amro, & Salem, 2009). Ainda, Sooch e Kauldhar (2009) e Rashid et al. (2001) observaram que esta enzima, quando produzida por *Pseudomonas*, tem sua máxima atividade em pH na faixa de 6.5. Quando comparamos com o pH das amostras com AEB (que oscilaram entre 6.27 e 6.37) no presente estudo, observa-se que estavam em um valor próximo a esta faixa.

Estes resultados, de uma forma geral, indicam que o US é capaz de atuar no controle do desenvolvimento destas classes de bactérias por promover afinamento da membrana citoplasmática, aquecimento localizado e produção de radicais livres nocivos. Entretanto, sua ação dependerá de vários fatores, tais como tempo de exposição, temperatura e condições de tratamento (frequência e intensidade) (Alarcón-Rojo et al., 2018; Alves et al., 2013).

Em relação à ação da AEB no desenvolvimento microbiano, Hao et al. (2012) ressalta que, uma vez que o valor de pH na faixa de 4 a 9 é considerado ideal para o desenvolvimento microbiano, o pH da AE é determinante para a ação frente aos organismos. Foi observado anteriormente que a AEB desempenhou influência no pH, ao menos no dia 1 de armazenamento (fig. 1). Ainda, a AEB, devido a sua alcalinidade promovida pela presença de NaOH, poderia estar agindo na modificação/redução dos glóbulos de gordura e solubilização das proteínas da emulsão (implicando em maior desdobramento de sua estrutura) e assim, tornando o meio mais propício ao desenvolvimento microbiano, o que pode explicar o aumento na contagem de mesófilos e psicrotróficos do dia 1 e posteriormente no crescimento de lipolíticas, tendo assim influenciado na contagem ao longo do armazenamento, o que pode explicar o aumento do pH apresentado na figura 1 a partir dos 30 dias (Hati et al., 2012; Ayebah, & Hung, 2005).

Já em relação às enterobactérias, foi observado crescimento apenas a partir do dia 90, o qual não apresentou diferença ($p > 0.05$) entre os tratamentos. Este se caracteriza como um resultado positivo, uma vez que o tempo estimado de vida útil da mortadela refrigerada é de 60 dias (Orsolin et al., 2015). Não houve desenvolvimento de fungos ao longo dos 90 dias de armazenamento, entretanto, foi possível evidenciar através desta análise que, dentre os microorganismos com atividade lipolítica, não houve ação de *P. commune*.

Tabela 2 – Número de colônias de bactérias lácticas, lipolíticas e enterobactérias (log UFC/g) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

	Treatment	Days				SEM	Sig
		1	30	60	90		
Lactic bacteria (log CFU/g)	WUSW 100	< 10 ⁻¹	1.75 ^{cCD}	2.58 ^{bBC}	2.84 ^{aAB}	0.04	***
	USW 100	< 10 ⁻¹	1.58 ^{cDE}	2.44 ^{bE}	2.72 ^{aCD}	0.05	***
	WUSBEW 100	< 10 ⁻¹	1.56 ^{bDE}	2.52 ^{aCD}	2.66 ^{aDE}	0.54	***
	USBEW 100	< 10 ⁻¹	1.49 ^{bE}	2.39 ^{aE}	2.48 ^{aF}	0.45	***
	WUSW 70	< 10 ⁻¹	2.11 ^{cA}	2.71 ^{bA}	2.92 ^{aA}	0.13	***
	USW 70	< 10 ⁻¹	2.07 ^{cAB}	2.63 ^{bB}	2.80 ^{aB}	0.14	***
	WUSBEW 70	< 10 ⁻¹	2.09 ^{cAB}	2.58 ^{bBC}	2.77 ^{aBC}	0.11	***
	USBEW 70	< 10 ⁻¹	1.85 ^{cBC}	2.45 ^{bE}	2.63 ^{aE}	0.04	***
	SEM	-	0.07	0.02	0.02		
	Sig.	-	***	***	***		
Lipolytic bacteria (log CFU/g)	WUSW 100	< 10 ⁻¹	2.14 ^{cD}	3.13 ^{bDE}	4.74 ^{aAB}	0.05	***
	USW 100	< 10 ⁻¹	1.88 ^{cE}	2.99 ^{bE}	4.73 ^{aB}	0.03	***
	WUSBEW 100	< 10 ⁻¹	2.46 ^{cBC}	3.24 ^{bCD}	4.76 ^{aAB}	0.06	***
	USBEW 100	< 10 ⁻¹	2.32 ^{cD}	3.06 ^{bE}	4.75 ^{aAB}	0.06	***
	WUSW 70	< 10 ⁻¹	2.56 ^{cB}	3.33 ^{bBC}	4.84 ^{aAB}	0.11	***
	USW 70	< 10 ⁻¹	2.14 ^{cD}	3.05 ^{bE}	4.74 ^{aAB}	0.04	***
	WUSBEW 70	< 10 ⁻¹	2.94 ^{cA}	3.53 ^{bA}	4.86 ^{aA}	0.08	***
	USBEW 70	< 10 ⁻¹	2.92 ^{cA}	3.47 ^{bAB}	4.76 ^{aAB}	0.02	***
	SEM	-	0.07	0.04	0.03		
	Sig.	-	***	***	*		
<i>Enterobacteraceae</i> (log CFU/g)	WUSW 100	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.46 ^{AB}	-	-
	USW 100	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.23 ^B	-	-
	WUSBEW 100	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.42 ^{AB}	-	-
	USBEW 100	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.31 ^{AB}	-	-
	WUSW 70	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.68 ^{AB}	-	-
	USW 70	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.55 ^{AB}	-	-
	WUSBEW 70	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.58 ^{AB}	-	-
	USBEW 70	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	< 10 ⁻¹	1.57 ^{AB}	-	-
	SEM	-	-	-	0.11		
	Sig.	-	-	-	**		

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

SEM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0.001); ** (P< 0.01); * (P< 0.05); n.s. (P> 0.05)

5.3.3 Ação do US e da AEB frente a oxidação lipídica

De uma forma geral, sabe-se que a formação de peróxidos (fig. 6) está diretamente relacionada com a fase de iniciação da oxidação, e, ainda, é possível relacioná-la com a

formação de dienos (deslocamento das duplas ligações) e trienos conjugados (formação de compostos secundários da oxidação) (Guyon, Meynier, & Lamballerie, 2016; Medina-Meza; Barnaba, & Cánovas, 2013; Jorge, 2009). Entretanto, é importante ressaltar que as variações no nível de peróxidos ao longo do armazenamento ocorre de maneira gaussiana, ou seja, nem sempre um nível baixo de peróxidos considerado baixo em determinado produto constitui uma garantia de boa estabilidade oxidativa, podendo, pelo contrário, ser sinônimo de alteração pronunciada. Para haver melhor identificação do estágio de oxidação, se faz necessário quantificar os dienos e os trienos conjugados, sendo que quanto maior for o valor detectado a uma absorvância de 232 nm, mais relacionado estará à formação de hidroperóxidos pela quebra inicial das duplas ligações. Ou seja, a formação de dienos está mais relacionada ao estágio inicial da oxidação, enquanto os trienos, quanto maior o valor detectado à absorvância de 272, indica maior formação de compostos secundários (Papuc et al., 2017; Guyon, Meynier, & Lambarellie, 2016).

Em relação aos resultados obtidos no presente estudo, referente ao índice de peróxidos (fig. 6), foram observados os menores valores nas amostras WUSW e USW 70, que diferiram ($p < 0.001$) dos demais tratamentos nos dias 1 e 30, sendo significativamente menor em relação ao padrão WUSW100. Nos dias 60 e 90, os menores valores ($p < 0.001$) de peróxidos foram observados no tratamento USW100. Ainda, no dia 30, as amostras WUSBW100 e USBW100 também apresentaram os menores valores de peróxidos, não diferindo ($p > 0.05$) de USW 70. Entretanto, quando comparamos estes resultados com dienos e trienos (fig. 7 a e b), observa-se que as amostras com AEB (independente da concentração de NaCl e aplicação de US) apresentaram maiores valores de trienos a partir do dia 30, indicando que o menor valor de peróxidos dos tratamentos WUSBW100 e USBW100 no dia 30 estaria relacionado ao fato de que a oxidação teve seu processo acelerado, considerando a formação de trienos conjugados. As bolhas de cavitação e o aquecimento localizado promovido pelo US são capazes de formar radicais livres como $\text{OH} \cdot$, $\text{HO}_2 \cdot$ e peróxido de hidrogênio, os quais têm efeitos biológicos significativos, dentre eles o aceleração de processos oxidativos. Entretanto, a ação do US (positiva ou negativa) frente a oxidação lipídica também depende de diversos fatores, tais como temperatura utilizada, frequência, intensidade e tempo (Filibeli, Erden, & Gunduz, 2018; Ohja et al., 2017; Jayasooryia et al., 2007). Em contrapartida, diversos estudos obtiveram resultados positivos em relação à utilização de US em matrizes cárneas, tendo sido possível melhorar características importantes sem afetar a estabilidade oxidativa.

Cichoski et al. (2019), em condições de tratamento com US semelhantes às do presente estudo, ao avaliarem a ação de diferentes modos e tempos de US sobre a qualidade tecnológica e oxidativa de emulsões cárneas, constataram que os diferentes modos não afetaram a estabilidade oxidativa das emulsões em relação ao controle (sem US), utilizando o TBARS como parâmetro. Pinton et al. (2019), ao avaliarem a ação do US em diferentes tempos em emulsões cárneas com diferentes concentrações de fosfato por intermédio do TBARS, observaram que o US não causou aumento na oxidação. Nas mortadelas tratadas com US, independente da concentração de NaCl, o US não apenas não acelerou a oxidação, como conseguiu reduzir esse processo ao longo do armazenamento. Isso fica mais evidente ao observarmos os valores de TBARS (fig. 8) obtidos, nos quais, novamente, as amostras com água e US, especialmente na concentração de 70% de NaCl se destacaram ($p < 0.001$) em relação às demais, especialmente nos dias 30, 60 e 90, apresentando os menores valores.

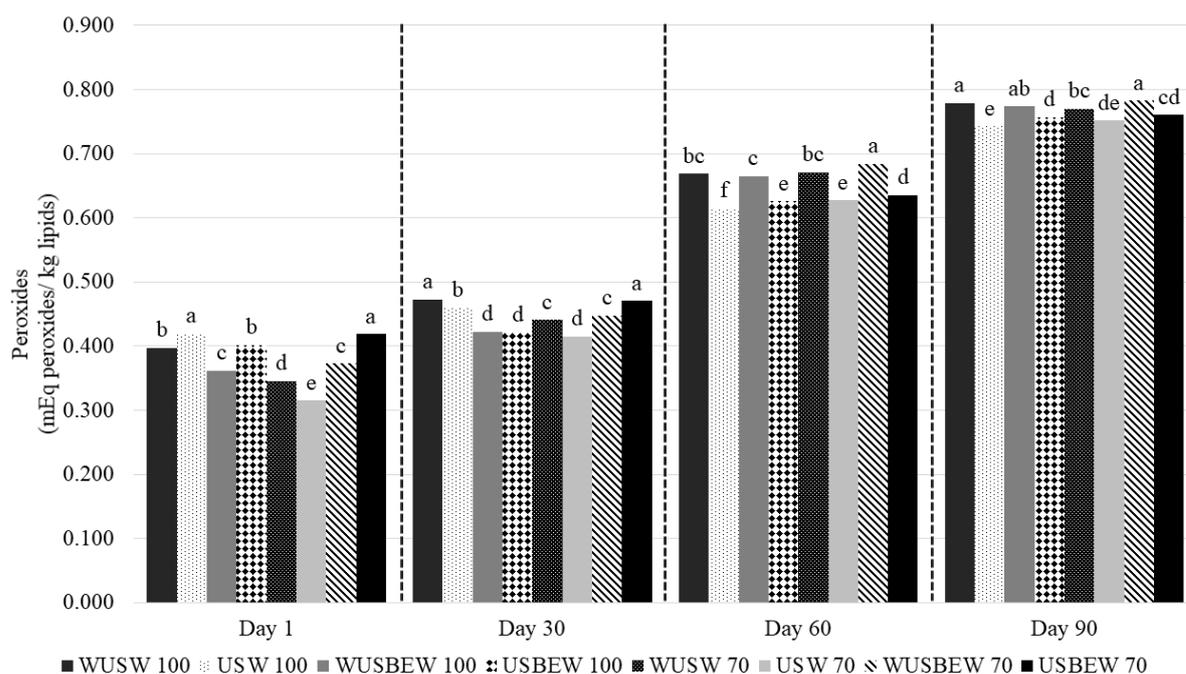


Fig. 6 – Índice de peróxidos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). Erro padrão da média: 0.004 (dia 1); 0.008 (dia 30); 0.002 (dia 60); 0.003 (dia 90).

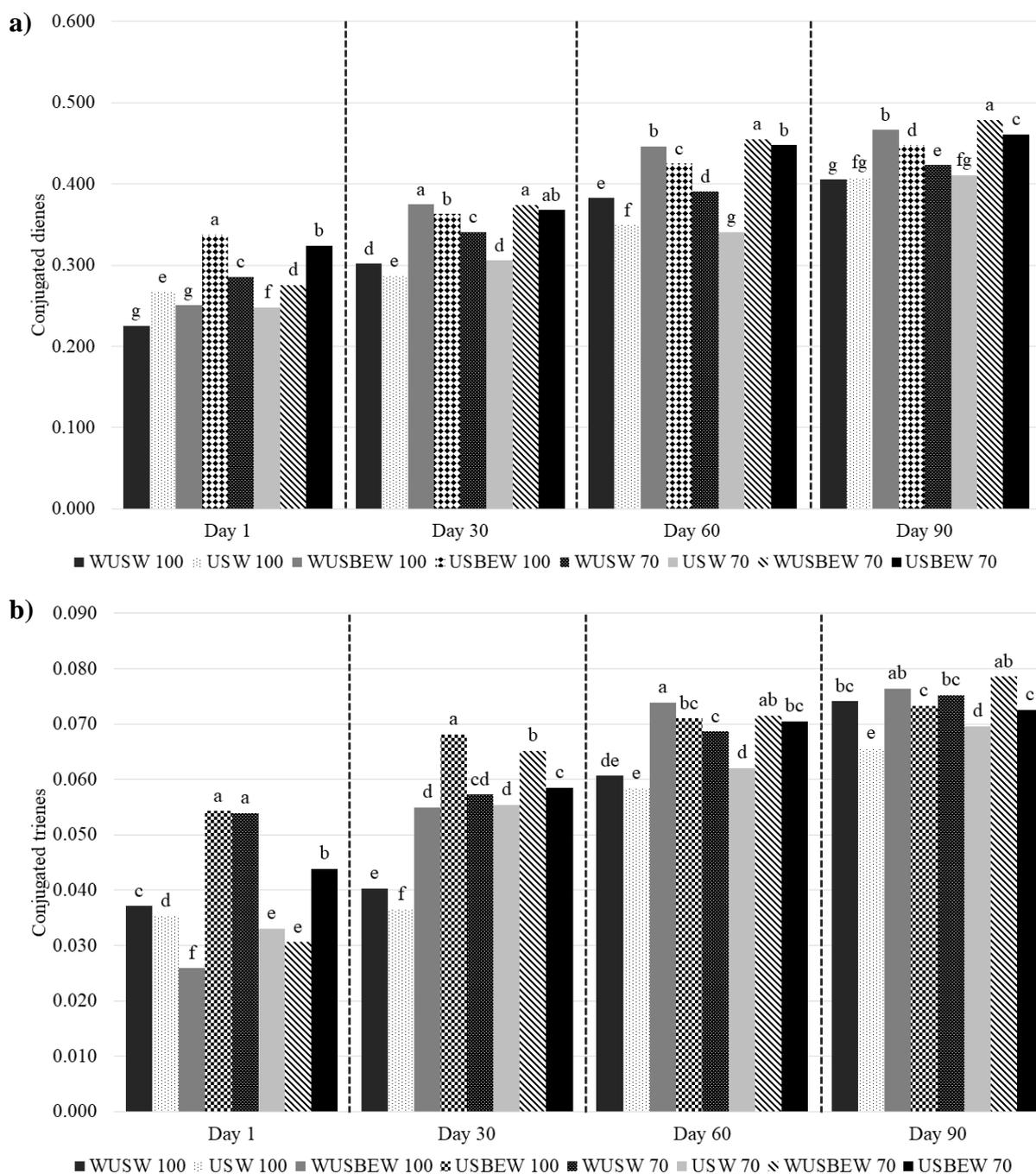


Fig. 7 – (a e b) Dienes e trienos conjugados nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). EPM: a) 0.001 (dias 1, 60 e 90); 0.002 (dia 30); b) 0.001 (dias 1, 30, 90 e 60)

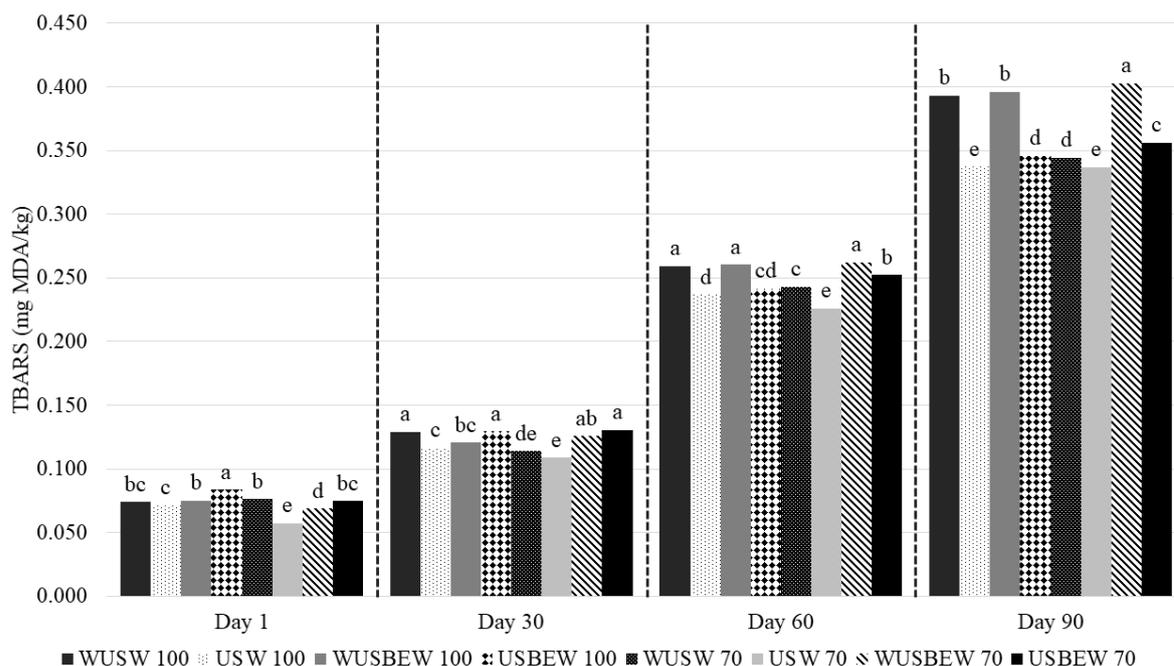


Fig. 8 – Avaliação do índice de TBARS nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias)

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). EPM: 0.001 (dias 1 e 30); 0.002 (dias 60 e 90).

Em relação ao aceleramento do processo oxidativo nas amostras com AEB na formulação, acredita-se que ela pode ter desencadeado algumas reações quando em contato com a matéria orgânica (emulsão), sobretudo em relação à solubilização de proteínas e redução dos glóbulos de gorduras. O que pode ter propiciado, inclusive, o desenvolvimento microbiano e conseqüentemente a presença de lipases (tab. 2) e proteases bacterianas. Ainda, o potencial redutor da AEB também desempenha um fator importante nesse processo oxidativo. Аронбаев et al. (2013) e Bal'-Prilipko e Leonova (2016) comentam que o parâmetro mais importante da AEB é o seu POR negativo, o qual está diretamente relacionado à sua atividade antioxidante. Assim, um líquido eletricamente ativado entra em um estado metaestável e é capaz de alterar as propriedades de outros líquidos e sólidos. Ao avaliarem a atividade antioxidante da AEB e da AEA em diferentes proporções catódicas e anódicas, foi possível observar que quanto mais negativo era o POR da água (de -200 a -800 mV), maior foi sua atividade antioxidante.

Quando da determinação do POR da AEB nas concentrações de 0.01 (concentração utilizada no presente estudo) e 0.02%, no primeiro e segundo dia de armazenamento (figura 10). Foi observada modificação expressiva no POR da AEB em ambas as concentrações: -

238.67 -92,33 (0.001%) e -406.33 a -171.67 (0.002%) no 1º e 2º dia de armazenamento, respectivamente. A AEB utilizada no presente estudo, apesar de armazenada em recipiente fechado e sob refrigeração (4 °C), o que ocasiona em uma menor movimentação das moléculas e assim reduzindo a velocidade de decomposição de seus compostos (Wang et al., 2019), ela foi elaborada sempre 1 dia antes da produção das mortadelas, o que pode ter contribuído para alteração nos valores do POR, associado ao fato de ser utilizada baixíssima concentração de NaCl em sua preparação.

A fig. 9 mostra os valores de hexanal obtidos na análise cromatográfica. Sabe-se que este composto é um aldeído e está diretamente relacionado ao estresse oxidativo, uma vez que se constitui um dos produtos secundários responsáveis pela formação de odor e sabor desagradáveis (Mariutti, Braganolo, 2017; Sohaib et al., 2017). Foi observada uma redução ($p < 0.001$) em USBEW 70, nos dias 1 e 30 em relação à WUSBW70. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças ($p > 0.05$) nos dias 1 e 30, havendo aumento apenas no tratamento WUSW100 (que não diferiu de WUSBW70) no dia 30 e USBEW100 no dia 60, o qual apresentou o segundo maior valor ($p < 0,001$), depois de WUSBW70 e USBEW70. Com base nisso, é possível observar que o US realmente desempenhou ação positiva sobre a oxidação lipídica, conseguindo inclusive reduzir os valores de hexanal ($p < 0.001$) em relação a WUSW100 no dia 30, independente da concentração de NaCl, evidenciando ainda mais os resultados obtidos na análise de TBARS realizada (fig. 8).

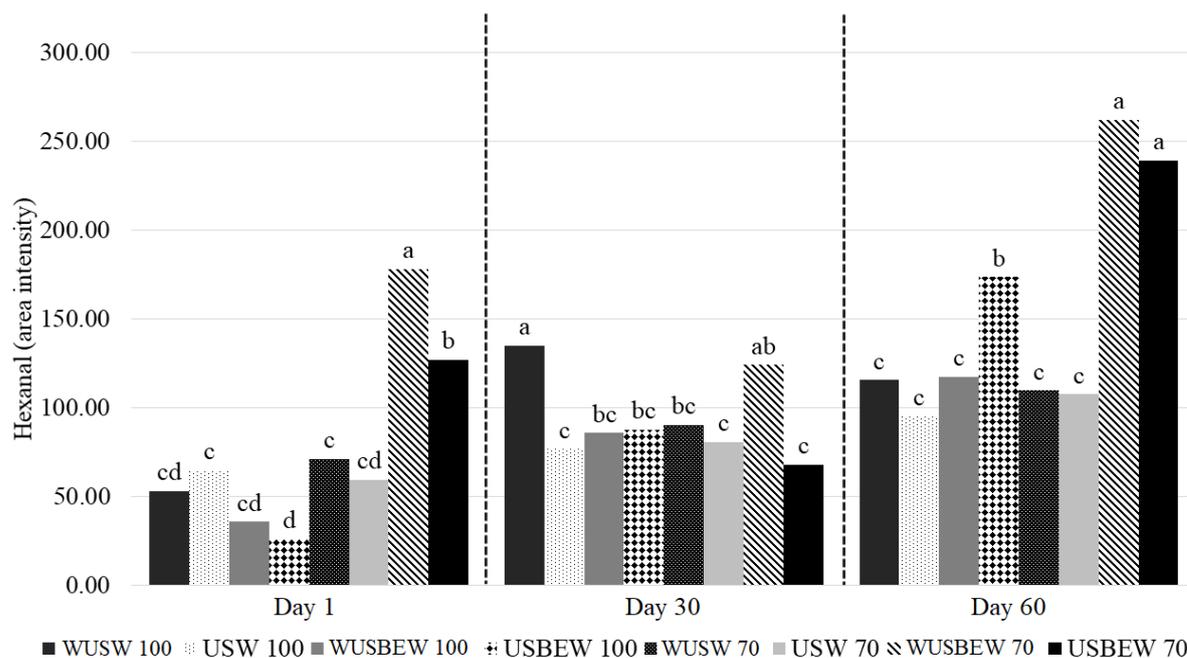


Fig. 9 – Quantificação do hexanal (áreas médias $\times 10^6$) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). EPM: 10.67 (dia 1); 11.92 (dia 30); 13.05 (dia 60).

5.3.4 Influência do US e AEB sobre características de cor e sua relação com a oxidação proteica

A fig. 10 mostra os resultados obtidos para o ΔE , cujos valores representam a mudança global na cor em relação ao padrão (WUSW100) ao longo do armazenamento. É importante salientar que o ΔE , quanto mais distante de zero, maiores são as modificações na cor em relação ao padrão (Hong et al., 2014), sendo que valores acima de 2 as mudanças tornam-se perceptíveis à visão humana (Heck et al., 2019). Em estudo realizado por Stadnik e Dolatowski (2011), no qual avaliaram a influência da sonicação (sistema de sonda, 45 kHz, 2 W cm⁻²) na cor de carne in natura (*M. semimembranosus*), foram observados maiores valores de ΔE nas amostras submetidas ao US em relação ao controle, sendo esse acontecimento atribuído a uma menor estabilidade da mioglobina. O tratamento USW 70 foi o que menos apresentou modificações na cor, obtendo valores abaixo de 2 ao longo dos 90 dias, com exceção do dia 30, o que pode ser visto como um aspecto positivo, visto que baixas concentrações de NaCl (abaixo de 2%) tendem a agir como pró-oxidantes dos pigmentos cárneos (Amaral, Silva, & Lanes, 2018), o que não foi observado neste estudo.

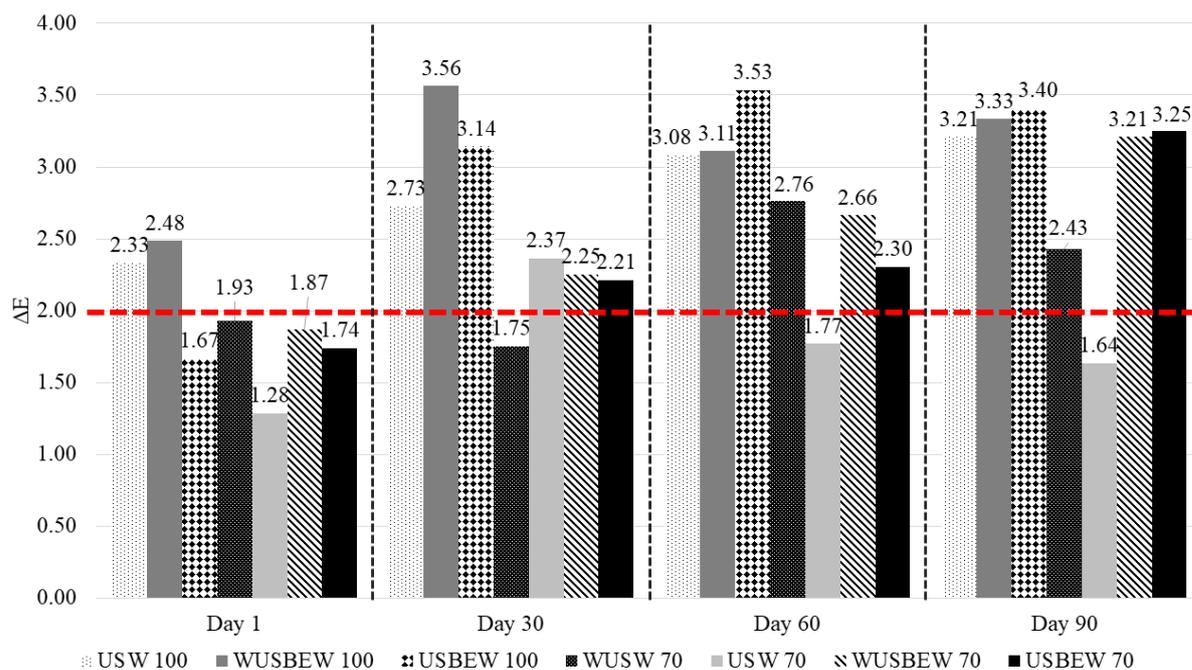


Fig. 10 – Valores de ΔE^* nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

* Valores de ΔE calculados comparando com o padrão (SUSW 100) nos diferentes pontos de armazenamento.

A fig. 11 mostra os valores de tiol obtidos nos diferentes tratamentos. É importante salientar que o tiol está relacionado com a oxidação proteica do alimento. Quanto maior o valor, significa que menor foi a formação de compostos oxidados, como pontes dissulfeto, as quais desempenham influência principalmente nas propriedades de textura de produtos cárneos. Essas reações de oxidação proteica podem ser aceleradas por compostos secundários de oxidação lipídica e também pela oxidação da mioglobina (Jongberg, Lung, & Skibted, 2017; Kang et al., 2016).

Os maiores valores de tiol ocorreram nas mortadelas com US e água na formulação, independente da concentração de NaCl. Apesar de USW100 e USW70 terem diferido entre si ($p < 0.001$), USW70 apresentou maior conteúdo de tiol proteico em relação a WUSW100 (padrão), o que é um aspecto positivo. Alguns estudos também mostraram ação positiva do US frente à oxidação proteica. Silva et al. (2020) e Cichoski et al. (2019) observaram que o US em diferentes modos e tempos mantiveram altos os valores de Tiol em relação ao controle. Com base nisso, é importante ressaltar que as modificações induzidas pelo US também dependerão da natureza das proteínas, visto que proteínas na forma β -folha são mais suscetíveis a oxidação do que as α -helix (Alarcón-Rojo et al., 2018).

Em relação às mortadelas com AEB, apesar de terem apresentado maiores valores ($p < 0.001$) em relação à WUSW100 no dia 1, houve um decréscimo significativo em relação às mortadelas elaboradas com água a partir do dia 30, indicando maior nível de oxidação proteica. Sobre isso, Hara et al (2003b), ao avaliarem a ação da AEB (pH 9.55) nas propriedades do Tofu, observaram que esta aumentou o teor de proteínas carboniladas. Haak et al. (2006) observaram que o decréscimo no valor de tiol está diretamente relacionado ao aumento de proteínas carboniladas, logo, procurou-se realizar uma relação com base nessas informações.

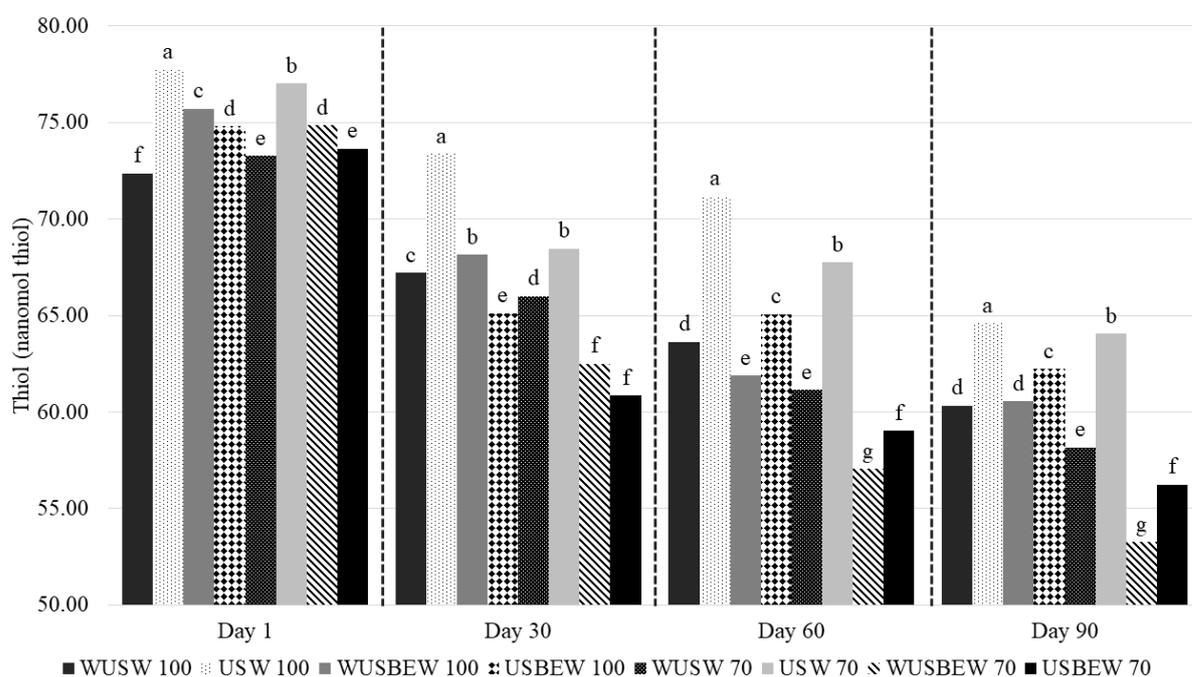


Fig. 11 – Valores de Tiol nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). Erro padrão da média: 0.21 (dia 1); 0.20 (dia 30); 0.22 (dia 60); 0.15 (dia 90).

Como mencionado anteriormente, a oxidação proteica pode estar relacionada com a oxidação da mioglobina. A oxidação da oximioglobina ferrosa (Fe^{2+}) a metamioglobina férrica (Fe^{3+}) ocorre na presença de algumas espécies reativas (RS) e produz descoloração da carne e início da peroxidação lipídica. O ânion superóxido e o peróxido de hidrogênio produzidos durante a oxidação da oximioglobina podem reagir para liberar a RS mais agressiva, o radical hidroxila, que pode iniciar a oxidação de outras moléculas, como lipídios e proteína (Papuc et al., 2017). Com base nisso, foi realizada a quantificação dos pigmentos

nitrosos (fig. 12a) e percentual de conversão de pigmentos totais em nitrosos (fig. 12b), cujos resultados informam a quantidade de mioglobina nitrosa (NOMB, cor rosa) e metamioglobina nitrosa (NOMetMb, cor marrom). Sendo que NOMetMb se forma quando ocorre oxidação do pigmento NOMB, bem como quantidade de pigmentos nitrosos formados, ou seja, quanto maior for a taxa de conversão, maior será o índice de cor vermelha no produto (Marches et al., 2006). Foi observado maiores valores ($p < 0.001$) de pigmentos nitrosos e conversão de pigmentos nas amostras com AEB (WUS e US) em relação às amostras com água, especialmente na concentração de 70% de NaCl, indicando que houve maior formação de pigmentos rosa. Entretanto, os valores de tiol (fig. 11) e oxidação lipídica anteriormente apresentados nas mortadelas elaboradas com AEB indicaram que, apesar de aumentar a formação de cor rosa, esta apresentou maior instabilidade em relação às mortadelas elaboradas com água.

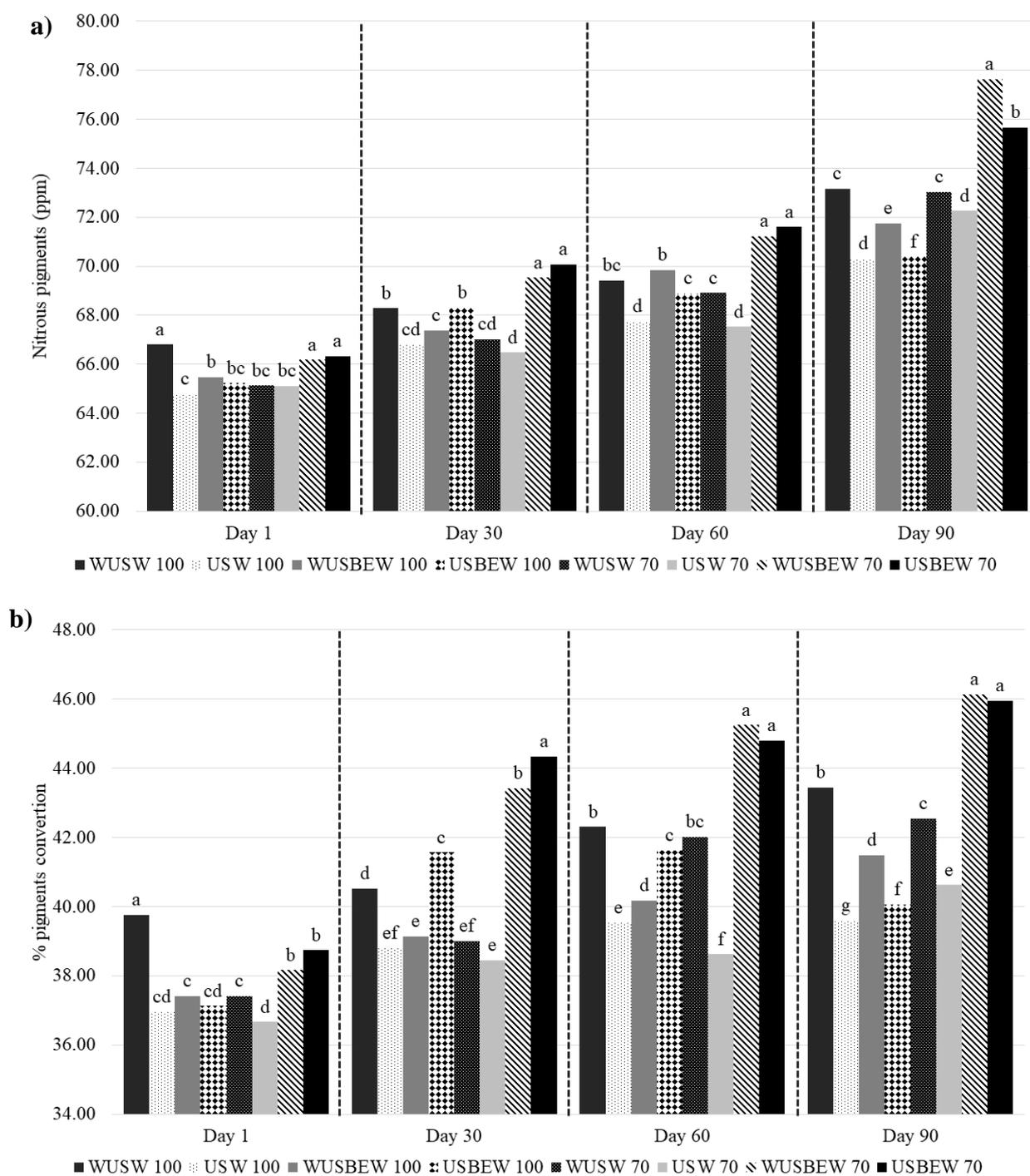


Fig. 12 – (a e b) Pigmentos nitrosos (ppm) e percentual de conversão dos pigmentos nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). EPM: (A): 0.20 (dia 1); 0.18 (dia 30); 0.22 (dia 60); 0.15 (dia 90); (B): 0.18 (dia 1); 0.17 (dia 30); 0.19 (dia 60); 0.08 (dia 90).

5.3.5 Influência do US e da AEB sobre as características de textura

A fig. 13 mostra os resultados obtidos nos atributos dureza e elasticidade quando da avaliação da textura. Foram encontradas diferenças ($p < 0.001$) em WUSBW 100 e USBW 100 e 70 em relação às mortadelas com água (WUS e US 100 e 70, que não diferiram entre si) no dia 1, apresentando menores valores de dureza. No dia 30 não houve diferença ($p > 0.005$) entre os tratamentos com US, independente da adição de AEB ou não, com exceção de USW100, o qual apresentou o maior valor, porém não diferiu de seu respectivo controle (WUSW100). Durante o dia 60 e 90, os menores valores foram observados nas mortadelas com AEB, especialmente na concentração de 70% de NaCl. De uma forma geral, a redução acentuada nos valores de dureza esteja diretamente relacionada aos valores de tiol apresentados pelos tratamentos WUS e USBW70, uma vez que a oxidação proteica repercute diretamente na textura do produto devido a conversão de tióis livres em derivados de oxidação (ou seja, ligações dissulfeto), promovendo a agregação de proteínas (Soladoye et al., 2015, Falowo; Fayemi, & Muchenje, 2014; Silva et al., 2014). Pois, quando comparamos com as mortadelas com água de mesma concentração de NaCl, observa-se que principalmente USW70 não apresentou diferença ($p > 0.005$) em relação às mortadelas com 100% de NaCl.

A dureza, de uma forma geral, está relacionada à força do gel de um produto cárneo emulsionado. A formação de gel é um processo termodinâmico oriundo da desnaturação proteica, e quando uma emulsão é considerada estável, não ocorre separação entre a fase aquosa e a gordura (quebra de emulsão). Ainda, é possível afirmar que, quanto maior a dureza, maior será a coesividade e a mastigabilidade do produto (Cichoski et al., 2019; Li et al., 2015). Em relação à coesividade (fig. 13 a), não foram apresentadas diferenças ($p > 0.05$) entre os tratamentos a partir do dia 30. No dia 1, todas as mortadelas com 70% de NaCl diferiram ($p < 0.001$) das mortadelas com 100% NaCl, apresentando menores valores, o que poderia estar relacionado à redução de NaCl. A mastigabilidade (fig. 13 b) apresentou comportamento similar à dureza. As mortadelas com AEB e 70% de NaCl apresentaram os menores valores de mastigabilidade. Em relação a isso, sabe-se que maior dureza está diretamente relacionada à maior mastigabilidade. Observou-se, ainda, que ocorreu um aumento na dureza e mastigabilidade ao longo dos 90 dias, especialmente nos dias 30 e 60.

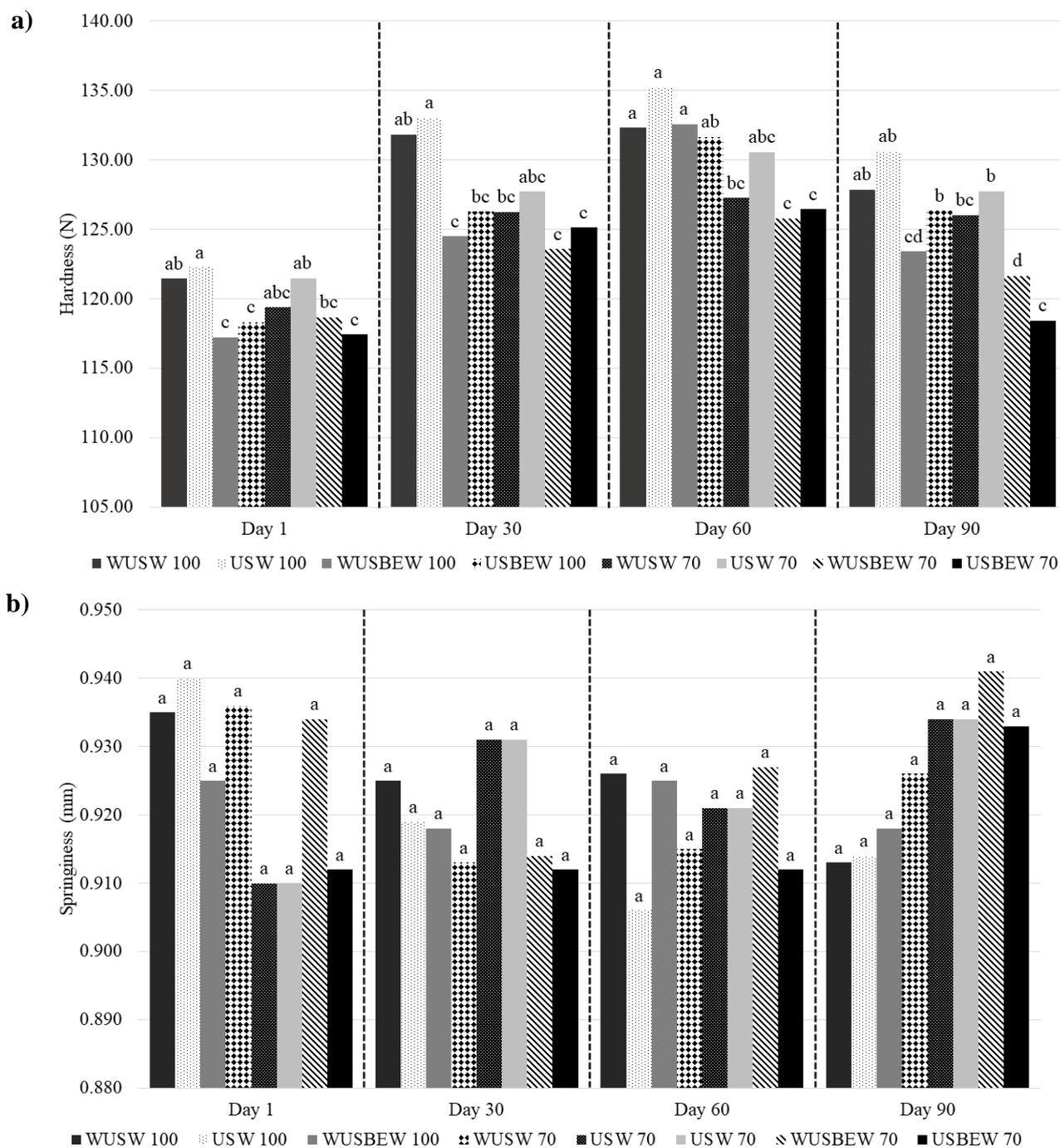


Fig. 13 – (a e b) Valores de dureza (N) e elasticidade (mm) nas mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 0.01% de significância ($p < 0.001$). EPM: (A) 0.93 (dia 1); 1.87 (dia 30); 1.13 (dia 60); 0.82 (dia 90); (B) 0.010 (dias 1, 30, 60 e 90).

Ao compararmos os diferentes tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90), não foi possível mensurar a influência do US sobre as características de textura, provavelmente devido a presença de outros componentes na mortadela, especialmente o fosfato, que também

é responsável pela retenção de água e influencia diretamente na textura do produto. Cichoski et al. (2019), ao avaliarem a ação do US em diferentes tempos e modos sobre a textura de emulsões cárneas, observaram um aumento nas características de dureza em banho de US no modo normal por 6 min (25 kHz e 154 W de potência) em relação ao controle, com consequente aumento da coesividade e mastigabilidade, estando atribuído ao menor aquecimento provocado pelo modo normal. Pinton et al. (2019) observaram aumento nos mesmos atributos em emulsões cárneas com teor reduzido de fosfato, utilizando banho ultrassônico no modo normal por 18 min (25 kHz, 60% de amplitude). Sobre isso, é importante salientar que nestes estudos foram utilizadas matrizes menos complexas do que a utilizada no presente estudo (com apenas NaCl e/ou diferentes concentrações de fosfato na formulação), o que fez com que fosse possível observar a influência do US sobre as características de textura, o qual aumentou os valores de dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade das amostras. Em relação à elasticidade (fig. 13b), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0.05$) entre os tratamentos e entre os dias.

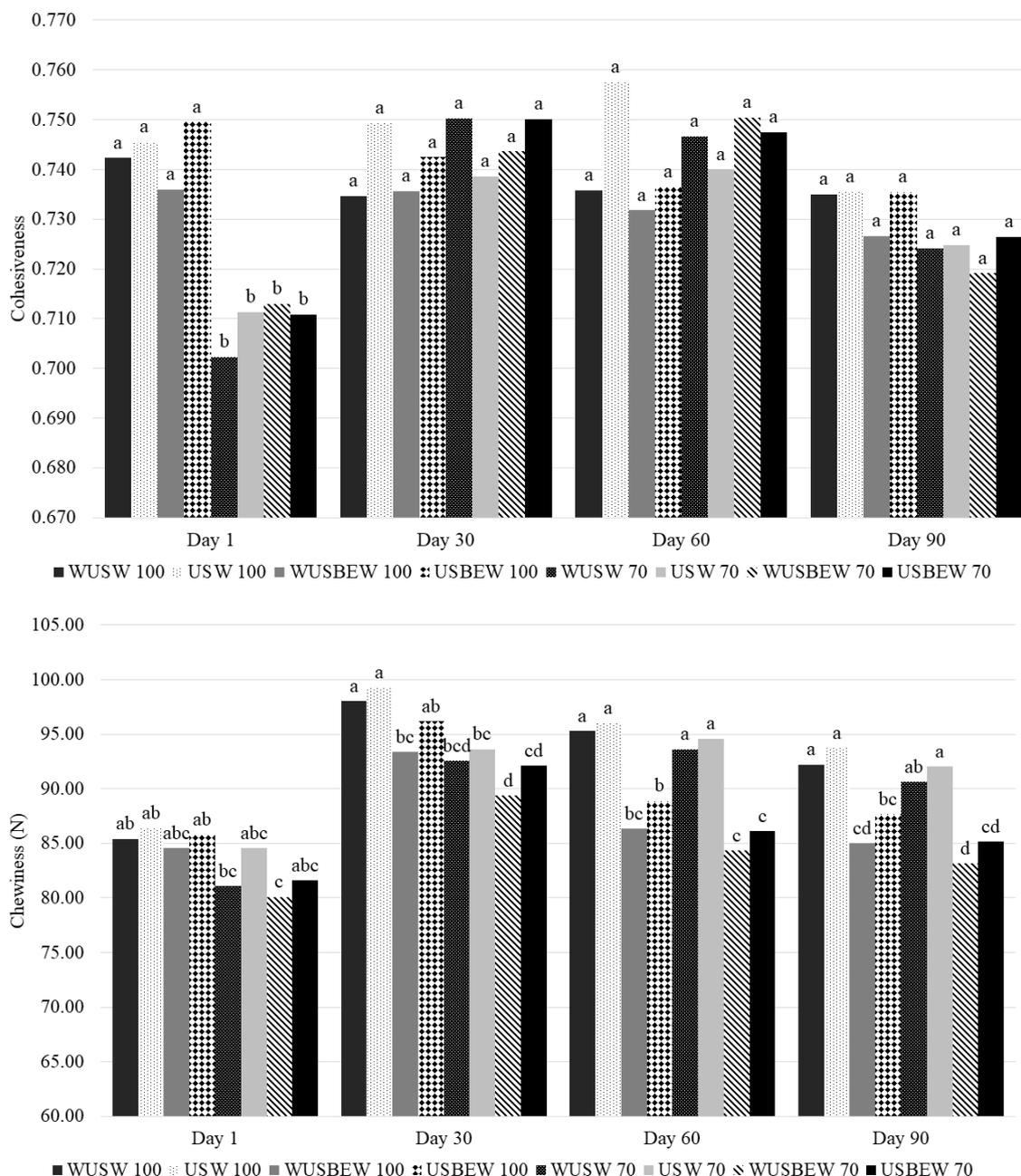


Fig. 14 – (a e b) Valores de coesividade e mastigabilidade (N) das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e com adição ou não de AEB e/ou US durante o armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias).

WUSW: amostra sem US e com H₂O na formulação; **USW:** amostra submetida ao US por 20 min e com H₂O na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra submetida ao US por 20 min e com AEB na formulação.

*As letras representam a comparação dos tratamentos em relação ao dia de armazenamento. Letras diferentes em um mesmo bloco/dia indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, sendo que: (A) dia 1 ($p < 0.05$); dias 30, 60 e 90 ($p > 0.05$); EPM: 0.004 (dia 1); 0.005 (dia 30); 0.008 (dia 60); 0.006 (dia 90). (B): dia 1 ($p < 0.01$); dias 30, 60 e 90 ($p < 0.001$); EPM: 1.48 (dia 1); 1.13 (dia 30); 1.36 (dia 60); 1.20 (dia 90).

Entretanto, sabe-se que o US é capaz de causar ruptura da integridade muscular e modifica a estrutura de proteínas como o colágeno, e assim podendo agir em parâmetros como a textura de acordo com o tempo, melhorando propriedades da carne e produtos cárneos sem comprometer outros parâmetros de qualidade (Alarcón-Rojo, 2015). Quando comparamos o

tratamento em relação aos dias de armazenamento, observou-se um aumento ($p < 0.001$) na dureza e mastigabilidade nas mortadelas de uma forma geral (Apêndice B, tabela 6), especialmente no dia 60.

5.3.6 Análise sensorial

A fig. 15 mostra a representação do perfil sensorial utilizando CATA. Apesar de apresentarem maiores valores de hexanal, os tratamentos WUSBW70 e USBW70 obtiveram maior associação aos termos “sabor agradável”, “aroma agradável” e “sabor realçado”, enquanto WUSBW e USBW 100 foram atribuídos aos termos “cor pálida”, “textura firme” e “sabor salgado”. ВІННІКОВА e ПРОНЬКІНА (2015) analisaram sensorialmente salsichas elaboradas com AE em diferentes proporções catódicas e anódicas, utilizando 2.5% de NaCl e cerca de 20% de AE, e observaram que no atributo aroma, foram atribuídos termos como “aroma leve”, “aroma de especiarias” e “sabor agradável” para amostras majoritariamente catódicas (de proporção catódica:anódica 80:20 a 70:30), e tendo este resultado sido atribuído à melhor extração de compostos aromáticos das especiarias do produto. Sobre isso, acredita-se que a AEB poderia estar atuando na extração compostos oriundos dos temperos utilizados na elaboração do produto, o que pode explicar os resultados obtidos para WUSBW 70 e USBW 70.

Os termos “cor ideal”, “textura ideal”, “aroma fraco” “aroma de ranço” e “sabor de ranço” foram atribuídos aos tratamentos WUSW100 e WUSW70, o que indica uma maior percepção de processos oxidativos nestes tratamentos em relação às demais amostras, sendo este um aspecto positivo. Já os termos “sabor ácido” e “sabor desagradável” foram atribuídos aos tratamentos USW100 e USW70. Pinton et al (2019) também encontrou estes termos nas amostras com 18 min. de US (em condições semelhantes às aplicadas no presente estudo) e 50% de redução de fosfato, utilizando concentração de 2.5% de NaCl.

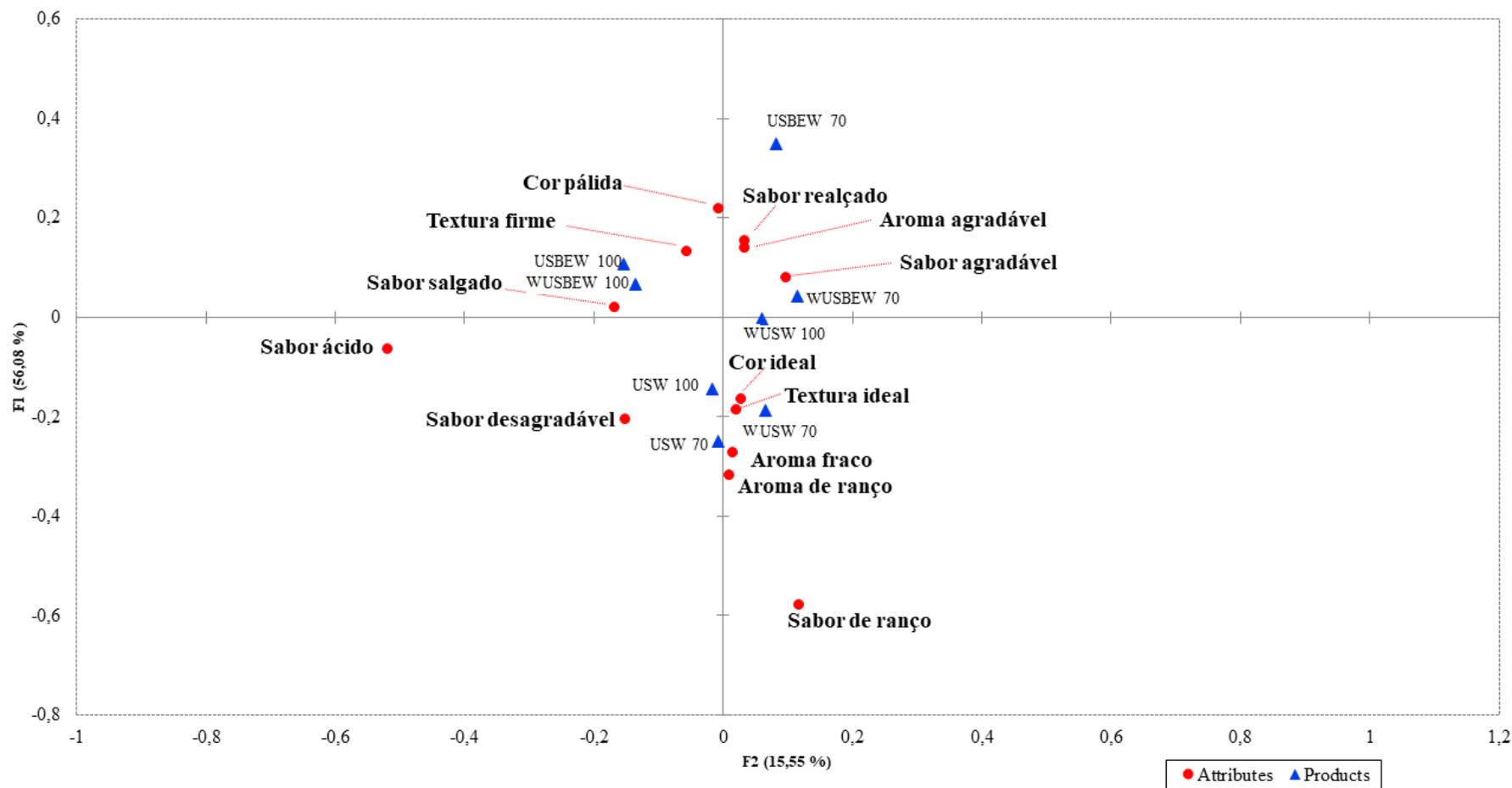


Fig. 15 – Representação das amostras de mortadela com diferentes concentrações de NaCl e aplicação de AEB e US em relação aos termos analisados no teste CATA no dia 1 de armazenamento

Nota: Os círculos representam os termos descritores e os triângulos as amostras.

WUSW: amostra sem US e com água na formulação; **USW:** amostra com US e com água na formulação; **WUSBEW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra com US e AEB na formulação.

Em relação à aceitabilidade (fig. 16), não foram observadas diferenças ($p > 0.05$) nos atributos cor, aroma e sabor, com exceção de WUSBW100, o qual apresentou diferença ($p < 0.05$) em relação aos outros tratamentos, obtendo menor escore no atributo aroma. De uma forma geral, os escores se apresentaram com valores entre 5 (gostei moderadamente) e 6 (gostei muito).

A intenção de compra (fig. 17) da mortadela padrão (WUSW 100) apresentou 28.43 e 41.17% para os escores 5 (certamente compraria) e 4 (provavelmente compraria), respectivamente, tendo USWBW70 o tratamento que mais se aproximou destes valores, com 9.8 e 51.96% para certamente e provavelmente compraria, o que vem de encontro aos termos relacionados à esta amostra no CATA.

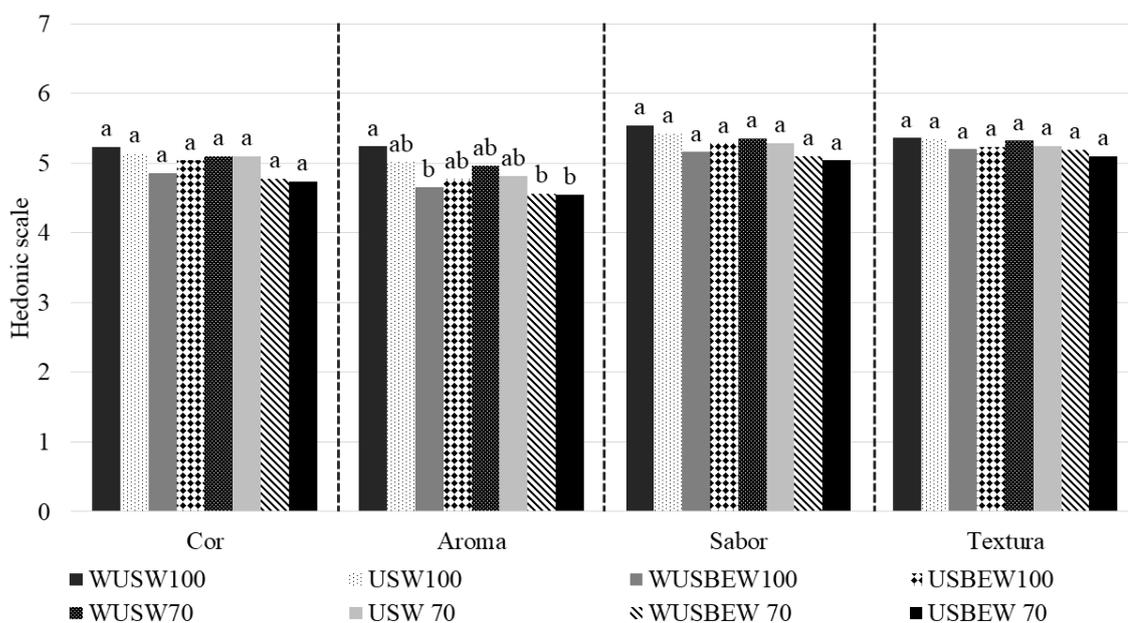


Fig. 16 – Valores de aceitabilidade obtidos para as amostras de mortadela com diferentes teores de NaCl e aplicação de AEB e US no dia 1 de armazenamento

WUSW: amostra sem US e com água na formulação; **USW:** amostra com US e com água na formulação; **WUSBW:** amostra sem US e com AEB na formulação; **USBW:** amostra com US e AEB na formulação.

Letras diferentes em um mesmo atributo representam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p < 0.05$). Erro padrão da média: 0.13 (cor, aroma e sabor); 0.11 (textura).

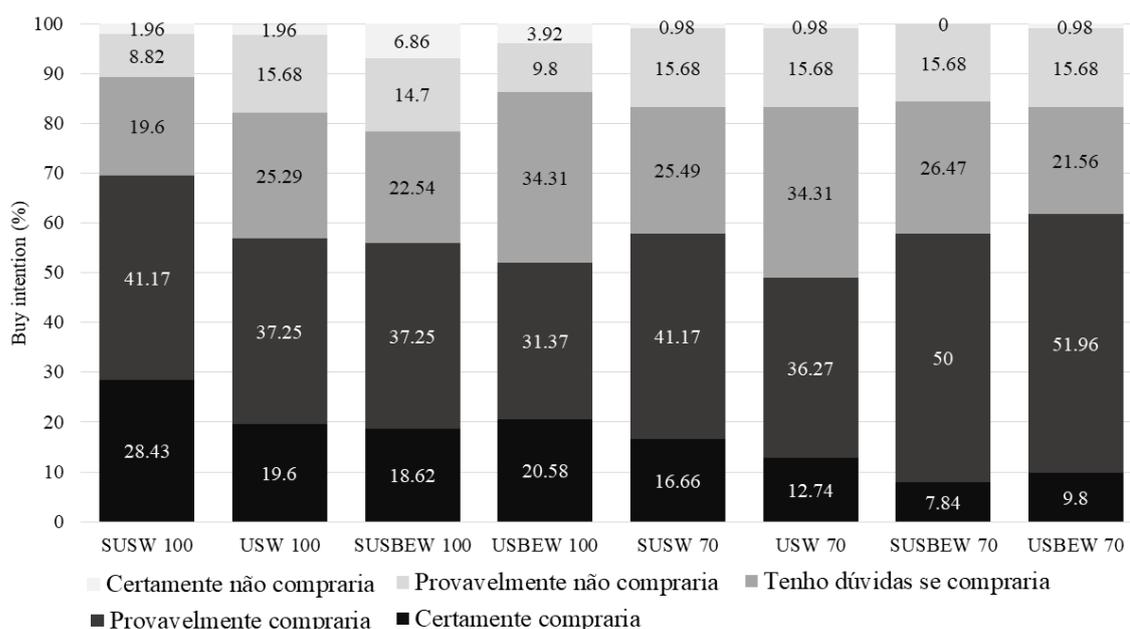


Fig. 17 – Percentuais de intenção de compra obtidos para as amostras de mortadela com diferentes teores de NaCl e aplicação de AEB e US no dia 1 de armazenamento

WUSW: amostra sem US e com água na formulação; **USW:** amostra com US e com água na formulação;

WUSBEW: amostra sem US e com AEB na formulação; **USBEW:** amostra com US e AEB na formulação

5.4 CONCLUSÃO

O US nas condições utilizadas mostrou-se uma eficiente alternativa na redução de NaCl em produto cárneo emulsionado, uma vez que mesmo em quantidade reduzida de sódio o mesmo conseguiu reduzir processos oxidativos e microbiológicos ao longo do armazenamento sem comprometer a qualidade do produto. Entretanto, em relação à AEB, acredita-se que ela pode ter desencadeado reações que favoreceram principalmente o que pode ter levado à alterações indesejáveis na oxidação e desenvolvimento microbiano ao longo do armazenamento.

Assim, faz-se necessário um estudo mais aprofundado em relação às condições ideais de utilização devido a sua rápida modificação nas propriedades, especialmente no que diz respeito ao seu potencial redutor, o qual é extremamente importante na redução da velocidade de oxidação e carga microbiana. A continuidade deste estudo pode ser justificada pelos resultados positivos da AEB em relação às características sensoriais do produto, podendo ter realçado atributos favoráveis mesmo com a redução no teor de sal, o que faz com que seja vantajosa uma maior investigação acerca de uma melhor forma de aplicação desta tecnologia em produto cárneo emulsionado, ainda que em conjunto com o US.

5.5 REFERÊNCIAS

- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, *107*, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.015>
- Alves, L. de L., Cichoski, A. J., Barin, J. S., Rampelotto, C., & Durante, E. C. (2013). O ultrassom no amaciamento de carnes. *Ciência Rural*, *43*(8), 1522–1528. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000800029>
- Alves, L. L., Stefanello da Silva, M., Martins Flores, D. R., Rodrigues Athayde, D., Roggia Ruviano, A., da Silva Brum, D., Cichoski, A. J. (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. *Food Research International*, *106*, 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.074>
- Amara, A. a, & Salem, S. R. (2009). Degradation of Castor Oil and Lipase Production by *Pseudomonas aeruginosa*. *Amro*, *5*(4), 556–563. Retrieved from [http://www.idosi.org/aejaes/jaes5\(4\)/16.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes5(4)/16.pdf)
- Amaral, A. B., Silva, M. V. da, & Lannes, S. C. da S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Science and Technology*, *38*(suppl 1), 1–15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>
- American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. Champaign: American Meat Science Association, 136p.
- American Public Health Association. (1999). Iodometric electrode technique. In: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- American Public Health Association. (2001). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. 4 ed. APHA: Washington DC, 2001.
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. AOAC: Washington DC. 1995.
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., da Silva, J. S., Genro, A. L. G., Silva, M. S., Klein, B., ... Cichoski, A. J. (2017). Application of electrolyzed water for improving pork meat quality. *Food Research International*, *100*, 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.009>
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., Silva, J. S., Silva, M. S., Genro, A. L. G., Wagner, R., ... Cichoski, A. J. (2018). Characteristics and use of electrolyzed water in food industries. *International Food Research Journal*, *25*(1), 11–16.
- Ayebah, B., & Hung, Y. C. (2005). Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface materials commonly found in food processing facilities. *Journal of Food Process Engineering*, *28*(3), 247–264. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00424.x>

- Aykın-Dinçer, E., Erbaş, M. (2018). Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents. *Meat Science*, 145, 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.007>
- Bal'-Prilipko L.V., Leonova B.I. (2016). The application of activated water as the main component of brines for meat products. *Technologies of business and service series*, 1(2), 24-31.
- Barretto, T. L., Pollonio, M. A. R., Telis-Romero, J., & da Silva Barretto, A. C. (2018). Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction. *Meat Science*, 145, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.023>
- Bligh, E. G., Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37(8), 911-917.
- Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Instrução normativa nº62, de 26 de agosto de 2003*. Oficializa os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. Brasília, 2003.
- Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Métodos de análise microbiológica para alimentos 2ª revisão*. Brasília, 1992.
- Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Instrução normativa nº4, de 31 de março de 2000*. Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha. Brasília, 2000.
- Brun, J. M., Ordóñez. A., Fernández, M., Herranz, B., Hoz, L. (2001) Microbial and physico-chemical changes during the ripening of dry fermented sausages superficially inoculated with or having added an intracellular cell-free extract of *Penicillium aurantiogriseum*. *Meat Science*, 59, 87-9.
- Cameron, M., McMaster, L.D., Britz, T.J. (2008). Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 15, 960-964.
- Cao, T., Wang, Y., Zhang, Y. (2013). Effect of Strongly Alkaline Electrolyzed Water on Silk Degumming and the Physical Properties of the Fibroin Fiber. *PLoS ONE* 8(6), e65654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065654>
- Caraveo, O., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A., Santellano, E. and Paniwnyk, L. (2014). Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2487- 2493.
- Carrillo-lopez, L. M., Luna-rodriguez, L., Alarcon-rojo, A. D., & Huerta-jimenez, M. (2018). High intensity ultrasound homogenizes and improves quality of beef longissimus dorsi. *Food Science and Technology*, 2061, 1–9.

- Chandrapala, J., Zisu, B., Palmer, M., Kentish, S. & Ashokkumar, M. (2011). Effects of ultrasound on the thermal and structural characteristics of proteins in reconstituted whey protein concentrate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5), 951-957.
- Cho, S. B., Chang, W. K., Kim, Y. J., Moon, H. I., Joo, J. W., Choi, I. S., ... Kim, S. K. (2010). Effects of plant oils and minerals for the inhibition of lipase activity of staphylococcus aureus isolated from fermented pork meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 30(5), 764–772. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2010.30.5.764>
- Cichoski, A. J., Silva, M. S., Leães, Y. S. V., Brasil, C. C. B., de Menezes, C. R., Barin, J. S., Campagnol, P. C. B. (2019). Ultrasound: A promising technology to improve the technological quality of meat emulsions. *Meat Science*, 148, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.009>
- Cluff, M., Kobane, I. A., Bothma, C., Hugo, C. J., & Hugo, A. (2017). Intermediate added salt levels as sodium reduction strategy: Effects on chemical, microbial, textural and sensory quality of polony. *Meat Science*, 133(June), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.06.014>
- Delgado-Pando, G., Allen, P., Fischer, E., O'Sullivan, M., Kerry, J., & Hamill, R. M. (2018). Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. *Meat Science*, 139, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.025>
- Dolatowski, Z., Stasiak, D. (2002). Bacterial contamination of meat and meat products after ultrasound treatment. *ACTA Scientiarum Polonorum*, 1, 55-65.
- El Adab, S., & Hassouna, M. (2016). Proteolysis, Lipolysis and Sensory Characteristics of a Tunisian Dry Fermented Poultry Meat Sausage with Oregano and Thyme Essential Oils. *Journal of Food Safety*, 36(1), 19–32. <https://doi.org/10.1111/jfs.12209>
- Ellman, G.L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Arch. Biochem. Biophys.* 82, 70-77.
- Fabrizio, K.A., Sharma, R.R., Demirci, A., and Cutter, C.N. (2002). Comparison of electrolyzed oxidizing water with various anti- microbial interventions to reduce Salmonella species on poultry. *Poultry Science*,. 81(10) 1598–1605.
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Feitosa, A. M., Rodrigues, R. M., Torres, E. A. T., & Silva, J. F. M. (2017). Staphylococcus aureus em alimentos. *Desafios*, 4(4), 15–31. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n4p15>
- Filibeli, A., Erden, G., & Gunduz, C. (2018). Ultrasonic pre-treatment of wastewater sludge from a meat processing industry. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35(3), 909–918. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180353s20170156>

- Gambuteanu, C., Filimon, V., & Alexe, P. (2013). Effects of ultrasound on technological properties of meat a review. *Food Science and Technology*, 14(2), 176–182.
- Gülseren, I., Güzey, D., Bruce, B. D., & Weiss, J. (2007). Structural and functional changes in ultrasonicated bovine serum albumin solutions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(2), 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.07.006>.
- Gündoğan, N., & Devren, A. (2010). Protease and lipase activity of *Staphylococcus aureus* obtained from meat, chicken and meatball samples. *Gazi University Journal of Science*, 23(4), 381–384.
- Gündoğan, N., Ataol, O., Torlak, F. O. (2013). Determination of Some Virulence Factors in *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* Isolated from Meat and Milk Products. *Journal of food safety*, 33(4), 387-393. <https://doi.org/10.1111/jfs.12062>
- Guyon, C., Meynier, A., Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in food Science and technology*, 50, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.026>
- Haak L, Raes K, Smet K, Claeys E, Paelinck H, De Smet S. (2006). Effect of dietary antioxidant and fatty acid supply on the oxidative stability of fresh and cooked pork. *Meat Science*, 74, 476–86.
- Hara Y. H.; Atsuda, H. M.; Rai, E. A. (2003b). Effects of Weakly Electrolyzed Water on Properties of Tofu (Soybean Curd). *Food science and technology research*, 9(4), 332–337.
- Hara, Y. H.; Watanuki, A.; Arai, E. (2003a) Effects of Weakly Electrolyzed Water on Properties of Japanese Wheat Noodles (Udon). *Food Science and Technology Research*, 9(4), 320–326.
- Hati, S., Mandal, S., Minz, P. S., Vij, S., Khetra, Y., Singh, B. P., & Yadav, D. (2012). Electrolyzed Oxidized Water (EOW): Non-Thermal Approach for Decontamination of Food Borne Microorganisms in Food Industry. *Food and Nutrition Sciences*, 03(06), 760–768. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.36102>
- Heck, R. T., Saldaña, E., Lorenzo, J. M., Correa, L. P., Fagundes, M. B., Cichoski, A. J., Menezes, C. R., Wagner, R., Campagnol, P. C. B. (2019). Hydrogelled emulsion from chia and linseed oils: A promising strategy to produce low-fat burgers with a healthier lipid profile. *Meat Science*, 156, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.034>
- Heck, R. T., Lucas, B. N., Santos, D. J. P., Pinton, M. B., Fagundes, M. B., Etchepare, M. A., Cichoski, A. J., Menezes, C. R. Barin, J. S., Wagner, R., Campagnol, P. C. B. (2018). Oxidative stability of burgers containing chia oil microparticles enriched with rosemary by green-extraction techniques. *Meat Science*, 146, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.009>

- Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., & Burgess, C. M. (2017). Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 59, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.016>
- Jay, J. M. (2005). *Microbiologia de Alimentos*. 6th ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 711 p.
- Jayasooriya, S. D., Torley, P. J., D'Arcy, B. R., & Bhandari, B. R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science*, 75(4), 628–639. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.010>
- Jongberg, S., Lund, M. N., & Skibsted, L. H. (2017). Protein Oxidation in Meat and Meat Products. Challenges for Antioxidative Protection. *Global Food Security and Wellness*, 315–337. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6496-3_17
- Jorge, N. (2010). *Matérias graxas alimentícias*. São Paulo: Cultura, 139 p.
- Kang, D., Zhou, Y., Cheng, Y., Xing, L., Zhou, G., Zhang, W. (2016). Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 33, 47-53.
- Kang, D., Gao, X., Ge, Q., Zhou, G., Zhang, W. (2017) Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification, *Ultrasonics Sonochemistry*, 38 317–325. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.03.026.
- Li, K., Kang, Z. L., Zou, Y. F., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2015). Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2622–2633. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1356-0>
- Luz, I. S., Gomes-Neto, N. J., Magnani, M., & De Souza, E. L. (2015). Assessment of tolerance induction by *Origanum vulgare* L. essential oil or carvacrol in *Pseudomonas aeruginosa* cultivated in a meat-based broth and in a meat model. *Food Science and Technology International*, 21(8), 571–580. <https://doi.org/10.1177/1082013214554467>
- Marino, M., Dubsky de Wittenau, G., Saccà, E., Cattonaro, F., Spadotto, A., Innocente, N., Marroni, F. (2019). Metagenomic profiles of different types of Italian high-moisture Mozzarella cheese. *Food Microbiology*, 79, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.12.007>
- Marches, C. M., Cichoski, A. J., Zanoelo, E. F., Dariva, C. (2006). Influence the storage conditions on the meats pigments and the color of the sliced italian salame. *Food Science and Technology*, 26(3), 694-704.
- McLellan, M. R., Lind, L. R., Kime, R. W. (1994). Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant hunter L,a,b data. *Journal of food quality*, 18, 235-240.

- Medina-Meza, I. G., Barnaba, C., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2014). Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.012>
- Misir, G. B., Koral, S. (2019). Effects of ultrasound treatment on structural, chemical and functional properties of protein hydrolysate of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by-products. *Ital. J. Food Sci.*, 31, 205-223.
- Ojha, K. S., Keenan, D. F., Bright, A., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2016). Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 37–45. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13001>
- Ojha, K. S., Keenan, D. F., Bright, A., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2016). Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 37–45. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13001>
- Orsolin, D., Steffens, C., Rosa, C. D., & Steffens, J. (2015). Redução do tempo no processo de cozimento de mortadela e avaliação da qualidade final do produto. *Ciencia Animal Brasileira*, 16(4), 589–597. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v16i430548>
- Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016>
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., & Nicorescu, V. (2017). Mechanisms of Oxidative Processes in Meat and Toxicity Induced by Postprandial Degradation Products: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 96–123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241>
- Park, E., Alexander, E., Taylor, G. A., Costa, R., Kang, D. (2009). The decontaminative effects of acidic electrolyzed water for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on green onions and tomatoes with differing organic demands. *Food Microbiology*, 26 (4), 386-90. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.10.013>
- Perham, C. C., Gifford, C. L., Woerner, D. R., Engle, T. E., Sellins, K. S., Acheson, R. J., Douglass, L. W., Tatum, J. D., Delmore, R. J., Cifelli, A., McNeill, S. H., Belk, K. E. (2019). Special-Fed Veal: Separable components, proximate composition, and nutrient analysis of selected raw and cooked, wholesale and retail cuts. *Meat Science*, 148, 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.016>
- Piñon, M. I., Alarcon-Rojo, A. D., Renteria, A. L., & Carrillo-Lopez, L. M. (2018). Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001>

- Pinton, Mariana B., Correa, Letícia P., Facchi, Michelle M. X., Heck, Rosane T., Leães, Yasmim S. V., Cichoski, A. J., Lorenzo, José M., Santos, Mirian, Pollonio, Marise A. R., Campagnoll, Paulo C. B. (2019). Ultrasound: a new approach to reduce phosphate content in meat emulsions. *Meat Science*, 152, 88-95.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>
- Rashid, N., Shimada, Y., Ezaki, S., Atomi, H., Imanaka, T. (2001). Applied and environmental microbiology, 67(9), 4064-4069. <https://doi.org/10.1128/aem.67.9.4064-4069.2001>
- Rayabudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Rosales-Oballos, Y., Citti de Petricone, R., Frágenas, N. N., Zambrano-Durán, A., Sayago, K., Lara, M., Urbina, G. (2019). New alternative to reduce sodium chloride in meat products: Sensory and microbiological evaluation. *LWT – Food Science and Technology*, v. 108, p. 253-260.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.057>
- Recknagel, R. O., Glende, E. A. (1984). Spectrophotometric detection of lipidic conjugated dienes. *Methods in enzymology*. V. 105, p. 331-337.
- Rigdon, M., Hung, Y. C., & Stelzleni, A. M. (2017). Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics. *Meat Science*, 123, 211–218.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.10.007>
- Ros-Polski, V., Koutchma, T., Xue, J., Defelice, C., & Balamurugan, S. (2015). Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.003>
- Semb, T. N. *Analytical methods for determination of the oxidative status in oils*. (2012). Tese de doutorado. Norwegian University of Science and Technology.
- Shahidi, F., Rubin, L. J., Diosady, L. L., Wood, D. F. (1985). Effect of sulfanilamide on the TBA values of cured meats. *Journal of food Science*, 50, 274-275.
- Shange, N., Makasi, T. N., Gouws, P. A., & Hoffman, L. C. (2018). The influence of normal and high ultimate muscle pH on the microbiology and colour stability of previously frozen black wildebeest (*Connochaetes gnou*) meat. *Meat Science*, 135, 14–19.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.08.006>
- Shanta, N. L., Decker, E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron- based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International*, 77(2), 421- 424.
- Sheng, X., Shu, D., Tang, X., & Zang, Y. (2018). Effects of slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of beef during refrigeration. *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1975–1981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.779>

- Sigma-Aldrich. *Tributylin Agar*. For the detection and enumeration of lipolytic microorganisms in food and other material (staphylococci, pseudomonads, clostridia and marine flavobacteria), 2013.
- Singh Sood, B., & Singh Kauldhar, B. (2013). Influence of Multiple Bioprocess Parameters on Production of Lipase from *Pseudomonas* sp. BWS-5. *Arch. Biol. Technol.* 56556(5), 711–721.
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P., & Estévez, M. (2015). Protein oxidation in processed meat: Mechanisms and potential implications on human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106–122. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12127>
- Stanley, R. E., Bower, C. G., & Sullivan, G. A. (2017). Influence of sodium chloride reduction and replacement with potassium chloride based salts on the sensory and physico-chemical characteristics of pork sausage patties. *Meat Science*, 133(May), 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.021>
- Sun, J. L., Zhang, S. K., Chen, J. Y., Han, B.Z (2012). Efficacy of acidic and basic electrolyzed water in eradicating *Staphylococcus aureus* biofilm. *Canadian Journal of Microbiology* 58, 448-454. <https://doi.org/10.1139/w2012-005>
- Terra, N. N., Brum, M. A. R. (1988). *Carne e seus derivados: técnicas e controle de qualidade*. Sao Paulo: Nobel, 121p.
- Vinnikova, L. G., Pronkina, K. V. (2016). The changes of characteristics of the pork whole muscle meat products while using the electrolyzed water. *Харчова наука і технологія*, 10(2), 19-23.
- Wang, H., Duan, D., Wu, Z., Xue, S., Xu, X., & Zhou, G. (2019). Primary concerns regarding the application of electrolyzed water in the meat industry. *Food Control*, 95(June 2018), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.049>
- Wang, H., Qi, J., Duan, D., Dong, Y., Xu, X., & Zhou, G. (2018). Combination of a novel designed spray cabinet and electrolyzed water to reduce microorganisms on chicken carcasses. *Food Control*, 86, 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.027>
- Waters, B. W., Hung, Y. (2014). The effect of organic loads on stability of various chlorine-based sanitisers. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 867-875. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12379>
- Wolf, C., Messadene-Chelali, J., Ulbrich, S. E., Kreuzer, M., Giller, K., Bérard, J. (2019). Replacing sunflower oil by rumen-protected fish oil has only minor effects on the physico-chemical and sensory quality of Angus beef and beef patties. *Meat Science*, 154, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.002>
- World Health Organization (WHO) (2003). *Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases*. Geneva (Sweden).

- Xie, J., Sun, X., Pan, Y., & Zhao, Y. (2012). Combining basic electrolyzed water pretreatment and mild heat greatly enhanced the efficacy of acidic electrolyzed water against *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp. *Food Control*, 23(2), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.019>
- Xu G, Tang X, Tang S, You H, Shi H, Gu R. (2014) Combined effect of electrolyzed oxidizing water and chitosan on the microbiological, physicochemical, and sensory attributes of American shad (*Alosa sapidissima*) during refrigerated storage. *Food Control* 46, 397–402.
- Yotsuyanagi, S. E., Contreras-Castillo, C. J., Haguiwara, M. M. H., Cipolli, K. M. V. A. B., Lemos, A. L. S. C., Morgano, M. A., & Yamada, E. A. (2016). Technological, sensory and microbiological impacts of sodium reduction in frankfurters. *Meat Science*, 115, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.016>
- Zhang, M., Haili, N., Chen, Q., Xia, X., & Kong, B. (2018). Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. *Meat Science*, 136, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.005>
- Zhao, Y. Y., Wang, P., Zou, Y. F., Li, K., Kang, Z. L., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2014). Effect of pre-emulsification of plant lipid treated by pulsed ultrasound on the functional properties of chicken breast myofibrillar protein composite gel. *Food Research International*, 58, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.024>
- Zheng, L.; Sun, D. W. (2006). Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes - A review, *Trends Food Sci. Technol.* 17, 16–23. doi:10.1016/j.tifs.2005.08.010.
- Аронбаев Д.М., Мусаева С.А., Эргашев И.Э., Васина С.М., Аронбаев С.Д., Тен В.А. (2013). Исследование релаксационных и антиоксидантных характеристик электрохимически активированной воды. *Всероссийский журнал научных публикаций*, 5(20), 2-4.
- Віннікова, Л. Г., Пронькіна К. В. (2015). Вплив фракцій електроактивованої води на функціонально-технологічні властивості яловичини та свинини. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*, 75, 36-43.

6 RESULTADOS GERAIS

Com base nos objetivos propostos no presente trabalho, foi possível constatar que as condições ideais de aplicação do US em emulsões cárneas visando melhoria nas características tecnológicas como estabilidade, rendimento, cor e textura ocorreram no tempo de 20 min., tendo assim promovido importantes modificações, tais como difusão do NaCl, solubilização das proteínas e conseqüentemente auxiliou na força do gel (fator que influencia diretamente nas propriedades de textura do produto) (CICHOSKI et al., 2019; PINTON et al., 2019). Esta ação foi potencializada quando em conjunto com a AEB, uma vez que as propriedades da mesma (tais como alcalinidade promovida pelo NaOH, presença de Cl na forma de OCl⁻ e H⁺) também podem auxiliar na manutenção da estabilidade da emulsão cárnea, tendo seu efeito se destacado principalmente em relação à liberação de gordura (KNIPE et al., 1985), o que indica que a mesma pode ter agido positivamente principalmente na redução dos glóbulos de gordura (KONOMATSU et al., 2003).

Estas características de cada uma das tecnologias utilizadas possibilitaram a redução de até 30% de NaCl (USBW70 20 min.) em emulsão cárnea elaborada a partir de fração cárnea, gordura, água/BEW e NaCl sem que a mesma perdesse suas características tecnológicas quando comparadas com a amostra padrão (WUSW 100). A partir destas primeiras constatações, partiu-se à segunda etapa do estudo, selecionando o tempo de 20 min. e as concentrações de 100 e 70% (em conjunto ou não com AEB), objetivando avaliar a ação destas duas tecnologias (em separado ou em conjunto) em relação às características microbiológicas, oxidativas e sensoriais de um produto cárneo emulsionado (mortadela italiana).

A mortadela se constitui de uma matriz complexa em relação à emulsão cárnea elaborada no primeiro estudo, no qual adicionou-se apenas NaCl a fim de avaliar apenas a influência de sua redução sobre a emulsão. Ainda, quando falamos em um produto, o estudo da vida útil dele é capaz de trazer informações importantes e que nem sempre podem ir de encontro às características tecnológicas/funcionais do produto. Assim, foi possível observar que a AEB passa por rápidas modificações de suas propriedades, sobretudo seu potencial de oxirredução, o qual é responsável pela atividade antioxidante e antimicrobiana. Porém, observou-se que a AEB pode ter influenciado de forma não positiva quando em contato com a matéria orgânica, uma vez que ela pode ter desencadeado reações que aceleraram principalmente a ação microbiana. Devido a presença de bactérias com atividade lipolítica e

proteolítica, pode ter acelerado processos oxidativos de origem lipídica e proteica, o que refletiu principalmente ao longo do armazenamento.

Entretanto, a AEB apresentou aspectos positivos sob o ponto de vista sensorial, tendo as amostras com menor teor de sal, com e sem US (WUSBW/USBW 70) mais associadas aos termos “sabor agradável”, “aroma agradável” e “sabor realçado” pelos provadores. Isso pode ter ocorrido pela provável capacidade da AEB em extrair compostos aromáticos, especialmente dos condimentos adicionados ao produto, como em estudo anteriormente realizado em salsichas (Вітнікова; Пронькіна, 2015). Assim, a continuidade de estudos sobre as melhores condições de aplicação da AEB (concentração, temperatura, forma de adição à emulsão) se faz necessária, visto que ela apresentou um bom perfil sensorial.

Em relação ao US, nas condições testadas ele se apresentou como uma forma viável na redução do teor de sal em produto cárneo emulsionado, uma vez que conseguiu reduzir a oxidação e desenvolvimento microbiano ao longo do armazenamento.

REFERÊNCIAS

- Віннікова, Л. Г., Пронькіна К. В. Вплив фракцій електроактивованої води на функціонально-технологічні властивості яловичини та свинини. **Восточно-Европейский журнал передовых технологий**, v. 75, 36-43, 2015.
- AASLYNG, M. D.; VESTERGAARD, C.; KOCH, A. G. The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 47–55, 2014.
- ABBASI, E. et al. Effect of partial replacement of fat with added water and tragacanth gum (*Astragalus gossypinus* and *Astragalus compactus*) on the physicochemical, texture, oxidative stability, and sensory property of reduced fat emulsion type sausage. **Meat Science**, v. 147, p. 135–143, 2019.
- AFARI, G. K.; HUNG, Y. C. A meta-analysis on the effectiveness of electrolyzed water treatments in reducing foodborne pathogens on different foods. **Food Control**, v. 93, p. 150–164, 2018.
- ALAHAKOON, A. U. et al. Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 37–49, 2015.
- ALARCON-ROJO, A. D. et al. Power ultrasound in meat processing. **Meat Science**, v. 107, p. 86–93, 2015.
- ALARCON-ROJO, A. D. et al. Ultrasound and meat quality: A Review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 55, p. 369-382, 2018.
- ALARCÓN-ROJO, A. D.; JANACUA-VIDALES, H. Applications of ultrasound in meat industry. **International Journal of Mechanical And Production Engineering**, v. 5, n. 6, p. 76–79, 2016.
- ALARCON-ROJO, A. et al. Ultrasound Application to Improve Meat Quality. In: **Descriptive Food Science**, 2018.
- ALCANTARA, M. I. M. C. S. O. Principais Microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 6, p. 1–20, 2012.
- ALEXI, N. et al. Check-All-That-Apply (CATA) with semi-trained assessors: Sensory profiles closer to descriptive analysis or consumer elicited data. **Food Quality and Preference**, v. 64, n. March 2017, p. 11–20, 2018.
- ÁLVAREZ, D.; BARBUT, S. Effect of inulin, β -Glucan and their mixtures on emulsion stability, color and textural parameters of cooked meat batters. **Meat Science**, v. 94, n. 3, p. 320–327, 2013.

- ALVES, L. A. A. et al. Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna-type sausages with 50% replacement of NaCl by KCl. **Meat Science**, v. 123, p. 50–56, 2017.
- ALVES, L. de L. et al. O ultrassom no amaciamento de carnes. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1522–1528, 2017.
- ANALÍTICA. **Manual de equipamento**: Banhos ultrassônicos Elma. Nova Analítica Imp e Exp Ltda, 2015.
- ANDRADE, J. C. et al. Consumer sensory and hedonic perception of sheep meat coppa under blind and informed conditions. **Meat Science**, v. 137, n. May 2017, p. 201–210, 2018.
- ANJANEYULU, A. S. R.; SHARMA, N.; KONDAIAH, N. Specific effect of phosphate on the functional properties and yield of buffalo meat patties. **Food Chemistry**, v. 36, n. 2, p. 149–154, 1990.
- AQ, M. I. A. L.; UGIYAMA, J. S.; SOBE, S. I. Review Applications of Electrolyzed Water in Agriculture & Food Industries. **Food Science and Technology Research**, v. 11, n. 2, p. 135–150, 2005.
- AQUILANI, C. et al., Effect of natural antioxidants from grape seed and chestnut in combination with hydroxytyrosol, as sodium nitrite substitutes in Cinta Senese dry-fermented sausages. **Meat Science**, v. 145, p. 389-398, 2018.
- ASSOCIATION, A. M. S. **AMSA Meat Color Measurement Guidelines.**, 2012.
- ATHAYDE, D. R. et al. Application of electrolyzed water for improving pork meat quality. **Food Research International**, v. 100, n. June, p. 757–763, 2017.
- ATHAYDE, D. R. et al. Characteristics and use of electrolyzed water in food industries. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 1, p. 11–16, 2018.
- ÁVILA, D. R. M. et al. Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA). **Meat Science**, v. 98, n. 2, p. 310–315, 2014.
- AWAD, T. S. et al. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 410–427, 2012.
- AYEBAH, B.; HUNG, Y. C. Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface materials commonly found in food processing facilities. **Journal of Food Process Engineering**, v. 28, n. 3, p. 247–264, 2005.
- BANWART, G. C. M. de C.; PINTO E SILVA, M. E. M.; VIDAL, G. Redução de sódio em alimentos: panorama atual e impactos tecnológicos, sensoriais e de saúde pública. **Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v. 39, n. 3, p. 348–365, 2014.
- BARBIERI, G. et al. Survey of the chemical, physical, and sensory characteristics of currently produced mortadella bologna. **Meat Science**, v. 94, n. 3, p. 336–340, 2013.

- BARRETTO, T. L. et al. Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction. **Meat Science**, v. 145, p. 55–62, 2018.
- BEDALE, W.; SINDELAS, J. J.; MILKOWSKI, A. L. Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. **Meat Science**, v. 120, p. 85-92, 2016.
- BERARDO, A. et al. Effect of sodium ascorbate and sodium nitrite on protein and lipid oxidation in dry fermented sausages. **Meat Science**, v. 121, p. 359–364, 2016.
- BERNARDI, M. et al. Production of human platelet lysate by use of ultrasound for ex vivo expansion of human bone marrow–derived mesenchymal stromal cells. **Cytotherapy**, v. 15, n. 8, 2013.
- BOLES, J. A.; RATHGEBER, B. M.; SHAND, P. J. Recovery of proteins from beef bone and the functionality of these proteins in sausage batters. **Meat Science**, v. 55, p. 223-231, 2000.
- BOURNE, M. C.; KENNY, J. F.; BARNARD, J. Computer-Assisted Readout of Data From Texture Profile Analysis Curves. **Journal of Texture Studies**, v. 9, n. 4, p. 481–494, 1978.
- BOURNE, M. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução normativa nº4, de 31** de março de 2000. Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha. Brasília, 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde (MS). **Termo de compromisso que firmam entre si a União, por intermédio do Ministério da Saúde, com a finalidade de dar continuidade ao estabelecimento de metas nacionais para a redução do teor de sódio em alimentos processados no Brasil**. Brasília, 2013.
- BRASIL. **Ministério da Saúde monitora a redução do sódio em alimentos processados**. Câmara Interministerial de Segurança Alimentar, 2017.
- CAMPAGNOL, P. C. B. (2011). **Influência da redução de sódio e gordura na qualidade de embutidos cárneos fermentados**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA). Campinas, 188f.
- CAPODIFOGGIO, E. et al. Lipolytic and proteolytic activity of *Pseudomonas* spp. isolated during milking and storage of refrigerated raw milk. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5214–5223, 2016.
- CARVALHO, G. R.(2014). Influência da aplicação de ultrassom em desidratação osmótica de carne bovina. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2014.
- CHEN, L.; OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods - A review. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 497–507, 2013.

CHRISTENSEN, L. M. **Evaluation of Textural Properties**, p. 59–67, 2012.

CICHOSKI, A. J. et al. Ultrasound: A promising technology to improve the technological quality of meat emulsions. **Meat Science**, v. 148, 2019.

CLUFF, M. et al. Intermediate added salt levels as sodium reduction strategy: Effects on chemical, microbial, textural and sensory quality of polony. **Meat Science**, v. 133, p. 143–150, 2017.

CORRAL, S.; SALVADOR, A.; FLORES, M. Salt reduction in slow fermented sausages affects the generation of aroma active compounds. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 776–785, 2013.

CUI, X, et al. Physicochemical properties and bactericidal efficiency of neutral and acidic electrolyzed water under different storage conditions. *Journal of Food Engineering*, v. 91, n. 4, p. 582–6, 2009.

CUSTÓDIO, F. B. et al. Assessment of the quality of refrigerated and frozen pork by multivariate exploratory techniques. **Meat Science**, v. 139, n. 2017, p. 7–14, 2018.

CUSTÓDIO, F. B. et al. Assessment of the quality of refrigerated and frozen pork by multivariate exploratory techniques. **Meat Science**, v. 139, p. 7-14, 2017.

DE PRADOS, M.; GARCIA-PEREZ, J. V.; BENEDITO, J. Ultrasonic characterization and online monitoring of pork meat dry salting process. **Food Control**, v. 60, p. 646–655, 2016.

DELGADO-PANDO, G. et al. Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. **Meat Science**, v. 139, n. January, p. 179–186, 2018.

DESMOND, E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 188–196, 2006.

DICKINSON, E. Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. **Food Hydrocolloids**, v. 28, p. 224-241, 2012.

DING, T.; RAHMAN, S. M. E.; Oh, D.H. Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against foodborne pathogens on oyster mushroom. **Food Control**, v. 22, n. 2, p. 318–322, 2011.

DOMÉNECH-ASENSI, G. et al. Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. **Meat Science**, v. 93, n. 2, p. 213–219, 2013.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4ª Ed Curitiba PR, p. 531, 2013.

ELMA. **Operating instructions**: ultrasonic cleaning units (Transsonic TI-H, document ref. 1046427), p. 1–28, 2014.

ERKMEN, O.; BOZOGLU, F. T. **Food Microbiology**: Principles into Practice. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

ESKIN, M.; SAHIDI, F. **Bioquímica dos alimentos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 536p., 2015.

FABRIZIO, K. A.; CUTTER, C. N. Stability of electrolyzed oxidizing water and its efficacy against cell suspensions of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes*. **Journal of Food Protection**, v. 66, p. 1379-1384, 2003.

FALOWO, A. B.; FAYEMI, P. O.; MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. **Food Research International**, v. 64, p. 171–181, 2014.

FAUSTMAN, C.; SUMAN, S. P. **The Eating Quality of Meat: I-Color**. Elsevier Ltd, 2017.

FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. L., DAMODARAN, S. **Química de Alimentos**. 4ª Ed, Editora Artmed, p. 900, 2010.

FERNANDES, R. de P. P. et al. Stability of lamb loin stored under refrigeration and packed in different modified atmosphere packaging systems. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 554–561, 2014.

FLORES, D. R. M. et al. Application of ultrasound in chicken breast during chilling by immersion promotes a fast and uniform cooling. **Food Research International**, v. 109, n. 2017, p. 59–64, 2018.

FORGHANI, F.; ESKANDARI, M.; OH, D. H. Application of slightly acidic electrolyzed water and ultrasound for microbial decontamination of kashk. **Food Science and Biotechnology**, v. 24, n. 3, p. 1011–1016, 2015.

FORGHANI, F.; OH, D. H. Hurdle enhancement of slightly acidic electrolyzed water antimicrobial efficacy on Chinese cabbage, lettuce, sesame leaf and spinach using ultrasonication and water wash. **Food Microbiology**, v. 36, n. 1, p. 40–45, 2013.

FORGHANI, F.; PARK, J. H.; OH, D. H. Effect of water hardness on the production and microbicidal efficacy of slightly acidic electrolyzed water. **Food Microbiology**, v. 48, p. 28–34, 2015.

GEERAERTS, W. et al. Variability within the dominant microbiota of sliced cooked poultry products at expiration date in the Belgian retail. **Food Microbiology**, v. 73, p. 209–215, 2018.

GHRIBI, A. M. et al., Toward the enhancement of sensory profile of sausage “Merguez” with chickpea protein concentrate. **Meat Science**, v. 143, p. 74-80, 2018.

GÓMEZ-LÓPEZ, D. et al. Antimicrobial resistance of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua* from meat products and meat-processing environment. **Food Microbiology**, v. 42, p. 61–65, 2014.

GÓMEZ-LOPEZ, V. M. et al. Cross-contamination of *Escherichia coli*O157:H7 is inhibited by electrolyzed water combined with salt under dynamic conditions of increasing organic matter. **Food Microbiology**, v. 46, p.471–478, 2015.

- GONZÁLEZ-CASADO, A.; JIMÉNEZ-CARVELO, A. M.; CUADROS-RODRÍGUEZ, L. Sensory quality control of dry-cured ham: A comprehensive methodology for sensory panel qualification and method validation. **Meat Science**, v. 149, p. 149-155, 2019.
- GORDON, A.; BARBUT, S. Effect of chloride salts on protein extraction and interfacial protein film formation in meat batters. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 2, p. 227–238, 1992.
- GRAÇA, A. et al. The use of electrolyzed water as a disinfectant for minimally processed apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, n. 2–3, p. 172–177, 2011.
- GRANER, M.; BARROS, N. B. M.; MORAES, R. S. Estabilidade de emulsões de carne obtidas em laboratório. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 31, p. 303-313, 1974.
- GUYON, C.; MEYNIER, A.; DE LAMBALLERIE, M. Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. **Trends in Food Science and Technology**, v. 50, p. 131–143, 2016.
- HANGUI, S. A. R. et al Análise microbiológica da carne bovina moída comercializada na cidade de Anápolis, Goiás, Brasil. *Revista eletrônica de farmácia*, v.12, n. 2, p. 30–38, 2015.
- HARA, Y.; WATANUKI, A.; ARAI, E. Effects of Weakly Electrolyzed Water on Properties of Japanese Wheat Noodles (Udon). **Food Science and Technology Research**, v. 9, n. 4, p. 320–326, 2003a.
- HARA, Y. H.; ATSUDA, H. M.; RAI, E. A. Effects of Weakly Electrolyzed Water on Properties of Tofu (Soybean Curd). **Food science and technology research**, v. 9, n. 4, p. 332–337, 2003b.
- HECK, R. T. et al. Oxidative stability of burgers containing chia oil microparticles enriched with rosemary by green-extraction techniques. **Meat Science**, v. 146, p. 147-153, 2017.
- HECK, R. T. et al., Hydrogelled emulsion from chia and linseed oils: A promising strategy to produce low-fat burgers with a healthier lipid profile. **Meat Science**, v. 156, p. 174-182, 2019.
- HERMANN, S. S. et al. Dietary exposure to volatile and non-volatile N-nitrosamines from processed meat products in Denmark. **Food Chemistry Toxicology**, v. 80, 137-143, 2015.
- HIGUERA-BARRAZA, O. A. et al. Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 558–562, 2016.
- HUANG, Y. R. et al. Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control**, v. 19, n. 4, p. 329–345, 2008.
- IAMARINO, L. Z. et al. Nitritos e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou embutidos. **Gestão em foco**, v. 7, p. 246-251, 2015.
- INGUGLIA, E. S. et al. Salt reduction strategies in processed meat products – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 59, p. 70–78, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009**: avaliação nutricional da disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil. Rio de Janeiro, 2010.

JADEJA, R.; HUNG, Y. C. Efficacy of near neutral and alkaline pH electrolyzed oxidizing waters to control *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* Typhimurium DT 104 from beef hides. **Food Control**, v. 41, n. 1, p. 17–20, 2014.

JAY J. M. **Microbiologia de Alimentos**. Porto Alegre: Editora Artmed, 6 ed p. 711, 2005.

JENA, S.; DAS, H. Modeling of particle size distribution of sonicated coconut milk emulsion: Effect of emulsifiers and sonication time. **Food Research International**, v. 39, n. 5, p. 606–611, 2006.

JIN, S. K. et al. Quality changes in fat-reduced sausages by partial replacing sodium chloride with other chloride salts during five weeks of refrigeration. **Lwt**, v. 97, p. 818–824, 2018.

JORGE, E. C. et al. Application of a check-all-that-apply question for evaluating and characterizing meat products. **Meat Science**, v. 100, p. 124–133, 2015.

JORGE, N. **Matérias graxas alimentícias**. São Paulo: Cultura, 139 p., 2010.

JU, S. Y. et al. Does electrolyzed water have different sanitizing effects than sodium hypochlorite on different vegetable types. **British Food Journal**, v. 119, n. 2, p. 342–356, 2017.

JULIÃO, T. A. et al. Influence of the cleaning system of conveyor belts on microbiological quality of poultry meat. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 4, p. 1325–1332, 2018.

KAMENÍK, J. et al. Salt, sodium chloride or sodium? Content and relationship with chemical, instrumental and sensory attributes in cooked meat products. **Meat Science**, v. 131, p. 196–202, 2017.

KANG, D. C. et al. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 33, p. 47–53, 2016.

KANG, D. cheng et al. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 38, p. 317–325, 2017.

KENTISH, S.; FENG, H. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 263–284, 2014.

KNIPE, C. L.; OLSON, D. G.; RUST, R. E. Effects of Selected Inorganic Phosphates, Phosphate Levels and Reduced Sodium Chloride Levels on Protein Solubility, Stability and pH of Meat Emulsions. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 4, p. 1010–1013, 1985.

KODA, S. et al. A standard method to calibrate sonochemical efficiency of an individual reaction system. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 10, n. 3, p. 149–156, 2003.

- KOIDE, S. et al. Effects of mildly heated, slightly acidic electrolyzed water on the disinfection and physicochemical properties of sliced carrot. **Food Control**, v. 22, n. 3–4, p. 452–456, 2011.
- KORTEI, N. K. et al. Influence of gamma radiation on some textural properties of fresh and dried oyster mushrooms (*pleurotus ostreatus*). **Annals Food Science and Technology**, v. 16, n. 1, p. 11-15, 2015.
- KOSEKI, S. et al. Effect of mild heat pre-treatment with alkaline electrolyzed water on the efficacy of acidic electrolyzed water against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on Lettuce. **Food Microbiology**, v. 21, n. 5, p. 559–566, 2004.
- LEE, N. Y. et al. Decontamination efficacy of neutral electrolyzed water to eliminate indigenous flora on a large-scale of cabbage and carrot both in the laboratory and on a real processing line. **Food Research International**, v. 64, p. 234–240, 2014.
- LI, J. et al. Synergetic effects of ultrasound and slightly acidic electrolyzed water against *Staphylococcus aureus* evaluated by flow cytometry and electron microscopy. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 38, p. 711–719, 2017.
- LI, K. et al. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2622–2633, 2015.
- LI, K. et al. Use of High-Intensity Ultrasound to Improve Functional Properties of Batter Suspensions Prepared from PSE-like Chicken Breast Meat. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 12, p. 3466–3477, 2014.
- LINSKENS, H. F. Biofilme. **Mikrokosmos**, v. 94, n. 4, p. 197–198, 2005.
- LIU, P. et al. Influence of glycated nitrosohaemoglobin prepared from porcine blood cell on physicochemical properties, microbial growth and flavour formation of Harbin dry sausages. **Meat Science**, v. 148, p. 96–104, 2019.
- LIU, R. et al. Contribution of nitric oxide and protein S-nitrosylation to variation in fresh meat quality. **Meat Science**, v. 144, n. April, p. 135–148, 2018.
- LUCAS, A. V. (2015). **Ultrassom na engenharia química: utilização industrial, pesquisas e perspectivas para o futuro**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.
- MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, p. 100-121, 2005.
- MANSUR, A. R.; OH, D. H. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage. **Food Microbiology**, v. 51, p. 154–162, 2015.
- MASON, T. J. et al. New evidence for the inverse dependence of mechanical and chemical effects on the frequency of ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, p. 226-230, 2011.

- MASON, T. J. Large scale sonochemical processing: aspiration and actuality. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 7, n. 4, p. 145-149, 2010.
- MEDINA-MEZA, I. G.; BARNABA, C.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 22, p. 1–10, 2014.
- MOISEEV, I. V.; CORNFORTH, D. P. Sodium hydroxide and sodium tripolyphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. **Meat Science**, v. 45, n. 1, p. 53–60, 1997.
- MOREY, A.; OWENS, C. M. **Methods for Measuring Meat Texture**: Elsevier Ltd, 2017.
- MUSAVU NDOB, A.; LEBERT, A. Prediction of pH and aw of pork meat by a thermodynamic model: New developments. **Meat Science**, v. 138, p. 59–67, 2018.
- NAGAMATSU, Y., et al. Durability of bactericidal activity in electrolyzed neutral water by storage. **Dental Materials Journal**, v. 21, n. 2, p. 93, 2002.
- NASCIMENTO, R. et al. Substituição de cloreto de sódio por cloreto de potássio: Influência sobre as características físico-químicas e sensoriais. **Alim. Nutr., Araraquara**, v. 18, n. 3, p. 297–302, 2007.
- O’SULLIVAN, M. G. Sensory Affective (Hedonic) Testing. In: O’SULLIVAN, M. G. (Org). **A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development**, Swaston: Woodead Publishing, p. 39–57, 2017.
- OLIVEIRA, D. F. De et al. Alternativas para um produto cárneo mais saudável: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 3, p. 163–174, 2013.
- OLIVO, R. Alterações oxidativas em produtos cárneos. In: SHIMOKO- MAKI, M; OLIVO, R; TERRA, N. N.; FRANCO B.D.G.M. (Org.). **Atualidade em Ciência e Tecnologia de Carnes**. São Paulo: Varela, 2006.
- ORSOLIN, D. et al. Redução do tempo no processo de cozimento de mortadela e avaliação da qualidade final do produto. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 16, n. 4, p. 589–597, 2015.
- OVISSIPOUR, M. et al. Efficacy of acidic and alkaline electrolyzed water for inactivating Escherichia coli O104: H4, Listeria monocytogenes, Campylobacter jejuni, Aeromonas hydrophila, and Vibrio parahaemolyticus in cell suspensions. **Food Control**, v. 53, p. 117–123, 2015.
- OZUNA, C. et al. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (Longissimus dorsi) brined at different NaCl concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 84–93, 2013.
- PAGLARINI, C. S. et al. Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage. **Food Structure**, v. 20, p. 100-105, 2019.

PARK, S. Y.; KIM, H. Y. Physicochemical properties of chicken thigh meat batter containing various concentrations of NaCl. **Korean Journal of Food Science and Technology**. v. 48, n. 3, p. 262–267, 2016.

PEÑA-GONZALEZ, E. et al. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: sensory and technological parameters. **Ultrasonics Sonochemistry**, 2018.

PINGRET, D.; FABIANO-TIXIER, A. S.; CHEMAT, F. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. **Food Control**, v. 31, n. 2, p. 593–606, 2013.

PIÑÓN, M. et al. Ultrasound for improving the preservation of chicken meat. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1–7, 2018.

PIRES, M. A. et al. The effect of sodium reduction on the microstructure, texture and sensory acceptance of Bologna sausage. **Food Structure**, v. 14, n., p. 1–7, 2017.

POLACHINI, T. C. (2015). **Determinação das melhores condições de hidrólise física com ultrassom de potência em resíduos de amendoim**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2015.

POMÉLIE, De La D. et al. Oxidation and nitrosation of meat proteins under gastro-intestinal conditions: Consequences in terms of nutritional and health values of meat. **Food Chemistry**, v. 243, p. 295-304, 2018.

PONNAMPALAM, E. N. et al. Interaction of diet and long ageing period on lipid oxidation and colour stability of lamb meat. **Meat Science**, v. 129, p. 43–49, 2017.

PONNAPALAM, E. N. et al. Interaction of diet and long ageing period on lipid oxidation and colour stability of lamb meat. *Meat Science*, v. 129, p. 43-49, 2017.

RAHMAN, S. M. E.; JIN, Y. G.; OH, D. H. Combined Effects of Alkaline Electrolyzed Water and Citric Acid with Mild Heat to Control Microorganisms on Cabbage. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 2, p. 111–115, 2010.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. 2ª Ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

RIAZI, F. et al. Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems. **Meat Science**, 121, 350-358, 2016.

RIEL, G. et al. Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadella-type sausages – Impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects. **Meat Science**, v. 131, p. 166–175, 2017.

RIGDON, M.; HUNG, Y. C.; STELZLENI, A. M. Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics. **Meat Science**, v. 123, p. 211–218, 2017.

RUUSUNEN, M. et al. Reducing the sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. **Meat Science**, v. 69, n. 1, p. 53–60, 2005.

RUUSUNEN, M.; PUOLANNE, E. Reducing sodium intake from meat products. **Meat Science**, v. 70, n. 3 SPEC. ISS., p. 531–541, 2005.

SALDAÑA, E. et al. Descriptive and hedonic sensory perception of Brazilian consumers for smoked bacon. **Meat Science**, v. 147, n. August 2018, p. 60–69, 2019.

SALDAÑA, E. et al. Microstructure, texture profile and descriptive analysis of texture for traditional and light mortadella. **Food Structure**, v. 6, p. 13–20, 2015.

SANINNO, A.; BOLZONI, L. GC/CI-MS/MS method for the identification and quantification of volatile N-nitrosamines in meat products. **Food chemistry**. v. 141, n. 4, p. 3925-3930, 2013.

SANTHI, D.; KALAIKANNAN, A.; SURESHKUMAR, S. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 10, p. 2021–2027, 2017.

SHAN, L.S. Consumer views on “healthier” processed meat. **British Food Journal**, v. 118, n. 7, p. 1712 – 1730, 2017.

SHENG, X. et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of beef during refrigeration. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 7, p. 1975–1981, 2018.

SIGMA-ALDRICH. **Tributyryn Agar**. For the detection and enumeration of lipolytic microorganisms in food and other material (staphylococci, pseudomonads, clostridia and marine flavobacteria), 2013.

SIRÓ, I. et al. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 353–362, 2009.

SOARES, K. M. de P.; SILVA, J. B. A. Da; GÓIS, V. A. De. Parâmetros de qualidade de carnes e produtos cárneos: uma revisão. **Higiene alimentar**, v. 31, p. 87–94, 2017.

SOLADOYE, O. P. et al. Protein oxidation in processed meat: Mechanisms and potential implications on human health. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 2, p. 106–122, 2015.

SORAPUKDEE, S. et al. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2–3, p. 1892–1901, 2013.

SORAPUKDEE, S., C. et al. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion. **Food Chemistry**. v. 138, p. 1892–1901, 2013.

SOUZA, A. M.; SOUZA, B. S. N.; BEZERRA, I. N.; SICHIERI, R. Impacto da redução do teor de sódio em alimentos processados no consumo de sódio no Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 32, n. 2, 1-10, 2016.

STANLEY, R. E.; BOWER, C. G.; SULLIVAN, G. A. Influence of sodium chloride reduction and replacement with potassium chloride based salts on the sensory and physico-chemical characteristics of pork sausage patties. **Meat Science**, v. 133, p. 36–42, 2017.

SUCU, C.; TURP, G. Y. The investigation of the use of red beet powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. **Meat Science**, v. 140, p. 158-166, 2018.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin Chemistry and Meat Color. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 79–99, 2012.

SUMAN, S. P.; NAIR, M. N. **Current Developments in Fundamental and Applied Aspects of Meat Color**: Elsevier Ltd, 2017.

TANGO, C. N. et al. Slightly acidic electrolyzed water combined with chemical and physical treatments to decontaminate bacteria on fresh fruits. **Food Microbiology**, v. 67, p. 97–105, 2017.

TEIXEIRA, L. V. Análise Sensorial Na Indústria De Alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12–21, 2009.

TOBIN, B. D. et al. Effect of varying salt and fat levels on the sensory and physiochemical quality of frankfurters. **Meat Science**, v. 92, n. 4, p. 659–666, 2012.

TOMASEVIC, I. et al. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. **Meat Science**, v. 148, p. 5–12, 2019. Disponível em:

TORRICO, D. D. et al. Novel techniques to understand consumer responses towards food products: A review with a focus on meat. **Meat Science**, v. 144, p. 30–42, 2018.

UTRERA, M.; PARRA, V.; ESTÉVEZ, M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 812–820, 2014.

VÉLEZ, H. A. V. (2015). **Estudo do ultrassom de potência no pré-tratamento do material lignocelulósico de resíduos da bananeira**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2015.

VISSANGUAN, W. et al. Physicochemical changes and mechanism of heat-induced gelation of arrowtooth flounder myosin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 4, p. 1016–1023, 2000.

WANG, G. et al. Modified atmosphere packaging decreased *Pseudomonas fragi* cell metabolism and extracellular proteolytic activities on meat. **Food Microbiology**, v. 76, p. 443–449, 2018a.

WANG, Z. et al. **Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage**. Elsevier Ltd, v. 146, 2018b.

WANG, H. et al. Combination of a novel designed spray cabinet and electrolyzed water to reduce microorganisms on chicken carcasses. **Food Control**, v. 86, p. 200–206, 2018c.

WANG, H. et al. Primary concerns regarding the application of electrolyzed water in the meat industry. **Food Control**, v. 95, p. 50–56, 2019.

WARNER, R. D. et al. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation. **Meat Science**, v. 132, p. 72–89, 2017.

WÓJCIAK, K. M. et al. The influence of sonication on the oxidative stability and nutritional value of organic dry-fermented beef. **Meat Science**, v. 148, p. 113–119, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva (Suíça), 2003.

XARGAYÓ, M., et al. **Una solución definitiva para mejorar la textura de la carne**. Departamento Tecnológico de Metalquímica, 2006.

XIE, J. et al. Combining basic electrolyzed water pretreatment and mild heat greatly enhanced the efficacy of acidic electrolyzed water against *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp. **Food Control**, v. 23, n. 2, p. 320–324, 2012.

YANG, H. et al. Optimization of textural properties of reduced-fat and reduced-salt emulsion-type sausages treated with high pressure using a response surface methodology. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 33, p. 162–169, 2016.

YOTSUYANAGI, S. E. et al. Technological, sensory and microbiological impacts of sodium reduction in frankfurters. **Meat Science**, v. 115, p. 50–59, 2016.

ZAGOREC, M.; CHAMPOMIER-VERGÈS, M.-C. Meat Microbiology and Spoilage. **Lawrie's Meat Science**, p. 187–203, 2017.

ZHANG, M. et al. Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. **Meat Science**, v. 136, p. 1–8, 2018.

ZHANG, W.; XIAO, S.; AHN, D. U. Protein Oxidation: Basic Principles and Implications for Meat Quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 11, p. 1191–1201, 2013.

ZHAO, Y. et al. Effect of regenerated cellulose fiber on the properties and microstructure of emulsion model system from meat batters. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 83–89, 2019.

ZISU, B. et al. Effect of ultrasound on the physical and functional properties of reconstituted whey protein powders, **The Journal of dairy research**, v. 78, n. 2, p. 226–232, 2011.

APÊNDICE A (MATERIAL COMPLEMENTAR - ARTIGO 1)

Tabela 1 – Valores de liberação de água e gordura (estabilidade %), rendimento (%), umidade (%) e atividade de água das emulsões contendo diferentes concentrações de NaCl, e submetidas a diferentes tempos de tratamento em US elaboradas com adição de água (W) e AEB (BEW).

Tratamento	% Gordura	% Água	% Rendimento	% Umidade	aw
WUSW100	1,19 ^{cdefgh}	15,29 ^{ijkl}	83,04 ^{bcdef}	53,25 ⁿ	0,975 ^{lmno}
USW100 10 min	1,13 ^{defghi}	17,95 ^{de}	82,42 ^{cdefg}	52,40 ^p	0,976 ^{klm}
USW100 20 min	1,10 ^{efghij}	14,43 ^{lmn}	84,76 ^a	55,50 ^{gh}	0,973 ^p
WUSBW100	1,00 ^{ijk}	10,38 ^p	83,28 ^{abcde}	56,18 ^f	0,973 ^{nop}
USBW100 10 min	0,91 ^{jk}	13,90 ^{mn}	83,93 ^{abc}	54,86 ^{ij}	0,974 ^{nop}
USBW100 20 min	0,59 ^m	10,28 ^p	85,01 ^a	63,06 ^a	0,972 ^q
WUSW90	1,09 ^{efghij}	16,42 ^{gh}	83,62 ^{abcde}	52,78 ^o	0,976 ^{klm}
USW90 10 min	1,19 ^{cdefgh}	17,81 ^{ef}	79,92 ^{hijk}	51,70 ^q	0,977 ^{hijk}
USW90 20 min	1,03 ^{hijk}	14,07 ^{mn}	83,42 ^{abcde}	54,90 ^{ij}	0,974 ^{nop}
WUSBW90	0,97 ^{ijk}	12,31 ^o	82,98 ^{bcdef}	55,57 ^g	0,975 ^{nop}
USBW90 10 min	1,01 ^{hijk}	16,37 ^{hi}	82,35 ^{cdefg}	54,73 ^j	0,977 ^{hijk}
USBW90 20 min	0,69 ^{lm}	13,7,3 ⁿ	83,91 ^{abc}	62,81 ^a	0,975 ^{nop}
WUSW80	1,14 ^{defghi}	16,42 ^{hi}	82,16 ^{defg}	52,43 ^p	0,978 ^{gh}
USW80 10 min	1,24 ^{cdefg}	18,73 ^{cd}	79,70 ^{jk}	51,00 ^{rs}	0,979 ^{hi}
USW80 20 min	1,02 ^{hijk}	14,81 ^{klm}	83,70 ^{abcd}	54,40 ^k	0,974 ^{nop}
WUSBW80	1,09 ^{defghi}	14,49 ^{lmn}	81,43 ^{fghi}	55,80 ^g	0,978 ^{gh}
USBW80 10 min	1,12 ^{efghij}	16,29 ^{hi}	82,71 ^{bcdefg}	54,11 ^k	0,977 ^{hijk}
USBW80 20 min	0,68 ^{lm}	14,27 ^{mn}	83,80 ^{abc}	62,37 ^b	0,976 ^{lmno}
WUSW70	1,24 ^{cdefg}	16,80 ^{efg}	80,09 ^{hijk}	51,80 ^q	0,980 ^{hi}
USW70 10 min	1,30 ^{bcd}	19,25 ^c	78,76 ^{kl}	50,35 ^t	0,982 ^{cd}
USW70 20 min	1,23 ^{bdefg}	15,47 ^{ijk}	81,21 ^{ghij}	53,77 ^m	0,975 ^{lmno}
WUSBW70	1,07 ^{fghij}	14,62 ^{klmn}	81,19 ^{ghij}	55,60 ^g	0,981 ^{efg}
USBW70 10 min	1,06 ^{fghij}	16,49 ^{gh}	81,50 ^{fgh}	54,00 ^{lm}	0,977 ^{hijk}
USBW70 20 min	0,69 ^{lm}	14,45 ^{lmn}	82,04 ^{efg}	61,43 ^c	0,977 ^{hijk}
WUSW60	1,27 ^{abcde}	17,65 ^{ef}	79,52 ^k	51,28 ^r	0,982 ^{cd}
USW60 10 min	1,37 ^{abc}	20,48 ^b	76,33 ^{nop}	49,70 ^u	0,984 ^b
USW60 20 min	1,24 ^{bcde}	17,83 ^{de}	79,93 ^{hijk}	52,80 ^o	0,982 ^{cd}
WUSBW60	1,20 ^{cdefgh}	17,43 ^{def}	78,75 ^{kl}	55,16 ^s	0,983 ^{cd}
USBW60 10 min	1,15 ^{defghi}	17,66 ^{ef}	79,84 ^{ijk}	53,37 ⁿ	0,982 ^{hi}
USBW60 20 min	0,86 ^{kl}	16,13 ^{de}	77,07 ^{mn}	60,84 ^d	0,977 ^{hijk}
WUSW50	1,46 ^a	20,27 ^b	75,26 ^{pq}	50,73 ^s	0,988 ^a
USW50 10 min	1,43 ^{ab}	21,57 ^a	74,47 ^q	49,15 ^v	0,987 ^a
USW50 20 min	1,45 ^{ab}	22,17 ^a	76,92 ^{no}	52,38 ^p	0,989 ^a
WUSBW50	1,25 ^{bcde}	18,36 ^{cde}	77,42 ^{lmn}	52,39 ^p	0,985 ^b
USBW50 10 min	1,06 ^{ijk}	18,15 ^{de}	78,56 ^{klm}	53,24 ⁿ	0,983 ^{bc}
USBW50 20 min	0,92 ^{jk}	17,74 ^{ef}	75,36 ^{opq}	60,41 ^e	0,987 ^a
Sig.	***	***	***	***	***
EPM	0,25	0,33	0,67	0,23	0,003

Nota: Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey;

EPM: Erro padrão da média; **Sig.:** significância: *** (P < 0,001).

Tabela 2 – Valores de pH e POR das emulsões contendo diferentes concentrações de NaCl, e submetidas a diferentes tempos de tratamento em US elaboradas com adição de água (W) e AEB (BEW).

Tratamento	pH	POR
WUSW100	6,24 ^c	182,77 ^d
USW100 10 min	5,99 ⁿ	160,00 ^{efg}
USW100 20 min	6,12 ^{kl}	90,55 ^t
WUS BEW100	6,23 ^{cdefgh}	140,00 ^{ijklm}
USB EW100 10 min	6,17 ^{cdefghi}	161,33 ^{efgh}
USB EW100 20 min	6,31 ^b	124,00 ^{opq}
WUSW90	6,20 ^{cdefghi}	168,22 ^e
USW90 10 min	6,05 ^m	130,00 ^{nop}
USW90 20 min	6,16 ^{ijk}	95,00 ^t
WUS BEW90	6,19 ^{cdefghi}	183,44 ^d
USB EW90 10 min	6,13 ^l	158,44 ^{fg}
USB EW90 20 min	6,30 ^b	119,44 ^{qr}
WUSW80	6,22 ^{cdef}	189,00 ^{cd}
USW80 10 min	6,08 ^{lm}	148,44 ^{hi}
USW80 20 min	6,17 ^{cdefghi}	110,33 ^s
WUS BEW80	6,23 ^{cd}	142,33 ^{ijkl}
USB EW80 10 min	6,17 ^{cdefghi}	146,55 ^{ij}
USB EW80 20 min	6,33 ^{ab}	121,33 ^{pqr}
WUSW70	6,21 ^{cdefgh}	196,66 ^{bc}
USW70 10 min	6,05 ^m	137,00 ^{klmn}
USW70 20 min	6,18 ^{cdefghi}	115,00 ^{rs}
WUS BEW70	6,24 ^c	143,77 ^{ijk}
USB EW70 10 min	6,20 ^{cdefghi}	157,44 ^g
USB EW70 20 min	6,22 ^{cdef}	137,66 ^{klmn}
WUSW60	6,18 ^{cdefghi}	203,00 ^b
USW60 10 min	6,03 ^m	132,00 ^{mno}
USW60 20 min	6,17 ^{cdefghi}	121,00 ^{qr}
WUS BEW60	6,24 ^c	144,55 ^{ijk}
USB EW60 10 min	6,21 ^{cdefgh}	156,55 ^{gh}
USB EW60 20 min	6,12 ^{kl}	155,55 ^{gh}
WUSW50	6,19 ^{cdefghi}	221,00 ^a
USW50 10 min	5,98 ⁿ	161,00 ^{efg}
USW50 20 min	6,16 ^{hijk}	135,00 ^{lmn}
WUS BEW50	6,32 ^{ab}	143,44 ^{ijkl}
USB EW50 10 min	6,20 ^{cdefghi}	167,11 ^{ef}
USB EW50 20 min	6,37 ^a	120,11 ^{qr}
Sig.	***	***
EPM	0,04	2,30

Nota: Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey;

EPM: Erro padrão da média; **Sig.:** significância: *** (P< 0,001).

Tabela 3 – Valores de dureza (N), elasticidade (mm) coesividade, mastigabilidade (N) e diferença de cor (ΔE) das emulsões contendo diferentes concentrações de NaCl, e submetidas a diferentes tempos de tratamento em US elaboradas com adição de água (W) e AEB (BEW)

Tratamento	Dureza (N)	Elasticidade (mm)	Coesividade	Mastigabilidade (N)	ΔE^*
WUSW100	144.51 ^{bcd}	0.893 ^{bcd} fg	0.483 ^{ij}	56.63 ^{ghi}	-
USW100 10 min	101.08 ^{ijkl}	0.867 ^{efghijkl}	0.433 ^{lmn}	37.49 ^{lmno}	1.15
USW100 20 min	144.19 ^{bcd}	0.900 ^{abc} defg	0.579 ^{ef}	89.08 ^{ab}	0.71
WUSBW100	151.92 ^{ab}	0.909 ^{abcd}	0.624 ^{cd}	81.01 ^{abcd}	2.26
USBW100 10 min	153.41 ^{ab}	0.910 ^{abcd}	0.585 ^e	83.22 ^{abc}	2.04
USBW100 20 min	158.64 ^a	0.936 ^a	0.683 ^a	92.62 ^a	1.78
WUSW90	130.56 ^e	0.878 ^{cdefghij}	0.450 ^{kl}	51.46 ^{ghijk}	1.42
USW90 10 min	97.13 ^{klmn}	0.871 ^{defghijk}	0.425 ^{lmn}	40.65 ^{klmn}	1.32
USW90 20 min	137.25 ^{cde}	0.890 ^{cdefgh}	0.536 ^h	78.99 ^{bcd}	1.14
WUSBW90	151.75 ^{ab}	0.905 ^{abcde}	0.595 ^{de}	82.48 ^{abc}	1.38
USBW90 10 min	137.92 ^{cde}	0.871 ^{defghijk}	0.634 ^c	74.24 ^{cd}	1.64
USBW90 20 min	148.02 ^{abc}	0.933 ^{ab}	0.671 ^{ab}	83.33 ^{abc}	1.13
WUSW80	115.39 ^{fgh}	0.882 ^{cdefghij}	0.481 ^{ijk}	40.86 ^{lmn}	1.52
USW80 10 min	96.07 ^{klmn}	0.848 ^{ijkl}	0.411 ^{mno}	31.13 ^{mno} pq	1.21
USW80 20 min	113.82 ^{gh}	0.871 ^{defghijk}	0.571 ^{efg}	69.75 ^{de}	1.60
WUSBW80	151.42 ^{ab}	0.886 ^{cdefghi}	0.635 ^c	84.26 ^{abc}	1.52
USBW80 10 min	131.54 ^e	0.870 ^{defghijk}	0.623 ^{cd}	69.51 ^{def}	1.64
USBW80 20 min	144.51 ^{bcd}	0.915 ^{abc}	0.643 ^{bc}	85.26 ^{abc}	0.99
WUSW70	111.89 ^{hi}	0.866 ^{efghijkl}	0.438 ^{lm}	44.99 ^{ijkl}	1.74
USW70 10 min	85.14 ^{no}	0.843 ^{ijkl}	0.407 ^{no}	27.48 ^{opq}	1.32
USW70 20 min	88.03 ^{mno}	0.861 ^{fghijkl}	0.547 ^{fgh}	58.34 ^{efgh}	1.45
WUSBW70	126.88 ^{ef}	0.860 ^{ghijkl}	0.543 ^{gh}	61.31 ^{efg}	2.00
USBW70 10 min	127.20 ^{ef}	0.864 ^{fghijkl}	0.546 ^{fgh}	53.94 ^{ghij}	1.75
USBW70 20 min	134.94 ^{de}	0.915 ^{abc}	0.646 ^{bc}	57.09 ^{fghi}	1.71
WUSW60	98.90 ^{ijklm}	0.845 ^{ijkl}	0.436 ^{lmn}	36.77 ^{lmno}	3.88
USW60 10 min	65.40 ^{pq}	0.838 ^{kl}	0.386 ^{op}	22.50 ^{pq}	1.38
USW60 20 min	76.53 ^{op}	0.828 ^l	0.492 ⁱ	32.35 ^{mno} p	2.61
WUSBW60	113.92 ^{gh}	0.857 ^{ghijkl}	0.449 ^{kl}	46.68 ^{hijkl}	1.92
USBW60 10 min	106.83 ^{hijk}	0.834 ^{kl}	0.442 ^{lm}	42.66 ^{ijklm}	1.52
USBW60 20 min	110.18 ^{hij}	0.847 ^{ijkl}	0.477 ^{ijk}	45.22 ^{ijkl}	1.73
WUSW50	85.59 ^{no}	0.844 ^{ijkl}	0.423 ^{lmn}	30.16 ^{mno} pq	3.54
USW50 10 min	62.36 ^q	0.833 ^{kl}	0.373 ^{pq}	19.64 ^q	4.13
USW50 20 min	61.34 ^q	0.826 ^l	0.487 ⁱ	25.53 ^{opq}	2.23
WUSBW50	88.60 ^{mno}	0.848 ^{ijkl}	0.382 ^{opq}	29.72 ^{nopq}	2.63
USBW50 10 min	85.70 ^{no}	0.833 ^{kl}	0.349 ^q	26.26 ^{opq}	2.04
USBW50 20 min	87.36 ^{mno}	0.846 ^{ijkl}	0.443 ^g	26.89 ^{opq}	3.29
Sig.	***	***	***	***	-
EPM	3.21	0.010	0.008	1.66	-

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBW:** sem US e com AEB; **USBW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001); ** (P< 0,01); * (P< 0,05); n.s. (P> 0,05).

APÊNDICE B (MATERIAL COMPLEMENTAR - ARTIGO 2)

Tabela 1 – Valores de pH, POR e atividade de água das amostras com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US e adição de BEW nos períodos de 1, 30, 60 e 90 dias.

	TRATAMENTO	DIAS				EPM	Sig
		1	30	60	90		
pH	WUSW 100	6,30 ^{aAB}	6,24 ^{bBC}	6,25 ^{bC}	6,24 ^{bC}	0,01	**
	USW 100	6,27 ^{aC}	6,26 ^{aBC}	6,22 ^{bC}	6,21 ^{bC}	0,01	***
	WUSBEW 100	6,32 ^{aA}	6,33 ^{aA}	6,30 ^{aB}	6,32 ^{aAB}	0,01	n.s.
	USBW 100	6,33 ^{abA}	6,34 ^{aA}	6,32 ^{abAB}	6,30 ^{cB}	0,01	**
	WUSW 70	6,27 ^{aC}	6,23 ^{bC}	6,24 ^{abC}	6,23 ^{bC}	0,01	n.s.
	USW 70	6,29 ^{aBC}	6,27 ^{aBC}	6,22 ^{bC}	6,21 ^{bC}	0,00	***
	WUSBEW 70	6,31 ^{bAB}	6,26 ^{bBC}	6,33 ^{aA}	6,34 ^{aA}	0,01	***
	USBW 70	6,32 ^{bA}	6,32 ^{bA}	6,35 ^{aA}	6,34 ^{aA}	0,01	***
	EPM	0,01	0,01	0,01	0,01		
Sig.	**	*	***	***			
POR (mV)	WUSW 100	108,50 ^{aA}	59,00 ^{bAB}	55,33 ^{bB}	55,33 ^{bB}	2,12	***
	USW 100	95,33 ^{aB}	55,50 ^{cABC}	64,66 ^{bA}	49,16 ^{dC}	2,03	***
	WUSBEW 100	92,33 ^{aBC}	50,83 ^{bCD}	41,83 ^{cCD}	35,33 ^{dD}	1,34	***
	USBW 100	88,33 ^{aCD}	48,00 ^{bDE}	43,83 ^{cC}	31,16 ^{dD}	0,94	***
	WUSW 70	93,16 ^{aBCD}	61,16 ^{bA}	51,00 ^{cB}	60,33 ^{bA}	2,08	***
	USW 70	94,93 ^{aB}	57,50 ^{cAB}	65,66 ^{bA}	64,66 ^{bA}	1,91	***
	WUSBEW 70	84,50 ^{aD}	53,66 ^{bCD}	37,33 ^{cCD}	26,50 ^{dE}	1,87	***
	USBW 70	81,66 ^{aE}	44,16 ^{bE}	35,16 ^{cD}	24,33 ^{dE}	1,69	***
	EPM	1,74	1,80	2,11	1,44		
Sig.	***	***	***	***			
a _w	WUSW 100	0,973 ^{aD}	0,969 ^{bC}	0,965 ^{cB}	0,962 ^{dD}	0,001	***
	USW 100	0,974 ^{aD}	0,967 ^{bCD}	0,965 ^{bB}	0,962 ^{cD}	0,001	***
	WUSBEW 100	0,978 ^{aAB}	0,966 ^{bD}	0,963 ^{cBC}	0,961 ^{cD}	0,001	***
	USBW 100	0,977 ^{aABC}	0,966 ^{bD}	0,962 ^{cC}	0,960 ^{dD}	0,001	***
	WUSW 70	0,980 ^{aA}	0,976 ^{bA}	0,974 ^{bA}	0,973 ^{bA}	0,001	***
	USW 70	0,980 ^{aA}	0,973 ^{bB}	0,972 ^{bA}	0,973 ^{bA}	0,001	***
	WUSBEW 70	0,977 ^{aABC}	0,971 ^{bcB}	0,973 ^{bA}	0,971 ^{cB}	0,001	***
	USBW 70	0,976 ^{aCD}	0,972 ^{bB}	0,973 ^{abA}	0,968 ^{cC}	0,001	***
	EPM	0,001	0,001	0,001	0,001		
Sig.	***	***	**	***			

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001); ** (P< 0,01); * (P< 0,05); n.s. (P> 0,05).

Tabela 2 – Contagem de microrganismos mesófilos e psicrotróficos das amostras com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US e adição de BEW nos períodos de 1, 30, 60 e 90 dias

	TRATAMENTO	DIAS				EPM	Sig
		1	30	60	90		
Bactérias Mêsófilas (log UFC/g)	WUSW 100	1,95 ^{bCD}	2,50 ^{aCD}	2,79 ^{aC}	2,85 ^{aC}	0,14	***
	USW 100	1,84 ^{cD}	2,35 ^{bD}	2,78 ^{aC}	2,81 ^{aC}	0,58	***
	WUSBEW 100	2,06 ^{cBC}	2,67 ^{bABC}	3,33 ^{aA}	3,47 ^{aB}	0,06	***
	USBEW 100	2,00 ^{dCD}	2,53 ^{cBCD}	3,08 ^{bABC}	3,36 ^{aB}	0,06	***
	WUSW 70	2,18 ^{dB}	2,65 ^{cABC}	3,23 ^{bAB}	3,66 ^{aA}	0,07	***
	USW 70	1,95 ^{cCD}	2,51 ^{bBCD}	2,88 ^{aBC}	2,95 ^{aC}	0,05	***
	WUSBEW 70	2,47 ^{cA}	2,75 ^{bA}	3,42 ^{aA}	3,51 ^{aAB}	0,05	***
	USBEW 70	2,24 ^{cB}	2,69 ^{bAB}	3,28 ^{aA}	3,40 ^{aB}	0,06	***
	EPM	0,21	0,05	0,11	0,05		
	Sig.	***	***	***	***		
Bactérias Psicrotróficas (log UFC/g)	WUSW 100	1,34 ^{dA}	2,65 ^{cAB}	3,76 ^{bA}	5,40 ^{aBC}	0,12	***
	USW 100	1,33 ^{dA}	2,39 ^{cB}	3,58 ^{bA}	4,79 ^{aD}	0,08	***
	WUSBEW 100	1,49 ^{dA}	2,82 ^{cA}	3,85 ^{bA}	5,75 ^{aA}	0,06	***
	USBEW 100	1,43 ^{dA}	2,68 ^{cAB}	3,68 ^{bA}	5,26 ^{aC}	0,11	***
	WUSW 70	1,58 ^{dA}	2,85 ^{cA}	3,84 ^{bA}	5,49 ^{aB}	0,07	***
	USW 70	1,52 ^{dA}	2,57 ^{cAB}	3,64 ^{bA}	4,92 ^{aD}	0,10	***
	WUSBEW 70	1,68 ^{dA}	2,85 ^{cA}	3,86 ^{bA}	5,85 ^{aA}	0,08	***
	USBEW 70	1,54 ^{dA}	2,74 ^{cA}	3,76 ^{bA}	5,35 ^{aBC}	0,14	***
	EPM	0,11	0,09	0,09	0,05		
	Sig.	n.s.	*	n.s.	***		

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001); ** (P< 0,01); * (P< 0,05); n.s. (P> 0,05)

Tabela 3 – Valores de oxidação lipídica das amostras com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US e adição de BEW nos períodos de 1, 30, 60 e 90 dias

TRATAMENTOS	DIAS				EPM	Sig	
	1	30	60	90			
Peróxidos (mEq de peróxidos/ kg de lipídios)	WUSW 100	0,397 ^{dB}	0,472 ^{cA}	0,668 ^{bBC}	0,779 ^{aA}	0,004	***
	USW 100	0,419 ^{dA}	0,460 ^{cB}	0,614 ^{bF}	0,742 ^{aE}	0,003	***
	WUSBEW 100	0,361 ^{dC}	0,421 ^{cD}	0,664 ^{bC}	0,773 ^{aAB}	0,002	***
	USBEW 100	0,401 ^{dB}	0,420 ^{cD}	0,625 ^{bE}	0,757 ^{aD}	0,004	***
	WUSW 70	0,345 ^{dD}	0,440 ^{cC}	0,671 ^{bB}	0,770 ^{aBC}	0,003	***
	USW 70	0,314 ^{dE}	0,415 ^{cD}	0,627 ^{bE}	0,751 ^{aDE}	0,003	***
	WUSBEW 70	0,372 ^{dC}	0,447 ^{cC}	0,684 ^{bA}	0,782 ^{aA}	0,006	***
	USBEW 70	0,418 ^{cA}	0,470 ^{bA}	0,635 ^{aD}	0,760 ^{aCD}	0,004	***
EPM	0,004	0,008	0,002	0,003			
Sig.	***	***	***	***			
Dienos Conjugados (mg de lipídios/3mL ciclohexano)	WUSW 100	0,225 ^{dG}	0,301 ^{cD}	0,382 ^{bE}	0,405 ^{aG}	0,002	***
	USW 100	0,266 ^{dE}	0,286 ^{cE}	0,348 ^{bF}	0,407 ^{aFG}	0,001	***
	WUSBEW 100	0,250 ^{dF}	0,374 ^{cA}	0,446 ^{bB}	0,466 ^{aB}	0,001	***
	USBEW 100	0,337 ^{dA}	0,362 ^{cB}	0,425 ^{bC}	0,447 ^{aD}	0,001	***
	WUSW 70	0,285 ^{dC}	0,340 ^{cC}	0,390 ^{bD}	0,423 ^{aE}	0,001	***
	USW 70	0,248 ^{dF}	0,305 ^{cD}	0,340 ^{bG}	0,410 ^{aF}	0,001	***
	WUSBEW 70	0,275 ^{dD}	0,374 ^{cA}	0,455 ^{bA}	0,478 ^{aA}	0,002	***
	USBEW 70	0,342 ^{dB}	0,367 ^{cAB}	0,447 ^{bB}	0,461 ^{aC}	0,001	***
EPM	0,001	0,002	0,001	0,001			
Sig.	***	***	***	***			
Trienos Conjugados (mg de lipídios/3mL ciclohexano)	WUSW 100	0,037 ^{dC}	0,040 ^{cE}	0,060 ^{bDE}	0,074 ^{aBC}	0,001	***
	USW 100	0,035 ^{cD}	0,036 ^{cF}	0,058 ^{bE}	0,065 ^{aE}	0,001	***
	WUSBEW 100	0,025 ^{dF}	0,055 ^{cD}	0,074 ^{bA}	0,076 ^{aAB}	0,001	***
	USBEW 100	0,054 ^{dA}	0,068 ^{cA}	0,071 ^{bBC}	0,073 ^{aC}	0,001	***
	WUSW 70	0,053 ^{dA}	0,057 ^{cCD}	0,068 ^{bC}	0,075 ^{aBC}	0,001	***
	USW 70	0,030 ^{dE}	0,055 ^{cD}	0,062 ^{bD}	0,069 ^{aD}	0,001	***
	WUSBEW 70	0,030 ^{dE}	0,065 ^{cB}	0,072 ^{bAB}	0,078 ^{aA}	0,001	***
	USBEW 70	0,044 ^{cB}	0,058 ^{bC}	0,070 ^{aBC}	0,072 ^{aC}	0,001	***
EPM	0,001	0,001	0,001	0,001			
Sig.	***	***	***	***			
TBARS (mg MDA/kg de amostra)	WUSW 100	0,074 ^{dB}	0,129 ^{cA}	0,259 ^{bA}	0,393 ^{aB}	0,001	***
	USW 100	0,072 ^{dC}	0,116 ^{cC}	0,236 ^{bD}	0,337 ^{aE}	0,001	***
	WUSBEW 100	0,075 ^{dB}	0,120 ^{cB}	0,260 ^{bA}	0,396 ^{aB}	0,001	***
	USBEW 100	0,083 ^{dA}	0,129 ^{cA}	0,241 ^{bCD}	0,345 ^{aD}	0,002	***
	WUSW 70	0,076 ^{dB}	0,113 ^{cDE}	0,242 ^{bC}	0,344 ^{aD}	0,003	***
	USW 70	0,057 ^{dE}	0,108 ^{cE}	0,226 ^{bE}	0,337 ^{aE}	0,002	***
	WUSBEW 70	0,068 ^{dD}	0,125 ^{cAB}	0,262 ^{bA}	0,402 ^{aA}	0,002	***
	USBEW 70	0,074 ^{dB}	0,130 ^{cA}	0,252 ^{bB}	0,355 ^{aC}	0,002	***
EPM	0,001	0,001	0,002	0,002			
Sig.	***	***	***	***			

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001).

Tabela 4 – Valores de oxidação proteica (Tiol), pigmentos totais e nitrosos das amostras com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US e adição de BEW nos períodos de 1, 30, 60 e 90 dias

	TRATAMENTO	DIAS				EPM	Sig
		1	30	60	90		
Tiol (nanomol tiol)	WUSW 100	72,35 ^{aF}	67,21 ^{bC}	63,64 ^{cD}	60,33 ^{dD}	0,17	***
	USW 100	77,76 ^{aA}	73,36 ^{bA}	71,19 ^{cA}	64,60 ^{dA}	0,35	***
	WUSBEW 100	75,72 ^{aC}	68,13 ^{bB}	61,87 ^{cE}	60,55 ^{dD}	0,34	***
	USBEW 100	74,81 ^{aD}	65,12 ^{bE}	65,06 ^{bC}	62,21 ^{cC}	0,16	***
	WUSW 70	73,27 ^{aE}	66,00 ^{bD}	61,13 ^{cE}	58,16 ^{dE}	0,13	***
	USW 70	77,03 ^{aB}	68,47 ^{bB}	67,75 ^{cB}	64,05 ^{dB}	0,14	***
	WUSBEW 70	74,86 ^{aD}	62,50 ^{bF}	57,05 ^{cG}	53,24 ^{dG}	0,18	***
	USBEW 70	73,64 ^{aE}	60,84 ^{bF}	59,02 ^{cF}	56,24 ^{dF}	0,32	***
	EPM	0,21	0,20	0,22	0,15		
	Sig.	***	***	***	***		
Pigmentos nitrosos (ppm)	WUSW 100	66,80 ^{dA}	68,28 ^{cB}	69,41 ^{bBC}	73,16 ^{aC}	0,25	***
	USW 100	64,78 ^{dC}	66,78 ^{cCD}	67,74 ^{bD}	70,29 ^{aF}	0,10	***
	WUSBEW 100	65,47 ^{dB}	67,37 ^{cC}	69,85 ^{bB}	71,75 ^{aE}	0,10	***
	USBEW 100	65,23 ^{cBC}	68,30 ^{bB}	68,90 ^{bC}	70,39 ^{aF}	0,25	***
	WUSW 70	65,12 ^{dBC}	67,02 ^{cCD}	68,90 ^{bC}	73,04 ^{aC}	0,15	***
	USW 70	65,10 ^{dBC}	66,46 ^{cD}	67,52 ^{bD}	72,26 ^{aD}	0,21	***
	WUSBEW 70	66,18 ^{dA}	69,53 ^{cA}	71,23 ^{bA}	77,64 ^{aA}	0,22	***
	USBEW 70	66,32 ^{dA}	70,10 ^{cA}	71,61 ^{bA}	75,66 ^{aB}	0,12	***
	EPM	0,20	0,18	0,22	0,15		
	Sig.	***	***	***	***		
Pigmentos totais (% conversão)	WUSW 100	39,76 ^{dA}	40,52 ^{cD}	42,31 ^{bB}	43,45 ^{aB}	0,18	***
	USW 100	36,96 ^{cCD}	38,80 ^{bEF}	39,54 ^{aE}	39,60 ^{aG}	0,12	***
	WUSBEW 100	37,41 ^{dC}	39,14 ^{cE}	40,18 ^{bD}	41,48 ^{aD}	0,22	***
	USBEW 100	37,13 ^{cCD}	41,56 ^{aC}	41,63 ^{aC}	40,06 ^{bF}	0,19	***
	WUSW 70	37,41 ^{dC}	39,00 ^{cEF}	42,02 ^{bBC}	42,54 ^{aC}	0,14	***
	USW 70	36,67 ^{cD}	38,45 ^{bE}	38,62 ^{bF}	40,62 ^{aE}	0,15	***
	WUSBEW 70	38,16 ^{dB}	43,42 ^{cB}	45,25 ^{bA}	46,13 ^{aA}	0,10	***
	USBEW 70	38,74 ^{cB}	44,34 ^{bA}	44,79 ^{bA}	45,95 ^{aA}	0,23	***
	EPM	0,18	0,17	0,19	0,08		
	Sig.	***	***	***	***		

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001).

Tabela 5 – Valores obtidos na análise de textura instrumental das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl, submetidas ao US e adição de BEW nos períodos de 1, 30, 60 e 90 dias

	TRATAMENTO	DIAS				EPM	Sig.
		1	30	60	90		
Dureza (N)	WUSW 100	121,45 ^{cAB}	131,82 ^{aAB}	132,33 ^{aA}	127,88 ^{bAB}	1,21	***
	USW 100	122,55 ^{cA}	133,05 ^{abA}	135,22 ^{aA}	130,61 ^{bA}	1,22	***
	WUSBEW 100	117,22 ^{cC}	124,90 ^{bC}	132,59 ^{aA}	123,41 ^{bCD}	1,22	***
	USBEW 100	118,32 ^{cC}	126,29 ^{bBC}	131,68 ^{aAB}	126,34 ^{bB}	1,63	***
	WUSW 70	119,37 ^{bABC}	126,26 ^{aBC}	127,25 ^{aBC}	126,02 ^{aBC}	0,88	***
	USW 70	121,49 ^{bAB}	127,71 ^{aABC}	130,55 ^{aABC}	127,74 ^{aB}	1,07	***
	WUSBEW 70	118,65 ^{cBC}	123,57 ^{abC}	125,78 ^{aC}	121,64 ^{bD}	0,87	***
	USBEW 70	117,41 ^{bC}	125,14 ^{aC}	126,45 ^{aC}	118,43 ^{bC}	2,14	*
	EPM	0,93	1,87	1,13	0,82		
	Sig.	***	***	***	***		
Elasticidade (mm)	WUSW 100	0,935 ^{aA}	0,925 ^{aA}	0,926 ^{aA}	0,913 ^{aA}	0,01	n.s.
	USW 100	0,940 ^{aA}	0,919 ^{aA}	0,906 ^{aA}	0,914 ^{aA}	0,01	n.s.
	WUSBEW 100	0,925 ^{aA}	0,918 ^{aA}	0,925 ^{aA}	0,918 ^{aA}	0,01	n.s.
	USBEW 100	0,897 ^{aA}	0,922 ^{aA}	0,932 ^{aA}	0,933 ^{aA}	0,01	n.s.
	WUSW 70	0,936 ^{aA}	0,913 ^{aA}	0,915 ^{aA}	0,926 ^{aA}	0,01	n.s.
	USW 70	0,910 ^{aA}	0,931 ^{aA}	0,921 ^{aA}	0,934 ^{aA}	0,01	n.s.
	WUSBEW 70	0,934 ^{aA}	0,914 ^{aA}	0,927 ^{aA}	0,941 ^{aA}	0,01	n.s.
	USBEW 70	0,912 ^{aA}	0,912 ^{aA}	0,912 ^{aA}	0,933 ^{aA}	0,01	n.s.
	EPM	0,01	0,01	0,01	0,01		
	Sig.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
Coesividade	WUSW 100	0,742 ^{aA}	0,734 ^{aA}	0,735 ^{aA}	0,735 ^{aA}	0,005	n.s.
	USW 100	0,745 ^{abA}	0,749 ^{abA}	0,757 ^{aA}	0,735 ^{bA}	0,005	n.s.
	WUSBEW 100	0,736 ^{aA}	0,735 ^{aA}	0,731 ^{aA}	0,726 ^{aA}	0,008	n.s.
	USBEW 100	0,749 ^{aA}	0,742 ^{aA}	0,736 ^{aA}	0,735 ^{aA}	0,008	n.s.
	WUSW 70	0,702 ^{bB}	0,750 ^{aA}	0,746 ^{aA}	0,724 ^{bA}	0,007	**
	USW 70	0,711 ^{cB}	0,738 ^{abA}	0,740 ^{aA}	0,724 ^{bcA}	0,005	***
	WUSBEW 70	0,713 ^{bB}	0,743 ^{aA}	0,750 ^{aA}	0,719 ^{bA}	0,07	**
	USBEW 70	0,710 ^{bB}	0,750 ^{aA}	0,747 ^{aA}	0,726 ^{bA}	0,008	**
	EPM	0,004	0,005	0,008	0,006		
	Sig.	*	n.s.	n.s.	n.s.		
Mastigabilidade (N)	WUSW 100	85,39 ^{cAB}	98,03 ^{aA}	95,27 ^{abA}	92,19 ^{bA}	1,08	***
	USW 100	86,37 ^{cAB}	99,26 ^{aA}	96,00 ^{abA}	93,72 ^{bA}	1,33	***
	WUSBEW 100	84,56 ^{bABC}	93,34 ^{abC}	86,33 ^{bBC}	85,01 ^{bCD}	2,60	**
	USBEW 100	85,79 ^{abAB}	96,16 ^{aAB}	88,90 ^{bB}	87,65 ^{bBC}	1,21	***
	WUSW 70	81,07 ^{bBC}	92,56 ^{aBCD}	93,63 ^{aA}	90,62 ^{aAB}	1,18	***
	USW 70	84,55 ^{bABC}	93,60 ^{abC}	94,58 ^{aA}	92,03 ^{aA}	1,46	***
	WUSBEW 70	80,08 ^{cC}	89,38 ^{aD}	84,33 ^{bC}	83,14 ^{bD}	0,92	***
	USBEW 70	81,59 ^{bABC}	92,11 ^{aCD}	86,09 ^{bC}	85,14 ^{bCD}	1,54	***
	EPM	1,48	1,13	1,36	1,20		
	Sig.	**	***	***	***		

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30, 60 e 90).

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001); ** (P< 0,01); * (P< 0,05); n.s. (P> 0,05).

APÊNDICE C – COMPOSTOS VOLÁTEIS (HEXANAL) APRESENTADOS EM TABELA

Tabela 1 – Compostos voláteis (áreas médias x10⁶) das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e adição de AEB e US

Análise	Tratamentos	DIAS			EPM	Sig.
		1	30	60		
Hexanal	WUSW100	52,78 ^{bCD}	115,24 ^{aA}	134,83 ^{aC}	11,71	*
	USW100	64,40 ^{aC}	76,58 ^{aC}	95,18 ^{aC}	13,51	n.s
	WUSBEW100	35,62 ^{cCD}	85,60 ^{bBC}	117,14 ^{aC}	9,06	***
	USBEW100	25,67 ^{cD}	87,37 ^{bBC}	173,26 ^{aB}	13,45	***
	WUSW70	70,96 ^{bC}	90,19 ^{abBC}	109,57 ^{aC}	11,18	*
	USW 70	59,05 ^{cCD}	80,48 ^{bC}	107,33 ^{aC}	3,05	***
	WUSBEW 70	177,88 ^{bA}	123,80 ^{bAB}	261,79 ^{aA}	18,02	***
	USBEW 70	126,71 ^{bB}	67,62 ^{cC}	238,93 ^{aA}	9,74	***
	EPM	10,67	11,92	13,05		
	Sig.	***	**	***		

A-E As letras minúsculas/maiúsculas diferentes nas linhas/colunas indicam diferença estatística dentro do mesmo experimento pelo teste de Tukey, sendo que: linhas – diferenças do mesmo tratamento em relação aos dias; e colunas – diferença entre todos os tratamentos em relação ao dia (1, 30 e 60).

Para a avaliação do pentanal, não houve análise estatística do tratamento x dias devido a ausência de um terceiro ponto comparativo.

WUSW: sem US e com H₂O; **USW:** com US e H₂O; **WUSBEW:** sem US e com AEB; **USBEW:** com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. Sig.: significância: *** (P<0,001); ** (P< 0,01); * (P< 0,05); n.s. (P> 0,05).

APÊNDICE D – RESULTADOS DA ANÁLISE SENSORIAL (ACEITABILIDADE E INTENÇÃO DE COMPRA) APRESENTADOS EM TABELA

Tabela 1 – Valores de aceitabilidade (considerando escala hedônica de 7 pontos) e intenção de compra das mortadelas com diferentes concentrações de NaCl e aplicação de AEB e US

	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Intenção de compra
WUSW100	5,23 ^a	5,24 ^a	5,54 ^a	5,36 ^a	3,85 ^a
USW100	5,14 ^a	5,01 ^{ab}	5,42 ^a	5,34 ^a	3,57 ^a
WUSBW100	4,86 ^a	4,65 ^b	5,16 ^a	5,20 ^a	3,50 ^a
USBW100	5,04 ^a	4,77 ^{ab}	5,28 ^a	5,23 ^a	3,55 ^a
WUSW70	5,10 ^a	4,96 ^{ab}	5,35 ^a	5,32 ^a	3,57 ^a
USW 70	5,10 ^a	4,81 ^{ab}	5,29 ^a	5,25 ^a	3,56 ^a
WUSBW 70	4,78 ^a	5,06 ^a	5,10 ^a	5,19 ^a	3,46 ^a
USBW 70	4,74 ^a	5,04 ^a	5,04 ^a	5,10 ^a	3,44 ^a
EPM	0,13	0,13	0,13	0,11	0,01
Sig.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.

^{A-E} Letras diferentes em uma mesma linha indicam diferença estatística pelo teste de Tukey.

SUSW: sem US e com H₂O; **USW**: com US e H₂O; **SUSBW**: sem US e com AEB; **USBW**: com US e com AEB.

EPM – Erro padrão da média. **Sig.:** * (P < 0,05); n.s. (P > 0,05).