

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

Marianna Stefanello Silva

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM EMULSÕES CÁRNEAS

Santa Maria, RS
2017

Marianna Stefanello Silva

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM EMULSÕES CÁRNEAS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos**.

Orientador: Alexandre José Cichoski
Co-orientador: Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Marianna Stefanello
APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM EMULSÕES CÁRNEAS / Marianna Stefanello Silva.- 2017.
92 p.; 30 cm

Orientador: Alexandre José Cichoski
Coorientador: Paulo Cezar Bastianello Campagnol
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2017

1. Ultrassom 2. Emulsões cárneas 3. Rendimento I. Cichoski, Alexandre José II. Campagnol, Paulo Cezar Bastianello III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Marianna Stefanello Silva. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Tuiuti, n. 744, ap. 203 C, Bairro Nossa Senhora de Fátima, Santa Maria, RS. CEP: 97015-660; Fone (0xx)55 9 99099159, e-mail: stefanello.marianna@gmail.com

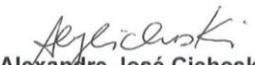
Marianna Stefanello Silva

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM EMULÕES CÁRNEAS

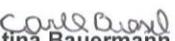
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos**.

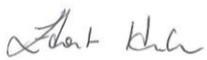
Aprovado em 30 de junho de 2017:

COMISSÃO EXAMINADORA:


Alexandre José Cichoski, Dr.
(Presidente/Orientador)


Paulo Cezar Bastianello Campagnol, Dr.
(Co-orientador)


Carla Cristina Bauermann Brasil, Dra. (UFSM)


Eduardo Huber, Dr. (IF – Concórdia/SC)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial meus pais Marta e Ricardo pelo apoio e principalmente pela compreensão nas horas difíceis. Ao meu cão Nino (in memoriam), pelas horas boas e ruins. Dedico também à minha avó Metilde e a meu avô, Florentino Stefanello (in memoriam). Dedico também ao Marcelo pela paciência, compreensão e principalmente seu companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Aos ensinamentos budistas adquiridos ao longo desta caminhada; a lei mística do Nam-myoho-rengue-kyo de Nichiren Dishonin, o Buda dos últimos dias da Lei, a felicidade interna, e o apoio nos momentos infortúnios.

À Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar as instalações, equipamentos e o espaço como um todo;

À Pós-graduação do curso Ciências e Tecnologia dos Alimentos, entre eles professores e técnicos administrativos;

Ao orientador, Alexandre José Cichoski, pelas horas dedicadas a este trabalho e principalmente aos conhecimentos transferidos;

Ao co-orientador, professor Paulo Campagnol, pelas horas dedicadas a este trabalho e contribuições valiosas;

Ao professor Juliano Smanioto Barin, e suas alunas, pela disponibilidade de empréstimo de materiais para a realização de experimentos e trocas de conhecimento em suas aulas;

Ao professor Roger Wagner e seus alunos, em especial, Jossiê Donadel, pelo auxílio em algumas análises;

Ao professor Eduardo Jacob Lopes e suas alunas, em especial, Karem Vieira; Pricila Pinheiro e Andriéli Borges, pelo auxílio em algumas análises e utilização do laboratório;

Ao professor Cristiano Raganin Menezes, e suas alunas, pelo auxílio em algumas análises e utilização do laboratório;

Ao professor Renius Mello, disponibilidade de empréstimo de materiais para a realização de experimentos;

Ao CNPq, FAPERGS e CAPES pelo apoio financeiro;

Aos membros da banca, pela disponibilidade e futuras contribuições;

Aos demais colegas de NTA, entre eles, Flávia Dalla Nora pelas caronas em busca do suíno, Keiti e Mônica e aos demais colegas e amigos do NTA;

À colega de laboratório Jéssica Soares da Silva, pelo coleguismo, ajuda e principalmente por ter feito o projeto de nossas dissertações;

À professora Tatiana Emanuelli, pela ajuda e principalmente pelo apoio e compreensão nas horas difíceis;

Aos meus pais, pelo carinho, apoio, compreensão, “puxões de orelha” e principalmente, por proporcionar estudo para o meu crescimento acadêmico;

À vó Metilde, pelos abraços fortes, e pela compreensão; ao meu avô Florentino Stefanello (*in memoriam*), tua “purgante”.

Em memória do Nino, “suas esperas” na janela da casa da mãe;

Ao Marcelo e sua família, pelo “ombro amigo”, carinho, e principalmente pela compreensão, companheirismo nos momentos mais difíceis (caronas para os médicos, culpa do dedo, querendo digitar para mim este trabalho), pelas palavras que acalmavam e pelo apoio para a finalização deste trabalho;

À amiga que cativo tanto, que fui sua estagiária na realização no trabalho de seu doutorado, Lari Alves, pelo carinho e principalmente, por sempre dizer-me” não desista, capacidade tu tens!

À minha amiga e colega de laboratório, Bruna Tischer, nas dúvidas com gráficos, tabelas... Principalmente pela amizade e por me deixar cuidar dos “Zézus”;

À amiga, colega de laboratório, Alessandra Stangherlin, pelas caronas em busca do suíno, pelos longos dias me ajudando na realização deste trabalho;

À amiga de longa data Débora do Prado, por mais que a distância nos separe, sempre torceu pelas minhas conquistas;

Aos amigos budistas que seguem a sabedoria de Nichiren Daishonin, que me ensinaram o caminho para a felicidade, sabedoria, amor a vida e ao próximo; em especial à Neusa e a Daiana, obrigada!

Enfim, a todos que fizeram e fazem parte diretamente ou indiretamente para a concretização de um sonho, o meu profundo agradecimento!

“Se você acender uma luz para alguém, também iluminará o seu caminho”.

(Nichiren Daishonin, 1278)

RESUMO

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM EMULSÕES CÁRNEAS

AUTOR: Marianna Stefanello Silva

ORIENTADOR: Alexandre José Cichoski

CO-ORIENTADOR: Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Emulsões cárneas são sistemas complexos que geram produtos cárneos como mortadelas, salsichas, entre outros. A aplicação de ultrassom (US) possibilita melhorias em processos tradicionais empregados em alimentos. Neste estudo foram avaliados diferentes modos operacionais (normal, degas e *sweep*) de US a 25 kHz, com 60 % de amplitude por 6 minutos, em carne suína (subsequente elaboração de emulsão) e em emulsão pronta (experimento 1). Após encontrar o melhor modo operacional, diferentes tempos (0,6,9 e 12 minutos) foram utilizados para a aplicação de US em carne suína e em emulsão pronta (experimento 2), onde foram analisadas quanto ao pH, potencial de oxi-redução (mV), rendimento, estabilidade, perfil de textura, processos oxidativos e monitoramento da temperatura de aplicação de US em ambos os experimentos. No experimento 1 o modo de operação normal, aplicando US na carne, não obteve um efeito positivo em relação ao rendimento, já em emulsões tratadas com US no final, promoveu maior rendimento e estabilidade, além de modificar os parâmetros de textura comparados com o controle. As melhorias proporcionadas pelo US quanto à qualidade tecnológica, foram observadas no modo normal e desta forma, a segunda etapa foi projetada. Com 9 minutos de sonicação na carne, o US favoreceu no rendimento e estabilidade. Já em emulsões finalizadas, o US (tempo de 12 minutos) demonstrou auxiliar na melhoria dos parâmetros tecnológicos. Para o experimento com aplicação de US (25 kHz, 60 % de amplitude) com diferentes modos (degas, normal e *sweep*) em todo o processo de fabrico de emulsões cárneas, mais sonicação de 6 minutos na emulsão finalizada, foram analisadas as características físico-químicas (umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, pH e mV), propriedades tecnológicas (rendimento e estabilidade), textura instrumental (dureza, coesividade e mastigabilidade), oxidações lipídicas (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) e proteicas (carbonil e tiol). O rendimento, no modo normal se destacou. Para a avaliação da textura instrumental, o modo *sweep* obteve os melhores resultados. Os valores de TBARS não aumentaram nos diferentes modos de US. Valores baixos de carbonil foram encontrados no modo normal, porém, os do tiol neste modo diminuíram indicando oxidação. O US não promoveu aumento de temperatura capaz de desestabilizar as emulsões em ambos os experimentos, possibilitando seu uso. O emprego do US na elaboração de emulsões cárneas, demonstrou que esta tecnologia pode ser empregada, e proporciona redução do tempo de preparo e aumento de rendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Ultrassom, emulsões cárneas, rendimento.

ABSTRACT

ULTRASOUND APPLICATION IN MEAT EMULSIONS

AUTHOR: Marianna Stefanello Silva

ADVISOR: Alexandre José Cichoski

CO-ADVISOR: Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Meat emulsions are complex systems that generate meat products like mortadellas, sausages, among others. Ultrasound (US) application enables improvements in traditional food processes. In this study, different operational modes (normal, degas and sweep) of US at 25 kHz, with 60% amplitude for 6 minutes, in pork (subsequent emulsion elaboration) and in ready emulsion (experiment 1) were evaluated. After finding the best operating mode, different times (0,6,9 and 12 minutes) were used for the application of pork and ready-to-use emulsion (experiment 2), where they were analyzed for pH, oxy-reduction potential (mV), yield, stability, texture profile, oxidative processes and temperature monitoring of US application in both experiments. In the experiment 1 the normal mode of operation, applying US in the meat, did not have a positive effect on the yield, already in emulsions treated with US at the end, promoted greater yield and stability, besides modifying the texture parameters compared to the control. The improvements provided by the US regarding technological quality were observed in the normal mode and in this way, the second stage was designed. With 9 minutes of sonication in the meat, the US favored yield and stability. In finished emulsions, the US (time of 12 minutes) was shown to help improve the technological parameters. For the experiment with the application of US (25 kHz, 60% amplitude) with different modes (degas, normal and sweep) in the entire process of manufacturing meaty emulsions, plus sonication of 6 minutes in the finished emulsion, the characteristics physical properties (moisture, ash, proteins, lipids, pH and mV), technological properties (yield and stability), instrumental texture (hardness, cohesiveness and chewability), lipid oxidations (thiobarbituric acid reactive substances). The performance, the normal mode stood out. For the evaluation of the instrumental texture, the sweep mode obtained better results. The TBARS values did not increase in the different US modes. Low carbonyl values were found in the normal mode, however, those of the thiol in this mode decreased indicating oxidation. The US did not promote a temperature increase capable of destabilizing the emulsions in both experiments, thus allowing its use. The use of the US in the preparation of meat emulsions has demonstrated that this technology can be employed which provides reduced preparation time and increased yield.

KEY-WORDS: Ultrasound, meat emulsions, yield.

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1-Definições físicas e sensoriais de parâmetros de textura da avaliação objetiva obtidas num teste de TPA.....	34
---	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura na carne submetidas durante 6 minutos a diferentes modos operacionais (degas, normal e sweep).....	51
Tabela 2- Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura de emulsões prontas durante 6 minutos a diferentes modos de operacionais (degas, normal e sweep).....	53
Tabela 3-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura na carne submetida em diferentes tempos (0, 6, 9 e 12 minutos) no modo normal.....	56
Tabela 4-Tabela 4-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura em emulsões prontas submetidas por diferentes tempos (0, 6, 9 e 12 minutos) no modo normal.....	57
Tabela 5-Características físico-químicas, de emulsões cárneas já finalizadas finalizada sob influência da aplicação de diferentes modos de ultrassom por 6 minutos....	58

CAPÍTULO 2

Tabela 2-Propriedades tecnológicas, oxidação lipídica e proteica de emulsões cárneas elaboradas durante todo o processo de aplicação de ultrassom sob influência dos diferentes modos.....	76
--	----

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1-Espectro de uma onda mecânica acústica.	19
Figura 2-Representação do colapso das bolhas de cavitação	20
Figura 3- Banho ultrassônico, marca Elma® (modelo: TI-10 MF2) e sonda ultrassônica Athena Technology® (modelo: AT 250P).	22
Figura 4-Funcionamento de um transdutor piezoelétrico. A- elemento piezoelétrico. B- onda sonora. C- corrente elétrica. D- direção da corrente elétrica.	23
Figura 5- Modos de operação disponíveis em aparelhos ultrassônicos. Figura A- modo normal; Figura B- modo Sieve cleaning (dois modos simultâneos-sweep e o pulsar); Figura C- modo degas; Figura D- modo sweep.	24
Figura 6- Tipos de compressão aplicada em alimentos. (A) Sistema de compressão uniaxial; (B) Sistema de compressão- Extrusão, aplicado em uma amostra presa em uma unidade teste. (C) Sistema de penetração.	33

CAPÍTULO 1

Figura 1-Sentido da mensuração dos diferentes pontos de temperaturas. As leituras foram direcionadas do ponto 1 ao ponto 2. (Simbologia: Triângulo voltado para baixo ▼: ponto de menor temperatura; Triângulo voltado para cima ▲: ponto de maior temperatura).	47
---	----

CAPÍTULO 2

Figura 7-Equipamento mixer. (A) Todo o equipamento. (1A) Medida do motor (18 cm); (2A) Medida da haste com as navalhas (19,2 cm); (3A) Botões de comando. (B) Vista de cima da haste com as navalhas (diâmetro das navalhas 5 cm).	67
Figura 8-Elaboração das emulsões com uso do mixer; (1) ultrassom; (2) béquer submerso na cuba ultrassônica; (3) mixer utilizado no processo de trituração das amostras.	67
Figura 9-Posição da câmera termográfica na realização das fotos para cada tratamento. (A) Banho ultrassônico; (B) Posição da câmera termográfica no US; (C) Unidade de recebimento de sinal.	72
Figura 10-Demonstração de como foram mensurados os diferentes pontos de temperaturas. Figura A- fotografia da emulsão preparada no multiprocessador. Figura B-fotografia da emulsão pronta no banho de US. As leituras foram direcionadas do ponto 1 ao ponto 2. (Simbologia: Triângulo voltado para baixo ▼: ponto de menor temperatura; Triângulo voltado para cima ▲: ponto de maior temperatura).	73
Figura 11- Variação da temperatura nos diferentes modos de operação do ultrassom, quando aplicado durante 5,5 minutos na elaboração das emulsões. T1- controle; T2- modo degas; T3- modo normal e T4- modo sweep.	75

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	percentual
Ø	diâmetro
©	copyright
®	marca registrada
~	em média
(NH ₄) ₂ SO ₄	sulfato de amônia
µL	microlitros
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ATP	adenosina trifosfato
B0	<i>batter</i> - controle
B6	<i>batter</i> seis minutos
B9	<i>batter</i> nove minutos
B12	<i>batter</i> doze minutos
BHT	hidroxitolueno
cm	centímetros
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CRA	Capacidade de Retenção de Água
C0	carne controle
C6	carne seis minutos
C9	carne nove minutos
C12	carne doze minutos
DNPH	Dinitrofenilhidrazina
DTCA	Departamento de Tecnologia e Ciência do Alimentos (UFSM)
DTNB	5'5- dithiobis-(2-ácido nitrobenzóico)
E1	experimento 1
E2	experimento 2
E3	experimento 3
E4	experimento 4
EUA	Estados Unidos da América
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
g	gramas
h	horas
HCl	ácido clorídrico
IR	termografia infravermelha
kHz	quilohertz
M	molar
MDA	malonaldeído
MHz	megahertz
mL	mililitros
min	minutos
mm	milímetros
mV	milivolts
NaCl	cloreto de sódio
N	newton
N	normal
NH ₃	amônia
n.s	não significativo

NY	New York
O/W	óleo e água
O ₂	oxigênio
pH	potencial hidrogeniônico
pI	ponto isoelétrico
PM	proteína miofibrilar
POR	potencial de oxi-redução
PSE	pale, soft, exudative
RL	radical livre
rpm	rotações por minuto
Seg.	segundos
SDS	dodecil sulfato de sódio
SEM	erro padrão da média
T1	tratamento controle
T2	tratamento modo degas
T3	tratamento modo normal
T4	tratamento modo sweep
TBA	ácido tiobarbitúrico
TBARS	substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
TCA	ácido tricloroacético
TEP	tetraetóxiopropano
TI	imagem térmica
T°C	temperatura em graus célsius
TPA	perfil de textura
TRIS	hidroximetil aminometano
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
US	ultrassom
UV	radiação ultravioleta
W	watts.
µm	micrômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ULTRASSOM	19
2.2 ULTRASSOM NA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES	24
2.3 EMULSÕES CÁRNEAS	27
2.4 ULTRASSOM EM EMULSÕES	28
2.5 TERMOGRAFIA.....	31
2.6 PERFIL DE TEXTURA (TPA)	32
3. CAPÍTULO 1 - APLICAÇÃO DE DIFERENTES MODOS OPERACIONAIS DE ONDAS ULTRASSÔNICAS EM EMULSÕES CÁRNEAS	36
3.1 RESUMO.....	37
3.2 ABSTRACT.....	38
3.3 INTRODUÇÃO	39
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.4.1 Avaliação da qualidade tecnológica das emulsões	42
3.4.2 Avaliação das características físico-químicas e oxidações lipídicas e proteicas.....	44
3.4.3 Análise termográfica	46
3.4.4 Análise estatística.....	47
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
3.6 CONCLUSÃO	59
3.7 REFERÊNCIAS.....	60
4. CAPÍTULO 2 - EFEITO DO ULTRASSOM NOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS E OXIDATIVOS EM EMULSÕES CÁRNEAS	66
4.1 MATERIAL E MÉTODOS	66
4.1.1 Obtenção da matéria-prima, e elaboração da emulsão cárnea	66
4.1.2 Aplicação de diferentes modos de US durante a elaboração da emulsão cárnea	66
4.1.3 Avaliação da qualidade tecnológica das emulsões	68
4.1.3.1 pH e mV	68
4.1.3.2 Rendimento no cozimento	68
4.1.3.3 Estabilidade da emulsão (exsudação de gordura e água).....	68
4.1.3.4 Oxidação lipídica por TBARS.....	68
4.1.3.5 Oxidação de proteínas por Carbonil e Tiol.....	69
4.1.3.6 Determinação de gordura por Blich Dyer.....	70
4.1.3.7 Determinação de cinzas.....	70
4.1.3.8 Determinação de proteína bruta por Micro-Kjedahl	71
4.1.3.9 Determinação de umidade	71
4.1.4 Análise termográfica	72
4.1.5 Análise estatística.....	73
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5. CONCLUSÕES GERAIS	77
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	78

1. INTRODUÇÃO

Com uma demanda crescente por alimentos de fácil preparo, as indústrias necessitam de estudos tecnológicos cada vez mais avançados e viáveis para proporcionar aos seus consumidores produtos seguros e de qualidade.

As tecnologias emergentes resultam de inovações na área da ciência e desafiam as técnicas convencionais, focando na qualidade, eficiência energética, baixo impacto ambiental, *shelf-life*, além do perfil sensorial e nutricional dos alimentos (FALGUERA et al. 2011; GAYÁN, CONDON, ALVAREZ, 2014). Afim de melhorar a qualidade dos alimentos, as tecnologias baseadas em novos princípios ou mecanismos como as técnicas de ultrassom (US) e análises termográficas, são capazes de auxiliar no melhoramento das características reológicas e físico-químicas dos alimentos (DOLATOWSKI, STANDINIK, STASIAK, 2007; VIDIVAMBAL & JAYAS, 2011).

O ultrassom é considerado um método rápido, confiável e simples, como aplicação alternativa ao melhoramento e eficiência de vários processos químicos, físicos ou biotecnológicos (AWAD et al. 2012; SZABÓ & CSISZÁR, 2013), onde sua atividade está diretamente interligada com o fenômeno de cativação. A cavitação de alta intensidade oriunda do processo de sonicação, resulta em melhoras significativas na ruptura de tecidos conjuntivos em carnes, além de extração de proteínas presentes no meio, ocasionando maciez no corte (CHANG et al. 2012; CHANDRAPALA et al. 2012a; JAYASOORIYA et al., 2004).

Na linha de estudos com emulsão, a maioria dos trabalhos apresenta a utilização de US sobre produtos à base de vegetais, existindo poucas referências na utilização em emulsões à base de produtos cárneos.

Pesquisas com o uso de US de 20 kHz em estruturas proteicas como isolado de soja, afetou estruturalmente as composições α - hélice e β - folha das proteínas, desdobrando-as parcialmente e elevando a solubilidade ao meio, além de aumentar a quantidade de grupamento sulfidrilas (HU et al, 2013a).

Estudos com sonicação a 24 kHz, em suspensão de amido de milho nos tempos de 15 e 30 minutos em banho foram realizados. As temperaturas de gelificação das amostras tratadas com US, ficaram abaixo das amostras não sonicadas, requerendo menor energia para gelificar, assim, utilizando temperaturas mais baixas, e modificando as ligações entre os cristais de amilopectina existentes nas moléculas de amido (JAMBRAK et al.

2010). Já em proteínas de soro de leite, a frequência de 20 kHz aumentou a desnaturação das proteínas, desestabilizou as estruturas α -hélice, e não apresentou alteração da quantidade de grupamentos sulfidrilas (CHANDRAPALA et al. 2012b).

Os diferentes modos de aplicação das ondas ultrassônicas são pouco relatados em pesquisas científicas. Estudar os diferentes tipos de distribuição das ondas dentro de um banho ultrassônico pode trazer resultados até agora desconhecidos. Modificações nas condições sonoquímicas (tipo de aparelho, amplitude, intensidade, tempo de exposição, frequência, entre outros) podem afetar diretamente a qualidade e composição dos alimentos (MARCHESINI et al. 2015), desta maneira, alternar os modos operacionais do aparelho ultrassônico, poderão se esclarecer algumas questões relacionadas aos mecanismos de atuação.

Considerando possíveis consequências do aquecimento na aplicação da tecnologia ultrassônica em alimentos, a modificação da maciez (Jayassoriya et al. 2007), além da alteração na capacidade de retenção de água (CRA) em carnes (DOLATOWSKI et al. 2007), mostram efeitos positivos na melhoria das características do produto. Já a formação de radicais livres, além da desnaturação proteica, que desestabilizam ligações entre as proteínas, geram efeitos negativos nos atributos presentes nos alimentos (CHANDRAPALA et al. 2012a).

O ultrassom pode afetar a oxidação lipídica, através da formação de radicais livres e outras espécies reativas durante sua aplicação, reagindo com compostos presentes no alimento altamente oxidável (KENTISH & ASHOKKUMAR, 2011). Com uma frequência de 20 kHz, Kang, e seus colaboradores (2016), relataram um aumento nas substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em carne bovina durante o processo de salga com concentração de sal a 6%, além de constatarem uma diminuição nos grupamentos sulfidrilas, os quais contribuem para a oxidação proteica.

Vias oxidativas e funcionais de proteínas e lipídios são comumente averiguados após e/ou ao longo do tempo da ação do US. Em extratos proteicos bovinos e de albumina bovina sérica, a aplicação de US de baixa frequência (20 kHz, com amplitude de 95% por 2 minutos), diminuiu o tamanho das partículas do meio, favorecendo a solubilidade destas proteínas e melhorando a estabilidade de emulsões (O'SULLIVAN, et al. 2016a). Utilizando também extratos de albumina sérica, os autores Gülseren et al. (2007), com US a 25 kHz por 90 minutos, encontraram redução nos grupamentos tióis livres, apontando que a sonicação pode interferir na estabilidade oxidativa em proteínas,

uma vez que radicais gerados durante a aplicação podem atuar como pró-oxidante ou antioxidantes.

Novas tecnologias robustas e emergentes podem desempenhar um importante papel na garantia das demandas dos consumidores, satisfazendo novas necessidades cada vez mais requisitadas. A este respeito, as indústrias processadoras de carne estão constantemente à procura de novas alternativas não invasivas para a avaliação da qualidade de seus produtos, na tentativa de aumentar a produtividade, vida de prateleira e a rentabilidade (TROY et al. 2016).

O uso de ultrassom em proteínas oriundas de tecidos musculares (actina e miosina), vem mostrando seu provável beneficiamento na qualidade, com redução do tempo de fabricação, aumento de rendimento e vida de prateleira, além da otimização de produtos à base destas proteínas.

O objetivo geral deste estudo foi aplicar US na carne (utilizada posteriormente para elaborar uma emulsão), e em emulsões cárneas prontas, submetendo-as a diferentes tempos e modos operacionais (normal, degas e *sweep*), acompanhando a variação de temperatura e a qualidade tecnológica e físico-química logo após o processo de sonicação.

Os objetivos específicos foram:

- Investigar a aplicação de US por 6 minutos em diferentes modos operacionais (normal, degas e *sweep*) na carne (utilizada posteriormente para elaborar uma emulsão) e em emulsão pronta, observando o melhor modo, as características físico-químicas, textura instrumental, evolução das oxidações lipídicas e proteicas e o aumento na qualidade tecnológica das emulsões;
- Encontrar o melhor tempo de sonicação (0, 6, 9 e 12 minutos) na carne (utilizada posteriormente para elaborar uma emulsão) e em emulsão pronta, aplicando o melhor modo operacional encontrado, e assim, observar seus parâmetros físico-químicos, propriedades tecnológicas, textura instrumental e suas possíveis oxidações lipídicas e proteicas.
- Avaliar o melhor modo operacional de sonicação no tempo de 6 minutos em emulsões submetidas ao US durante todo o seu processo de elaboração, encontrando a melhor maneira de elevar a qualidade tecnológica, observar as características físico-químicas e acompanhar a evolução nos processos oxidativos lipídicos e proteicos durante a aplicação de ultrassom.

- Acompanhar a variação de temperatura durante a aplicação do US através de câmera infravermelha.

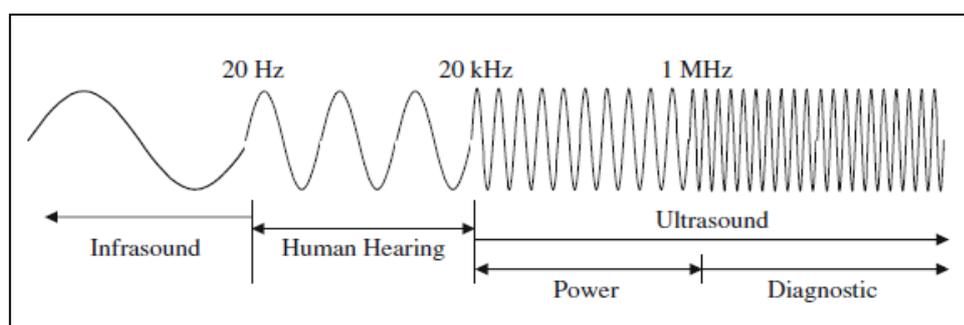
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ULTRASSOM

O ultrassom são ondas sonoras longitudinais que apresentam frequências excedentes aos limites audíveis para o ser humano (~ 20 kHz), propagando-se pelo meio e carregando energia produzida por colisão entre moléculas, oriundas do meio reacional e produzindo calor (AWAD et al. 2012; KNORR et al. 2004).

Necessitando um meio para se propagar, a energia ultrassônica é considerada uma onda mecânica acústica (Figura1) de alta frequência e baixa intensidade (100 kHz-1 MHz, a potência de 1 W cm^{-2}) ou de alta intensidade de baixa frequência (16-100 kHz, poder $10\text{-}1000 \text{ W cm}^{-2}$). Em consequência do tipo de intensidade, a cavitação é a principal responsável pelos estímulos ultrassônicos promovendo alternância de ondas de compressão e rarefação produzindo bolhas no meio e se propagando. Alguns critérios como a frequência, modo de operação, tempo, amplitude e cavitação são levados em consideração na utilização desta tecnologia em prol de maior qualidade e produtividade em alimentos (CÁRCEL et al. 2012; CHANDRAPALA et al. 2012a; CHEMAT, HUMA & KHAN, 2011; KNORR et al. 2011; PIYASENA, MOHAREB & MCKELLAR, 2003; SORIA & VILLAMIEL, 2010).

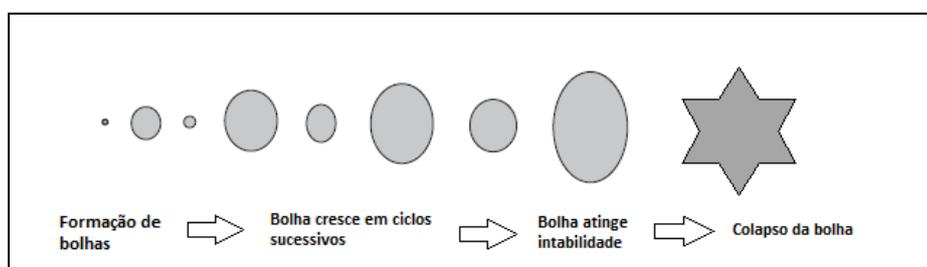
Figura 1-Espectro de uma onda mecânica acústica.



Fonte: Adaptado de Kentish & Ashokkumar (2011).

A propagação de ultrassom pode ser ilustrada através de qualquer substância sólida, líquida ou gasosa, possuindo propriedades elásticas. Quando o ultrassom é acionado, transdutores situados normalmente na base dos tanques ultrassônicos convertem energia elétrica em energia mecânica. Estes transdutores possuem a capacidade de movimentar as moléculas do meio, chamado de cavitação, que se origina quando a onda ultrassônica atravessa um meio líquido, provocando alternância de compressão e rarefação, ou seja, pressão positiva e pressão negativa respectivamente, produzindo bolhas no meio líquido. Enquanto ocorre o ciclo de expansão, a difusão de gases para o interior da bolha acontece simultaneamente, provocando sua expansão. Durante a etapa de compressão estes gases ou vapores não retornam completamente ao líquido, resultando num aumento efetivo da cavidade. Ciclos periódicos de compressão e expansão causam aumento do tamanho da cavidade. A cavidade ao atingir um tamanho crítico implode-se, liberando grande quantidade de calor e pressão num curto período de tempo e em pontos localizados do líquido. Uma vez que a cavitação é estável, a oscilação compressão/rarefação é regular e as bolhas induzem à microagitação no líquido sem implodir. No caso de cavitação instável ou transiente, essas bolhas oscilam entre os estados de compressão/rarefação até ocorrer a sua implosão, aumentando a pressão, temperatura e produção de microjatos que apresentam energia suficiente para modificar células e desnaturar enzimas. As etapas deste processo estão ilustradas na Figura 2 (ASHOKKUMAR, 2011; CÁRCEL et al. 2012; CASTRO & CAPOTE, 2007a; CHEMAT, HUMA & KHAN, 2011; MASON & LORIMER, 2003).

Figura 2-Representação do colapso das bolhas de cavitação



Fonte: Adaptado de Castro & Capote (2007a).

A cavitação pode ser afetada por alguns fatores importantes, tais como: a remoção de partículas gasosas no meio líquido que irá reduzir os núcleos disponíveis e será cada vez mais difícil cavitatar; a pressão externa que aumenta a intensidade de colapsos de cavitação, aumentando assim os efeitos do US. Em temperaturas baixas (perto do ponto de fusão de um solvente, por exemplo), a cavitação torna-se ideal, porém, se a temperatura for elevada (perto do ponto de ebulição de um solvente, por exemplo), reduz a intensidade de produção de cavitação; dependendo da escolha de uma frequência, pode haver modificações em propriedades físicas e favorecer reações químicas. Em outras palavras, é necessário mais potência e uma frequência mais elevada (acima de 20 kHz); a intensidade da sonicação está diretamente ligada a amplitude da sonicação, quando se eleva a intensidade, aumenta-se o efeito da energia ultrassônica. Porém, se aumentar de maneira demasiada a amplitude, as bolhas de cavitação crescerão na fase de rarefação, e o tempo para que ocorra o colapso acaba ficando inadequado, prejudicando o sistema (ASHOKKUMAR, 2011; CASTRO & CAPOTE, 2007a; MASON, 1996).

Além do processo mecânico de cavitação, a sonicação pode gerar efeitos químicos através da geração de espécies reativas. O fenômeno envolvido na ruptura de ligações O-H é denominada de sonólise da água, o qual à produção leva direta dos radicais livres H• e OH• no meio que ocorrem por meio de cisão das ligações H-O nas moléculas de água e produção de peróxidos de hidrogênio no meio sonicado (KORN, ANDRADE & BORGES, 2003).

Utilizando uma frequência de 20 kHz em uma solução de fenólica de antocianinas, (compostos fenólicos presentes em muitos alimentos), Ashokkumar e seus colaboradores (2008) observaram que há influência do ultrassom no rendimento de produção de radicais livres, ou seja, na frequência de 20 kHz o OH• gerado é mínimo. Com o aumento de frequência para 358 kHz é observada uma maior geração de OH•. No entanto, quando a frequência é de 1062 kHz há uma diminuição do rendimento de OH•. Esta explicação deve-se ao fato das bolhas de cavitação a 20 kHz serem transitórias, enquanto que as bolhas estáveis são oriundas de frequências mais altas (~20 MHz). Com a cavitação estável e aumento no número de bolhas ativas, é esperado que haja maior rendimento de OH• gerado com o aumento da frequência. Em frequências altas o ciclo acústico é muito curto, o que restringe a formação de vapor de água que evapora na bolha durante a expansão. A redução da quantidade de vapor durante o colapso reduz a geração de OH• (ASHOKKUMAR & MASON, 2007).

Dependendo do processo que está sendo considerado, os efeitos da cavitação acústica podem ser vantajosos ou desvantajosos. Quando o radical hidroxil ($\text{OH}\cdot$) é produzido, por exemplo, pode afetar a qualidade de algumas substâncias alimentares, mas também pode melhorar a funcionalidade de alguns ingredientes (CASTRO & CAPOTE, 2007b).

Existem vários tipos de sistemas de aplicação de ondas ultrassônicas. Sistemas como banho e sonda são os mais conhecidos (Figura 3).

Figura 3- Banho ultrassônico, marca Elma[®] (modelo: TI-10 MF2) e sonda ultrassônica Athena Technology[®] (modelo: AT 250P).



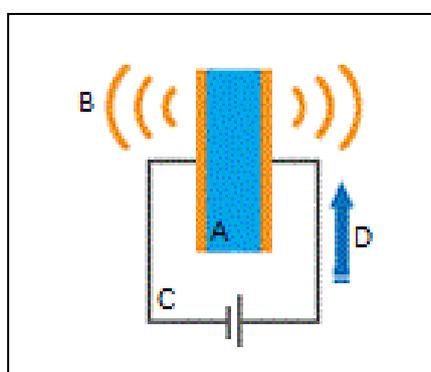
Fontes: Adaptados. Figura A- Analítica LTDA (2017); Figura B: Athena Technology (2010).

Nos banhos ultrassônicos os transdutores podem estar localizados em diferentes lugares da cuba do aparelho, sendo mais comum no fundo ou nas laterais, que neste caso, há uma boa dispersão de energia ultrassônica no meio. Já em sondas, os transdutores situam-se nas extremidades da haste metálica, fornecendo energia em zonas específicas sem necessitar de um meio líquido para se propagar (FERRELL & CRUM, 2002; PANIWNKYK, 2014).

Os transdutores piezoelétricos são a fonte de energia de um US. Fabricados em cerâmica, estes materiais também conhecidos como ferroelétricos (como titanato

zirconato de chumbo, titanato de bário), são cristais que ao serem submetidos a uma pressão ou tensão são capazes de sofrerem uma deformação e geram pulsos mecânicos, ou seja, vibram e executam ondas ultrassônicas, conforme figura 4 (CASTRO & CAPOTE, 2007a; LEADLEY & WILLIAMS, 2008;).

Figura 4-Funcionamento de um transdutor piezoelétrico. A- elemento piezoelétrico. B- onda sonora. C- corrente elétrica. D- direção da corrente elétrica.

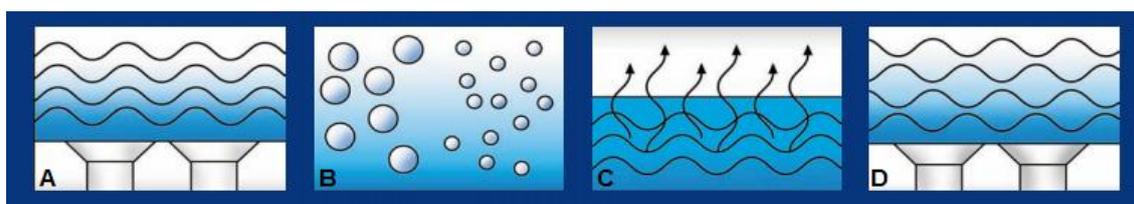


Fonte: NDK DEMPA KOGYO, LDT (1997).

As configurações de um banho ultrassônico dependerão da finalidade proposta pelo estudo, como o tipo de frequência, tempo, amplitude e o modo de aplicação. Alguns banhos apresentam modos de distribuição das ondas diferenciados (figura 5), como o normal, o qual estabiliza a frequência, proporcionando uma melhor distribuição das ondas no ultrassom e otimizando um fluxo contínuo no tanque, ideal para preparo de amostras; o modo *sweep* qual garante uma maior homogeneidade na distribuição das ondas do banho ultrassônico, gerando um deslocamento contínuo de níveis de pressão sonora, criando um campo uniforme; modo *degas* é utilizado pra acelerar o processo de degaseificação de líquidos, removendo o gás, otimizando a eficácia do banho; o modo *pulse*, o ultrassom opera em pulsos, simulando eletronicamente os picos de potência que ocorrem assim que o ultrassom é ligado. Entregando aproximadamente 20% de potência adicional, este modo é ideal para aplicações de limpeza ou misturas mais difíceis; e o *Sieve cleaning*, ou multi frequência, usa-se duas frequências simultaneamente, como

sweep e pulsar, melhorando a eficiência em limpeza robusta ou minuciosa (Analítica[®], 2016; ELMA[®], 2017).

Figura 5- Modos de operação disponíveis em aparelhos ultrassônicos. Figura A- modo normal; Figura B- modo *Sieve cleaning* (dois modos simultâneos-*sweep* e o pulsar); Figura C- modo degas; Figura D- modo *sweep*.



Fonte: adaptado de Analítica[®] (2017).

2.2 ULTRASSOM NA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES

A carne é um alimento mundialmente apreciado, que deve corresponder às expectativas do consumidor no que se refere aos atributos de qualidade sanitária, nutritiva e organoléptica, além, de ter preço estabelecido como justo. A qualidade da carne envolve vários aspectos físico-químicos, tecnológicos, microbiológicos e sensoriais que são determinantes para a utilização desta pela indústria (RAMOS & GOMIDE, 2012; VIEIRA, 1999).

A utilização de US em carnes objetiva a modificação estrutural das células, adquirindo textura e maciez relevantes ao consumidor, sendo a cavitação a principal causa das rupturas celulares do colágeno e miofibrilas (CHANDRAPALA et al. 2012a; STADNIK & DOLATOWSKI, 2011). Ainda, é responsável pela liberação de catepsinas e ativação das calpaínas aumentando a concentração de cálcio livre no meio, acelerando o amaciamento de carne (RONCALÉS et al. 1993). Estudos realizados por Jayassoriya et al. (2007), utilizaram pedaços (40 x 60 x 20 mm de comprimento, largura e altura, respectivamente) de músculos *Semitendinosus* e *Longissimus* de bovinos, e os sonicou após 12 horas sob refrigeração (2°C), com auxílio de uma sonda a 24 kHz por 0, 30, 60, 120 e 240 segundos. Após tratados com US, as amostras foram guardadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração durante 8,5 dias. Passado o período de

armazenamento, análises como perfil de textura (força e dureza), pH, cor e perda de peso, foram realizadas. Os resultados deste estudo mostraram um aumento da maciez, com redução da dureza e da força nas amostras com um tempo de 240 seg. Para os resultados de pH, os valores aumentaram ao longo do armazenamento, com um tempo de sonicação de 120 seg. Para a perda por gotejamento, as amostras sonicadas não tiveram efeitos significativos, sendo afetadas pelo tempo de envelhecimento das peças. Para a cor, e a perda por cozimento, o US não afetou de maneira negativa as amostras.

Na capacidade de retenção de água em carne suína, em 1995, o autor McClements, afirmou que a liberação de proteínas miofibrilares (PM), responsáveis por “dar liga” a pedaços de carne para formação de produtos cárneos, deve-se a utilização da tecnologia ultrassônica (20 kHz), melhorando as propriedades físicas, como a capacidade de retenção de água, textura e coesão do produto. As PM são as principais responsáveis pelas propriedades texturais e funcionais de produtos à base de gel, como exemplo na ciência e tecnologia da carne, as emulsões (HONG & XIONG, 2012; LIU, STEVENSON & LANIER, 2013). O ultrassom de alta intensidade (~ 20 kHz) induz modificações tais como na viscosidade, gelificação e solubilidade em proteínas oriundas de soja, e ovo e musculares. Estas variações estão diretamente ligadas às transformações sofridas pelos aminoácidos presentes nas proteínas, tão como sua natureza, grau de desnaturação e oxidação (ARZENI, PEREZ & PILOSOFF 2012b; ZHANG, XIAO & AHN, 2013).

A oxidação de proteínas em alimentos resulta em fragmentações ou ligações cruzadas entre proteínas, alterações em suas estruturas de níveis primários, secundários e terciários (desnaturação), degradação hidrolítica (proteólise) por enzimas endógenas e/ou exógenas, além de induzir a formação de ligações cruzadas de dissulfatos, reduzindo a qualidade de carnes e derivados (KAZEMI, NGADI & GARIÉPY, 2011; SORIA & VILLAMIEL, 2010; ZHANG, XIAO & AHN, 2013).

Em investigações feitas por Arzeni et al. (2012a), com proteína de soja e de ovo, utilizando sonda de 20 kHz com amplitude de 20% por 20 minutos, não foi possível observar efeitos negativos sobre o teor de tióis logo após a sonicação. Em estudo realizados por Chandrapala et al. (2011) com a albumina e em proteínas concentradas de soro de leite, sonicados a 20 kHz com amplitude de 50% em tempos de 1, 5, 10, 20 30 e 60 minutos, foram encontrados dados semelhantes, onde não foi possível verificar efeitos negativos sobre a quantidade de tióis nas amostras.

Estudos mostram que grupos carbonílicos ocorrem após o abate, durante o processamento, armazenamento e manipulação de carnes produtos cárneos (FUENTES et

al. 2010; XIA et al. 2009). Poucos estudos são realizados com relação aos grupamentos carbonílicos, sobre o seu impacto em produtos cárneos e a utilização conjunta da tecnologia ultrassônica.

A oxidação lipídica é uma das principais causas de deterioração dos alimentos e pode gerar sabores e odores característicos, conhecidos como rançosos. A auto oxidação é o mecanismo fundamental da oxidação lipídica, sendo dividida em três etapas de iniciação, propagação e terminação. Destaca-se que a auto oxidação pode ser acelerada em altas temperaturas (acima de 100°C), principalmente em gorduras que contenham ácidos graxos poli-insaturados, além de pequenas concentrações de antioxidantes (sintéticos ou naturais) ou pró-oxidantes (predominantemente íons metálicos), que aumentam a taxa de oxidação lipídica por meio de iniciação de radical livre (RL), aceleração de hidroperóxidos (ROOH) ou ativação do oxigênio molecular (O₂) para oferecer oxigênio reativo singlete (¹O₂) e radical peróxilo (BRYKSA & YADA, 2015; FRAZIER, 2015). Para analisar a peroxidação lipídica, é utilizado usualmente o teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). Este mede a formação de malonaldeído (MDA), absorvendo luz em leituras com espectrofotômetro a um comprimento de onda de 532 nm (McCLEMENTS & DECKER, 2010).

A oxidação proteica é um conjunto de complexas reações químicas que envolvem o ataque, de espécies de radicais livres, às proteínas e leva a modificações na composição química (aminoácidos oxidados, como cisteína, metionina, histidina, entre outros), estrutura da proteína (a níveis primários, secundários e terciários) e suas funcionalidades, como a diminuição da solubilidade, alteração no valor nutricional, habilidade de formação de gel e na capacidade de retenção de água do alimento (BERLETT & STADTMAN, 1997; ZHANG, XIAO & AHN, 2013).

Para a avaliação do grau de oxidação proteica em carnes, metodologias como grupamento carbonil e o grupamento tiol, são empregados. Na metodologia de carbonil, a investigação ocorre através de espectrometria, por oxidações de aminoácidos ligados à metais de transição e compostos fenólicos oriundos do processo inicial da oxidação lipídica (ESTÉVEZ, 2011; STADTMAN & LEVINE, 2003). A quantificação total de proteínas carboniladas baseia-se na reação com dinitrofenilhidrazina (DNPH), resultando um índice geral de proteínas oxidadas e lidas em 280 nm para quantificar as proteínas e em 370 nm para as amostras que contém o reagente DNPH (LUND & BARON, 2010; OLIVER, et al. 1987). Para quantificar grupamentos tióis oriundos das proteínas da carne, esta técnica baseia-se em formação de cromóforo entre tiol e o ácido

ditionitrobenzóico (DTNB), e este absorve em comprimento de onda de 412 nm, e a quantificação da proteína é em 280 nm (ELLMAN, 1959).

Um dos principais produtos formados no processo oxidativo é o malonaldeído (MA), um aldeído com 3 átomos de carbono. O teste do TBARS é conhecido como “espécies reativas (hidroperóxidos) ao ácido tiobarbitúrico”, baseia-se em leitura espectrofotométrica, na obtenção de um cromóforo vermelho (absorve a 532-535 nm), produto da reação de ácido tiobarbitúrico e MDA em carnes (RAHARJO; SOFOS; SCHIMIDT, 1993; ROSS & SMITH, 2006).

2.3 EMULSÕES CÁRNEAS

As emulsões podem ser obtidas por uma mistura de dois ou mais ingredientes não miscíveis, nos quais uma fase é dispersa em outra, na forma de gotículas muito pequenas. As emulsões cárneas são compostas por gotículas de óleo suspensas numa fase aquosa de moléculas constituídas por proteínas, e que geralmente recebem mistura de carne moída, água, sal, gordura e pequenas quantidades de outros ingredientes importantes que conferem a palatabilidade de produtos como salsichas e mortadelas (ÁLVAREZ, 2007; DICKINSON, 2010).

A carne é uma excelente fonte de proteínas, uma vez que a composição de seus aminoácidos é muito próxima aos aminoácidos essenciais (lisina-89, leucina- 81, mg/g de proteína, por exemplo) necessários para à dieta humana (DAMODORAN, PARKIN, FENNEMA, 2010a).

As principais proteínas miofibrilares presentes na carne são a actina (filamentos finos e a miosina (filamentos grossos), que correspondem por 65-80% do total das proteínas dos miofilamentos e 40 % do total das proteínas musculares, e encontram-se sobrepostas de maneira a tornar possível o deslizamento de uma sobre a outra no momento da contração muscular (DAMODORAN, PARKIN, FENNEMA, 2010a; SGARBIERI, 1996). Quanto a solubilidade, as proteínas musculares podem ser divididas em três grupos: sarcoplasmáticas (são as mais solúveis), as miofibrilares (solúveis em soluções salinas) e as proteínas do estroma (menos solúveis) (ZAYAS, 1997).

Para a formação de gel, as proteínas miofibrilares (actina e miosina) devem ser primeiramente extraídas, iniciando o processo com sais e fosfatos. O cloreto de sódio (NaCl) quando adicionado à matéria-prima (carne), aumenta a capacidade de ligação das proteínas, como resultado do aumento da extração proteica. A influência destes sais pode

ser explicada pela ocorrência do íon cloreto estar menos hidratado do que o íon de sódio (ZAYAS, 1997). As propriedades de gelificação destas proteínas deve-se pela estrutura e tamanho, concentração e sua fonte, tipo de carne e condições físico-químicas, como pH, força iônica e quantidade de calor (DAMODORAN, PARKIN, FENNEMA, 2010a; McCLEMENTS, 2009).

A proteína miofibrilar miosina participa diretamente da emulsificação de gorduras e auxilia na capacidade de retenção de água (CRA) em produtos processados. Acredita-se na hipótese de que a miosina pode atravessar a interface O/W, uma vez que os resíduos de aminoácidos não polares de sua “cauda” seriam atraídos para a superfície das células de gordura, enquanto que os resíduos de aminoácidos polares da cabeça da miosina estariam associados à fase aquosa do meio (KNIPE, 2015).

As proteínas miofibrilares tem capacidade de reter água, que as torna solúveis ao meio. A CRA está diretamente relacionada ao ponto isoelétrico (pI) das proteínas. O pI é o pH ao qual todos os grupos de cadeia lateral são carregados. Neste momento, as cargas positivas e negativas iguais sobre a proteína resultam num número máximo de pontes de sal entre cadeias peptídicas e uma carga líquida de zero. O pI de carne (onde a CRA é mínima) está na faixa de 5,0-5,4 que é também o pH da carne depois de ter passado pelo rigor mortis. (LAWRIE, 2005; ZAYAS, 1997). Aumentar ou diminuir o pH para longe do pI resultará em aumento da CRA criando um desequilíbrio de carga. A predominância de cargas positivas ou negativas resultará numa repulsão de grupos de proteína carregadas e haverá o aumento da capacidade de retenção de água. Esta repulsão pode ser comparada com o efeito de cargas semelhantes de dois ímãs (KNIPE, 2015).

Há uma série de fatores que afetam a capacidade de as proteínas emulsionarem. Condições da matéria-prima no momento do estado de pré e pós-rigor; efeito do calor no momento da extração das proteínas, efeito do pH (ideal ~ 5,5) e da força iônica, além das condições de processamento (LAWRIE, 2005; RAMOS & GOMIDE, 2012; ZAYAS, 1997).

2.4 ULTRASSOM EM EMULSÕES

As proteínas podem atuar como emulsificantes, em consequência de suas estruturas moleculares. A maioria das proteínas possuem estruturas tridimensionais específicas, que são mantidas à menos que sejam sujeitas a influencias externas, como pH do meio, solubilidade, aquecimento, força iônica, solventes orgânicos, ultrassom,

irradiação ultravioleta (UV), além das interações intramoleculares, podendo alterar as estruturas primárias, secundárias terciárias e quaternárias, sendo denominada de desnaturação proteica, porém, sem mudança na estrutura das ligações peptídicas da cadeia principal (DAMODORAN, PARKIN, FENNEMA, 2010b; SGARBIERI, 1996).

A frequência ultrassônica ideal para ser utilizada em emulsões cárneas deve ser considerada. Estudos relatam que as forças de cisalhamento geradas durante a cavitação, são mais fortes em baixas frequências (16-100 kHz), devido à natureza violenta dos colapsos das bolhas nas amostras (CHEMAT; HUMA & KHAN, 2011).

Utilizando sonda ultrassônica de 20 kHz com amplitudes de 50 e 100% nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 10 e 15 minutos, sobre uma emulsão simples de água e óleo de soja, Cucheval & Chow (2008), verificaram que a sonicação de 5 minutos e amplitude de 100% foi capaz de diminuir as gotas de óleo no meio, e após os 5 minutos não houve diferença dos tamanhos das gotas, demonstrando assim, que o tempo de 5 minutos e a amplitude de 100 % foram os mais adequados para o experimento.

Outro estudo comparou sonicações (utilizando sonda) de 20 kHz e 211 kHz em um sistema contendo 10% de óleo de girassol e água. Resultados com 20 kHz por 20 minutos e amplitude de 100% foram mais eficazes e garantiram uma emulsão estável. Em contrapartida, a sonicação com 211 kHz, amplitude de 100 % por 15 minutos, não produziu uma emulsão estável, comprovando que as forças de cisalhamento geradas em altas frequências são relativamente mais fracas e, portanto, não são aplicáveis em emulsões (CHANDRAPALA et al. 2012c; LEONG et al. 2009).

Essencialmente, o ultrassom de baixa frequência (20- 100 kHz) pode alterar as propriedades físico-químicas das proteínas (vegetal e animal) e, nos últimos anos tem sido utilizado na indústria de alimentos como nos processos de cozimento, congelamento/descongelamento (DELGADO, ZHENG & SUN, 2009; MILES, MORLEY & RENDELL, 1999), filtração (JIN, et al. 2014), desgaseificação (ESKIN, 2015), corte (SCHNEIDER, ZAHN, ROHM, 2008), transferência de calor em trocadores de calor (GONDREXON, et al, 2010), extração (SORIA & VILLAMIEL, 2010), salmoura (CÁRCEL et al. 2007), secagem (JAMBRAK et al. 2007), inativação/ativação de micro-organismos (KWIATKOWSKA, et al. 2011; PIYASENA, MOHAREB & McKELLAR, 2003), maciez (STANDNIK, DOLATOWSKI, 2011), emulsificação (KACI, et al. 2014; LI, et al. 2014a; LI, et al. 2014b; O' SULLIVAN, et al. 2015), entre outros.

Usando sonda a 20 kHz por 0, 3, 6, 9 e 12 minutos, em um preparado de emulsão contendo peito de frango, óleo de soja e caseinato de sódio, Zhao et al. (2014) e seus colaboradores, avaliaram o TPA (dureza, elasticidade, coesividade, resiliência e mastigabilidade) e rendimento. A aplicação de US aumentou todos os parâmetros de textura, principalmente no tempo de 6 minutos nos fatores dureza e mastigabilidade. Para os resultados de rendimento (~ 95%), os melhores resultados foram nos tempos de 6 e 9 minutos, e valores de ~ 87%, para o tempo de 12 minutos. Os géis de 6 minutos de sonicação apresentaram estruturas uniformes e homogêneas, além de um bom rendimento.

Frequência de 20 kHz, amplitude de 60%, tempos de 0, 3 e 6 minutos, com sonda, aplicada em emulsão cárnea de peito de frango (dimensões de $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$) com defeito PSE (Pale, Soft, Exudative) e sem defeito, foi relatada por Li et al. (2014a). Análises como pH, força do gel e a CRA foram realizadas. Valores de pH foram modificados (6 min. com valor de 5,83), possivelmente causados por desnaturação proteica, principalmente na carne PSE, assim, como os valores de força do gel, onde a sonicação (6 min.) modificou de maneira positiva este parâmetro em ambos os tipos de carne. Já na CRA, os tempos de 3 min. (19,55%) e 6 min. (12,23%) aumentaram os valores em comparação com as amostras não sonicadas, porém, os valores das amostras PSE ficaram semelhantes as amostras que não sofreram sonicação. Os pesquisadores observaram aumento da atividade proteolítica, aceleração na transferência de massa através da cavitação, melhoramento de carnes PSE com propriedades semelhantes às carnes normais. Zayas e Strokova (1972) sugeriram que o ultrassom é capaz de mudar as propriedades das proteínas em carnes, tais como a estrutura e assim aumentar a solubilidade da fração de miosina, que ocorreu após 3 min. de exposição de US a uma frequência de 20 kHz.

Emulsões feitas com peito de frango (pH 5,96), utilizando sal (diferentes concentrações 1; 1,5 e 2% e gelo, foram sonicadas em um banho (temperatura abaixo de 15 °C) a 40 kHz nos tempos de 0, 10, 20, 30 e 40 minutos. As análises realizadas por Li et al. (2015b), foram TPA (dureza, mastigabilidade, coesividade e elasticidade), força do gel, perda por cozimento e a CRA. Os melhores tempos de aplicação de US foram observados a 10 e a 20 minutos, nos parâmetros de textura e CRA. Não houve distinção entre as concentrações de sal de 1,5 e 2% com tempo de 20 min. de sonicação nos resultados de textura, perda por cozimento e CRA, porém, em 40 minutos a retenção de água diminuiu. Com os resultados de uma concentração de sal a 1,5 % ficaram semelhantes aos resultados encontrados no controle (2 % de sal), juntamente com a

aplicação de US por 20 min., melhorou a formação de gel, parâmetros de textura, CRA e perda por cozimento. Os efeitos do tratamento de US nos tempos de 30 e 40 min. não foram significativos nos resultados de textura.

2.5 TERMOGRAFIA

A imagem térmica (TI) é um processo adequado para indústria alimentícia por não ser invasivo. Originalmente, a termografia foi desenvolvida para fins militares, medicinais e agrícolas. Logo, emergiu para técnicas de medição de temperatura em alimentos, como validação de temperatura superficial dos alimentos, entre outros (FOSTER et al. 2006; GOWEN et al. 2010; VADIVAMBAL & JAYAS, 2011).

A termografia ou termografia infravermelha (IR) é um processo não destrutivo, que mede radiação infravermelha em superfícies (sólidas, semi-sólidas, líquidas). As temperaturas são obtidas em virtude de uma varredura da superfície alvo. Seu sistema consiste em câmeras equipadas com detectores infravermelhos, que absorvem a energia emitida pela superfície a ser analisada e as convertem em pulsos elétricos. Computadores são utilizados para receber estes sinais, que são processados, decodificados e armazenados. Dependendo das configurações de cada câmera infravermelha, a faixa de temperatura de varredura varia de -20 a 1500°C (ARORA et al. 2008; GOWEN et al. 2010; MEOLA & CARLOMAGNO, 2004).

A temperatura e a emissividade são dois fatores que determinam a quantidade de radiação emitida por um dado objeto. Emissividade é definida como a relação entre a energia emitida de um objeto e a de um corpo negro, com variação de zero (corpo branco) a um (corpo preto). Outras variações da emissividade se detêm na condição superficial do objeto estudado, como a temperatura e o comprimento de onda captado (GOWEN et al. 2010).

As imagens térmicas podem ser divididas em ativas ou passivas. A termografia passiva refere-se a imagens sem aplicação de qualquer energia externa (aplicação de calor frio ou quente) ao objeto, apenas com distinção do fundo onde se encontra, sendo útil para alimentos sem contato com diferença de temperatura. Já na termografia ativa, a aplicação de energia térmica produzirá um contraste térmico entre a amostra e o fundo em que se encontra, sendo necessária em muitos casos, uma vez que as partes inspecionadas podem encontrar-se com temperaturas em equilíbrio com o meio, a TI pode ser utilizada para detectar defeitos superficiais nesses casos (CHEN et al. 2013).

A utilização da TI ajudou na investigação de cozimento de carne de frango, em uma linha de produção, correlacionando a variação da temperatura externa das peças. As amostras foram monitoradas a cada 30 segundos, totalizando um tempo de 570 segundos durante o processo de resfriamento. As carcaças apresentaram temperaturas que variaram entre 2- 4°C. O método não invasivo foi capaz de analisar em tempo real a variação de temperatura das peças (IBARRA; TAO; XIN, 2000). Estudos realizados por Costa e seus colaboradores (2007), analisaram carcaças de suínos com termografia, durante o processo de produção de presunto. Os presuntos que apresentaram camadas mais finas de gordura, indicaram diferença estatística nos resultados de termografia, e sugerem que quanto mais fina a camada de gordura, maior será a temperatura superficial da peça. A tecnologia termográfica pode ser uma ferramenta utilizada para facilitar a averiguação de temperatura superficial na indústria alimentícia, deixando o processo menos oneroso (GOWEN et al, 2010).

2.6 PERFIL DE TEXTURA (TPA)

A textura é um dos mais importantes atributos de qualidade da carne. Os atributos relacionados à qualidade, como cor, maciez, suculência e sabor, são fatores que ao longo da cadeia de produção devem ser observados (RAMOS & GOMIDE, 2012).

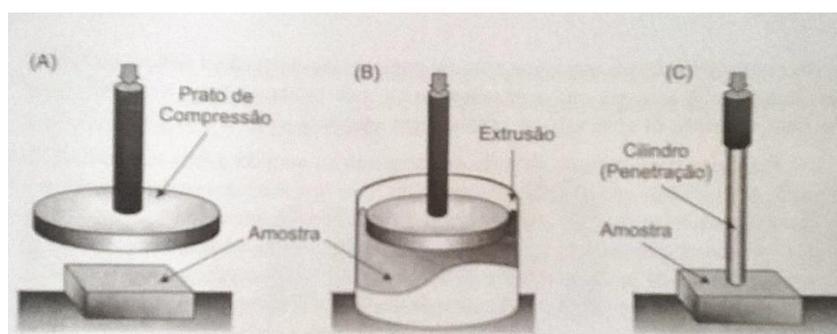
Objetivando atender as exigências dos consumidores, as indústrias de carne utilizam técnicas capazes de garantir um grau de maciez desejável, tanto em carcaças inteiras, quanto em cortes individuais e subprodutos. Processos bioquímicos como a estimulação elétrica para evitar o encurtamento do sarcômero é usada nas carcaças antes do resfriamento pós-abate, maior glicólise e hidrólise de ATP (Adenosina Trifosfato), diminuindo o pH das carcaças (ORDÓÑEZ, 2005; PUGA, CONTRERAS & TURNBULL, 1999), aplicação de enzimas específicas provindas de plantas, bactérias e fungos, com ação proteolíticas (PRÄNDL et al. 1994), físicos como suspensão da carcaça pelo osso pélvico ou pelo tendão de Aquiles durante o resfriamento (AHNSTRÖM, HUNT & LUNDSTRÖM, 2012), ou a união desses, garantem sucesso no processo de maciez e aceitação sensorial dos produtos (FAROUK; WIKLUND; ROSENVOLD, 2009).

A avaliação instrumental da textura se baseia na avaliação do comportamento mecânico a partir da aplicação de forças como as de compressão, cisalhamento, flexão e

tração sobre o alimento utilizando equipamento chamado texturômetro (RAMOS & GOMIDE, 2012).

O teste de compressão em carnes pode ser avaliado quando um alimento for comprimido por uma superfície de área maior ou menor do que a área superficial da amostra, podendo estar livre ou não para se expandir quando uma força for aplicada (RAMOS & GOMIDE, 2012). Os tipos de testes que podem ser realizados por forças de compressão em amostras estão na Figura 6.

Figura 6- Tipos de compressão aplicada em alimentos. (A) Sistema de compressão uniaxial; (B) Sistema de compressão- Extrusão, aplicado em uma amostra presa em uma unidade teste. (C) Sistema de penetração.



Fonte: RAMOS & GOMIDE, (2012).

O método de perfil de textura (TPA) consiste em dois ciclos completos de compressão e descompressão de uma pequena amostra, de forma a simular a ação dos dentes durante o processo de mastigação. A força necessária durante os dois ciclos, para comprimir a amostra é medida e representada graficamente numa curva de deformação tempo *versus* força (RAMOS & GOMIDE, 2012).

Sete parâmetros de textura podem ser obtidos através do teste de TPA: fraturabilidade (ou fragilidade), dureza, coesividade, adesividade, flexibilidade (ou elasticidade), gomosidade e mastigabilidade, estes últimos são calculados a partir dos 5 primeiros. A fibrosidade é o oitavo parâmetro que está relacionado com a adesividade e estão representados na tabela 1 (RAMOS & GOMIDE, 2012).

Tabela 1-Definições físicas e sensoriais de parâmetros de textura da avaliação objetiva obtidas num teste de TPA.

Parâmetros	Definições físicas	Definições sensoriais
Fraturabilidade ¹	Força necessária para iniciar a fratura do alimento	Força sob a qual o alimento despedaça, quebra ou estilhaça
Dureza ²	Força para alcançar uma determinada deformação	Força que comprime um alimento entre os dentes (sólidos) ou entre a língua e o céu da boca (semisólidos)
Coabilidade ³	Forças das ligações internas, que determina a extensão que o alimento é deformado antes da ruptura	Quantidade de deformação sofrida pelo alimento antes da ruptura, quando esse é comprimido pelos dentes molares
Adesividade ⁴	Trabalho necessário para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e outras forças nas quais entra em contato (sonda)	Força que a língua realiza para remover o material aderido à boca (céu da boca, entre os dentes etc.) durante o processo de degustação normal
Flexibilidade ⁵	Trata-se da taxa em que o alimento deformado retorna à sua condição inicial pela remoção da força deformada.	Velocidade em que o alimento retorna ao seu tamanho original após compressão parcial dos dentes molares
Viscosidade ⁶	Taxa de escoamento de um fluido por unidade de força	Força requerida para escoar um fluido sobre a língua
Gomosidade ⁷	Energia necessária para desintegrar um alimento semisólido a um estado pronto para ser engolido.	Densidade que persiste à mastigação de um alimento semisólido para que seja engolido
Mastigabilidade ⁸	Energia requerida para se desintegrar um alimento sólido a um estado pronto para ser engolido	Número de mordidas necessárias para mastigar o alimento, a uma força constante, a fim de reduzi-lo para que seja engolido

1- (Kgf); 2- (Kgf); 3- (sem unidade); 4- (Kgf.mm); 5- (mm); 6- (sem unidade); 7- (Kgf); 8- (Kgf.mm).

Fonte: Adaptado RAMOS & GOMIDE, 2012.

A TPA tem como objetivo estabelecer uma ponte de ligação entre a avaliação sensorial e a instrumental da textura. A tendência contínua por qualidade em produtos cárneos vem crescendo junto com a demanda de utilizar tecnologias capazes de interferir de maneira positiva no alimento, além da economia de energia e de recursos empregados nos processos industriais (FAROUK, WIKLUND, ROSENVOLD, 2009).

A importância de gerenciamento de tecnologias emergentes nas indústrias vem crescendo, e estudos capazes de interferir de maneira positiva neste processo é um envolvimento entre pesquisadores e indústrias alimentícias. O rendimento de uma emulsão, juntamente com a sua estabilidade, é um ponto muito importante na avaliação de qualidade e rentabilidade para a indústria, ao passo que estes parâmetros interferem diretamente o consumidor final.

O uso de ultrassom, pode ser uma alternativa simples e capaz de auxiliar na preparação de emulsionados cárneos, além de simultânea utilização de diferentes modos que o aparelho ultrassônico pode proporcionar, surge uma possibilidade de aumentar as características esperadas nestes produtos utilizando este método. Pesquisadores relatam em seus estudos a eficiência da sonicação em peças cárneas, emulsões oriundas de proteínas isoladas de soja, proteínas do leite, no entanto muito pouco se relata sobre a viabilidade de seus efeitos sobre proteínas miofibrilares e seus processos de rendimento e estabilidade e oxidações em emulsões cárneas.

3. CAPÍTULO 1

APLICAÇÃO DE DIFERENTES MODOS OPERACIONAIS DE ONDAS ULTRASSÔNICAS EM EMULSÕES CÁRNEAS.¹

¹Artigo formatado de acordo com as normas da Revista *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.

1 **Aplicação de diferentes modos operacionais de ondas ultrassônicas em emulsões**

2 **cárneas**

3 3.1 RESUMO

4 Tecnologias que proporcionem baixo consumo energético, e melhoraria na qualidade
5 dos alimentos, são os desafios do setor alimentício. Aplicação de ultrassom (US) em
6 emulsões cárneas pode ser uma alternativa frente a esses desafios. Este estudo avaliou
7 diferentes modos operacionais (degas, normal e *sweep*) de aplicação de US a 25 kHz
8 durante 6 minutos de US a 25 kHz, em carne e emulsão cárnea. Termografias foram
9 utilizadas com a finalidade de monitorar a temperatura quando da aplicação do US nas
10 emulsões. Análises como rendimento, estabilidade (exsudações de gordura e água) e
11 perfil de textura (dureza, coesividade, mastigabilidade) foram realizadas. Em
12 comparação com o controle, os todos os modos operacionais aplicados na carne por 6
13 minutos, modificaram a dureza a coesividade e a mastigabilidade. Quando da aplicação
14 na emulsão, ocorreu aumento no rendimento, de diminuição na exsudação de água e
15 gordura, assim como melhorou a coesividade. O uso do US por 9 minutos na carne pelo
16 modo normal, favoreceu rendimento e exsudações, porém, poucas mudanças na dureza
17 e mastigabilidade foram observadas. Por 12 minutos de US na emulsão pronta, efeitos
18 positivos ao rendimento e nas exsudações das amostras foram encontrados. Na textura
19 de emulsão pronta, o tempo de 12 minutos, reduziu a dureza e mastigabilidade e
20 melhorou a coesividade. A temperatura de sonicação em emulsões prontas, não
21 interferiu nos resultados do estudo. A combinação do melhor modo operacional
22 encontrado no experimento 1, tempo de 12 minutos de sonicação aplicados no
23 experimento 2, resultou em melhorias na qualidade tecnológica em emulsões prontas.

24

25 **Palavras-chave:** Ultrassom, tempo de aplicação, emulsão cárnea

26 3.2 ABSTRACT

27 Technologies that demand high quality and low energy consumption, is a challenge for
28 the food sector. Application of ultrasound (US) in meaty emulsions may be an
29 alternative to improve the technological quality of these products. The aim of this study
30 was to evaluate the best operating mode (degas, normal and sweep) for 6 minutes of US
31 at 25 kHz, to choose it, and after applying different times (0, 6, 9 and 12 minutes) of
32 sonication in meat (for further elaboration of emulsion) and the finished emulsion was
33 performed. Thermography was used to monitor temperature in ready-mixed emulsions.
34 Analyzes such as yield, stability (fat and water exudates), gel strength and texture
35 profile (hardness, cohesiveness, chewing) were performed. In comparison with the
36 control, the other modes applied for 6 minutes modified the hardness, chewing and
37 strength of the gel in the meat. Cohesiveness increased with application in different
38 ways. US in normal mode for 6 minutes, improved yield, exudates and cohesiveness in
39 ready-to-use emulsions. The use of the US for 9 minutes in the meat by the normal
40 mode, favored yield and exudations, however, few changes in the hardness, chewing
41 and strength of the gel were observed. For 12 minutes of US in the ready-to-use
42 emulsion, positive yield and exudate effects of the samples were found. At the ready
43 emulsion texture, the time of 12 minutes, reduced hardness and chewability, improved
44 cohesiveness, and impaired gel strength. The sonication temperature in ready-mixed
45 emulsions did not interfere with the study results. The combination of the best
46 operational mode found in experiment 1, the 12-minute sonication time applied in
47 experiment 2, resulted in improvements in the technological quality in ready-to-use
48 emulsions.

49 Keywords: Ultrasound, time of application, meat emulsion

50 3.3 INTRODUÇÃO

51 As proteínas são importantes para a nutrição humana e promovem uma ampla
52 variedade de propriedades dinâmicas funcionais, largamente exploradas pelas indústrias
53 de alimentos, com o objetivo de proporcionar melhorias de textura, rendimento e
54 palatabilidade aos produtos processados, com numerosas propriedades, como espuma,
55 geleificação e emulsificação (O'SULLIVAN et al, 2015b; CHEN, 2015). Portanto,
56 existe uma grande importância para as indústrias alimentícias investigar e aprimorar
57 suas metodologias tradicionais em alimentos, com a capacidade de manter os valores
58 nutricionais e seus caracteres organolépticos (CHEMAT, HUMA & KHAN, 2011).

59 O ultrassom (US) de alta intensidade pode alterar as propriedades físico-
60 químicas das proteínas em alimentos, sendo classificada como uma onda mecânica
61 acústica de alta frequência e baixa intensidade (100 kHz - 1 MHz, a potência de 1 W
62 cm^{-2}) ou de alta intensidade de baixa frequência (16-100 kHz, poder 10-1000 W cm^{-2}),
63 onde a cavitação alterna as ondas de compressão para rarefação, produzindo bolhas no
64 meio reacional (PIYASENA, MOHAREB, MCKELLAR, 2003; SORIA &
65 VILLAMIEL, 2010; CHEMAT et al. 2011; KNORR et al. 2011; CÁRCEL et al. 2012;
66 CHANDRAPALA et al. 2012a). Os ajustes realizados na frequência, tempo, amplitude
67 e o modo de aplicação de um banho ultrassônico, dependerão da finalidade proposta
68 pelo estudo, apresentando de formas diferenciadas a distribuição das ondas dentro da
69 cuba ultrassônica. O modo degas (opera em intervalos; as bolhas de cavitação do banho
70 são empurradas para a superfície), o normal (estabiliza em frequência fixa a cavitação e
71 otimiza o fluxo do líquido no tanque), enquanto que no modo sweep os transdutores
72 operam em uma faixa estreita, homogeneizando de maneira uniforme a cavitação).

73 Estudos com a caseína, isolado de proteína de soja e proteínas do ovo
74 demonstraram modificações em suas estruturas (primárias, secundárias e terciárias),

75 mas melhoras nas propriedades funcionais ao serem submetidas a 20 kHz por 15 e 30
76 min. (ARZENI et al. 2012; LIU et al., 2014; a-HU et al., 2013). No entanto, em estudos
77 realizados por Hu et al. (2013) e Chandrapala et al. (2011) ocorreram resultados
78 negativos, como desnaturação e alteração das estruturas secundárias das proteínas de
79 soja e do leite (b-HU, et al. 2013; CHANDRAPALA, et al. 2011).

80 O US de 20 kHz e amplitude de 60%, aplicado em massa cárnea de peito de
81 frango PSE (Pale, Soft, Exudative) em diferentes tempos (0, 3 e 6 minutos), promoveu
82 aumento da atividade proteolítica, modificações estruturais e reológicas, aceleração na
83 transferência de massa, através da cavitação no tempo de 6 minutos e proporcionou na
84 emulsão elaborada com carne PSE, propriedades semelhantes a emulsão feita com carne
85 normal (LI et al. 2014). A aplicação de US em emulsões influenciou na funcionalidade
86 de proteínas alimentares com base nos efeitos mecânicos, químicos e/ou bioquímicos
87 através da cavitação, agitação e força de cisalhamento oriundas da sonicação (AWAD et
88 al. 2012).

89 A temperatura é um parâmetro importante em diversas reações químicas e
90 processos produtivos na área de alimentos, sendo constantemente monitorada para fins
91 de controle, e garantia da qualidade tanto dos meios de produção quanto do produto
92 final. O uso de termografia é uma técnica de determinação da temperatura superficial de
93 objetos que opera de forma não destrutiva, simultânea e rápida, permitindo um
94 mapeamento de temperatura (GOWEN et al. 2010; LOSKYLL, STOEWE & MAIER,
95 2012).

96 Pelo fato de que as matérias-primas utilizadas em alimentos emitem radiação
97 infravermelha em regiões entre 0,75 a 100 μm (GOWEN et al. 2010), a utilização de
98 imagens térmicas seria recomendada, uma vez que proporcionam dados confiáveis e não
99 invasivos no processamento dos alimentos (VADIVAMBAL & JAYAS, 2011).

100 De maneira que o uso do ultrassom viabiliza alterações nas propriedades das
101 proteínas, o objetivo deste estudo foi verificar o melhor modo operacional (normal,
102 degas ou *sweep*) e tempo de aplicação de US, que promoveria melhorias na qualidade
103 tecnológica, características físico-químicas, na carne (utilizada posteriormente para
104 elaborar uma emulsão) e em emulsão cárnea pronta.

105 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

106 Obtenção da matéria-prima e elaboração da emulsão cárnea.

107 Paleta suína (*Triceps brachii*) a $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ e o toucinho a $3\pm 1^{\circ}\text{C}$ (medidos com
108 termômetro digital “espeto” marca INCOTERM[®]), foram obtidos em um frigorífico,
109 armazenados em caixa térmica e direcionados ao laboratório da Universidade Federal de
110 Santa Maria (UFSM). Imediatamente a carne suína e o toucinho, foram cortados nas
111 dimensões 10 ± 1 cm x 6 ± 1 cm e 4 ± 1 cm x 8 ± 1 cm, respectivamente, e triturados em disco
112 de 5 mm de \varnothing (marca JAMAR[®], modelo PJ-10 inox), pesados e separados por
113 tratamentos (experimento 1 e experimento 2) e armazenados a $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 4 h. A
114 emulsão foi constituída de 77,5 % de paleta suína, 15 % de toucinho, 5 % de gelo e 2,5
115 % de NaCl. As emulsões foram elaboradas em um multiprocessador (modelo Zero
116 Watt, 600 W). Inicialmente ocorreu extração das proteínas miofibrilares com a adição
117 de NaCl e gelo, durante 40 segundos. Em seguida, adicionou-se o toucinho, e a
118 elaboração da emulsão ocorreu durante 1 min. e 20 segundos, totalizando 1 min. 60
119 segundos de processo.

120 Experimento 1: Aplicação de diferentes modos de ultrassom na carne e na emulsão
121 pronta.

122 A aplicação de ultrassom a 25 kHz, 60 % de amplitude, com diferentes modos
123 operacionais do aparelho (degas, normal e *sweep*) e tempo de 6 minutos de aplicação na
124 carne e na emulsão pronta. As amostras foram acondicionadas em béqueres de vidro

125 (1000 mL) previamente resfriados ($2 \pm 1^\circ \text{C}$), e submetidas ao banho multi frequência
126 Elma[®] (modelo TI- 10 MF2). A cuba do US foi preenchida com água a $12 \pm 1^\circ \text{C}$,
127 sendo descartada ao final do tratamento, e novamente preenchida ao iniciar um novo
128 tratamento. Os resultados obtidos do experimento 1, propiciaram a projeção do
129 experimento 2.

130 Experimento 2: Aplicação de diferentes tempos de ultrassom na carne e na emulsão
131 pronta.

132 Foi utilizado frequência de 25 kHz, modo normal, amplitude de 60 %, e com
133 diferentes tempos de 0 (controle), 6, 9 e 12 minutos de ultrassom, com aplicação na
134 carne e na emulsão pronta. As amostras foram dispostas em béqueres de vidro (1000
135 mL) previamente resfriados ($2 \pm 1^\circ \text{C}$) e submetidas ao banho multi frequência Elma[®]
136 (modelo TI- 10 MF2). O processo de renovação da água da cuba do US foi da mesma
137 maneira do experimento 1.

138 Experimento 3: Aplicação de diferentes modos de ultrassom após a emulsão pronta
139 utilizando 6 minutos.

140 Com uma frequência de 25 kHz, 6 minutos, amplitude de 60 %, e com diferentes
141 modos (degas, normal e *sweep* de ultrassom), com aplicação somente na emulsão
142 pronta, averiguou-se as características físico-químicas como a determinação de
143 umidade, proteína bruta, lipídeos e oxidações lipídicas e proteicas.

144 **3.4.1 Avaliação da qualidade tecnológica das emulsões**

145 Rendimento pelo cozimento

146 O rendimento no cozimento foi determinado pela metodologia de Parks &
147 Carpenter (1987). As amostras pesadas (30 g) e embaladas em sacos de nylon com
148 polietileno de baixa densidade (taxa de permeabilidade ao oxigênio menor que 30),

149 foram submetidas ao cozimento em água a 70 °C por 60 minutos e calculadas pela
150 fórmula:

151
$$(\%) \text{ rendimento no cozimento: } (\text{peso final} \times 100) / \text{peso inicial}$$

152 Estabilidade da emulsão

153 A estabilidade da emulsão foi determinada conforme metodologia de Jimenez-
154 Colmenero, Ayo & Carballo (2005). As amostras pesadas (10 g) em tubo tipo *falcon* (50
155 mL), foram submetidas ao aquecimento de 95°C por 40 minutos. Com os pesos inicial e
156 final, calculou-se a liberação de água e gordura:

157
$$(\%) \text{ gordura liberada: } [\text{peso da gordura liberada} / \text{peso do batter}] \times 100$$

158
$$(\%) \text{ água liberada: } [\text{peso da água liberada} / \text{peso do batter}] \times 100$$

159 Determinação de pH e potencial redox (mV)

160 O pH e potencial redox (mV), foram determinados pelo método
161 potenciométrico, conforme metodologia AOAC (2006) com modificações, utilizando
162 eletrodo de platina (DMR-CP1) para o mV e eletrodo de vidro (DME-CV1) para o pH.

163 Perfil de textura

164 A textura foi avaliada através da análise dos estudos obtidos por b-Hu e seus
165 colaboradores (2013), com modificações. Os parâmetros observados foram dureza (N),
166 Coesividade e Mastigabilidade (N). Utilizou-se o texturômetro (marca State
167 Microsystems LTDA, modelo-TA-XT2 Plus, Surrey, Inglaterra), sendo calibrado
168 conforme o fabricante. Amostras de emulsões foram colocadas dentro de placas de Petri
169 com diâmetro de 55 mm e altura de 17 mm. O equipamento foi configurado para
170 velocidade de descida de 1 mm/s, tensão e compressão de 50%, probe P/40 e foram
171 realizadas 10 leituras de cada amostra. O *software* utilizado para computar os resultados
172 foi o Exponent version 6.1.1.0 (Texture Technologies Corp., New York, EUA).

173 3.4.2 Avaliação das características físico-químicas e oxidação lipídica e proteica

174 Para averiguar o comportamento físico-químico e oxidativo das emulsões já
175 finalizadas com aplicação de ultrassom por 6 minutos, foram determinadas as seguintes
176 análises:

177 Determinação de umidade

178 A umidade foi determinada através da metodologia Marques, et al. (2016) e
179 Bizzi, et al, (2011), que utilizaram um micro-ondas adaptado. Copos de polipropileno,
180 previamente secos em dessecadores, foram utilizados para pesar 2 g de amostra. Os
181 copos foram posicionados de maneira periférica ao longo do prato do micro-ondas.
182 Durante 15 minutos, houve circulação de água na mangueira interna do micro-ondas e
183 conseguinte secagem das amostras. Os resultados foram expressos em porcentagem.

184 Determinação de proteína bruta por Micro-Kjedahl

185 A proteína bruta envolve um grupo de substâncias que tem como estrutura
186 fundamental os aminoácidos. Os passos fundamentais para esta análise foram a digestão
187 das amostras, oxidação da matéria orgânica e o nitrogênio transformado em sulfato de
188 amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Já na destilação, a reação em meio alcalino e ação do calor do bloco
189 digestor, a amônia (NH_3) foi liberada e a solução de ácido bórico junto com o NH_3 se
190 transformou em borato de amônio. E por fim, na titulação, o borato de amônio formado
191 foi proporcional a quantidade de nitrogênio da amostra e foi titulado em solução de HCl
192 (ácido clorídrico) 0,1 Normal (N). A referência utilizada foi através da AOAC (1995).

193 Os resultados foram calculados pela fórmula:

$$194 \text{ Porcentagem de proteínas (\%): } (V \times f \times 0,0014 \times F \times 100) / p$$

195

196

197 Onde: V = volume de HCl (0,1 N) gasto na titulação; f = fator de correlação do
198 HCl; 0,0014 = quantidade de nitrogênio presente em 1 mL de HCl a 0,1 N; F = fator de
199 conversão do nitrogênio em proteína e p = peso da amostra em g.

200 Determinação de lipídios

201 Foram necessários 5 g de amostra para quantificar os lipídeos através da
202 metodologia de Bligh Dyer com modificações (1959). Adicionou-se água destilada e
203 metanol às amostras para a trituração. Com a adição de clorofórmio e solução de sulfato
204 de sódio a 1,5% a extração dos lipídeos foi finalizada com os tubos sendo agitados por
205 30 minutos e após, centrifugados por 5 min./2500 rpm. A fase inferior foi retirada,
206 filtrada, e pipetada em béqueres previamente dessecados. Os béqueres foram
207 direcionados à estufa por 105°C/2 horas. Os cálculos da porcentagem de lipídeos totais
208 foram de 100 g de amostra, considerando as diluições feitas durante a análise.

209 Determinação de Oxidação lipídica

210 O processo oxidativo lipídico, foi avaliado pela análise de espécies reativas ao
211 ácido tiobarbitúrico (TBARS) (BRUNA, et al. 2001 com modificações).
212 Homogeneizando 5 g de amostra com ácido tricloroacético (TCA) e hidroxitolueno
213 (BHT), centrifugadas a baixa temperatura, filtradas e reagidas com o TBA por 95°C/5
214 min. e lidas em absorbância de 531 nanômetros (nm). Os resultados foram explanados
215 em mg de malonaldeído (MDA) / kg de amostra, comparando com a curva padrão
216 realizada no mesmo dia da análise e com o mesmo TBA do dia e utilizando
217 concentrações decrescentes do reagente tetraetóxiopropano (TEP).

218 Determinação de Oxidação proteica (carbonil e tiol)

219 Para a determinação das carbonilas possivelmente presentes nas amostras, a
220 metodologia de Levine (1990) com modificações foi utilizada. Em 1 g de amostra foi
221 adicionado tampão fosfato pH 6,9 de molaridade (M) 0,04 e trituradas. Com o

222 sobrenadante, dividiu-se as amostras em dois lotes: as que reagiriam com
223 dinitrofenilhidrazina (DNPH) e as com HCl 2 M. Com uma formação de um *pellet* após
224 a centrifugação, este reagiu com acetato de etila: etanol (1:1 v/v). para calcular os
225 grupos carbonílicos, realizou-se uma curva padrão de albumina bovina, realizando
226 diversas diluições, e os resultados foram comparados com as absorbâncias encontradas
227 nas amostras, e expressos em nanomol de DNPH/mg de proteína.

228 Já para a análise de grupamento tiol, 1 g de amostra foi triturada em solução de
229 hidroximetil aminometano (TRIS) e dodecil sulfato de sódio (SDS). Aquecendo as
230 amostras a 80°C/30 min., estas foram centrifugadas a baixa temperatura e reagidas com
231 o ácido ditionitrobenzóico (DTNB). A leitura foi realizada com comprimento de onda
232 de 412 nm (reação de cor), e a proteína em leituras a 280 nm. Utilizou-se curva padrão
233 com cisteína, realizando diversas diluições, que foram comparadas com as absorbâncias
234 obtidas na quantificação do grupamento tiol (ELLMAN, 1959 com modificações). A
235 utilização de uma curva padrão com o aminoácido cisteína com múltiplas diluições foi
236 necessária, onde as absorbâncias obtidas foram comparadas com os resultados das
237 amostras e sendo expressas em nanomol de SH/mg de proteína.

238 **3.4.3 Análise termográfica**

239 Foram realizadas imagens térmicas no experimento 2, modo normal, durante os
240 12 min.de processamento. O aumento da temperatura ao longo da sonicação foi
241 observado na carne e na emulsão pronta. As interferências da umidade relativa do ar (%
242 UR), foram minimizadas com desumidificador (marca ARSEC[®] modelo-160 com
243 umidade de 50 %)acionado previamente. A câmera de ondas infravermelhas marca Flir[®]
244 (modelo- FLIR E60, EUA) forneceu imagens com 320 x 240 pixels e taxa de quadros
245 de 30 Hz, sob um *Software Research IR* (FLIR). A câmera foi posicionada 30 cm de
246 distância das amostras dentro da cuba do ultrassom, registrando assim as imagens

247 térmicas. No total 60 pontos superficiais foram mensurados, com 3 fotos para cada
248 tempo transcorrido de sonicação. Definiu-se uma área da esquerda (1) para a direita (2),
249 onde capturou-se todos pontos de temperatura nesta faixa, conforme a Figura 1.

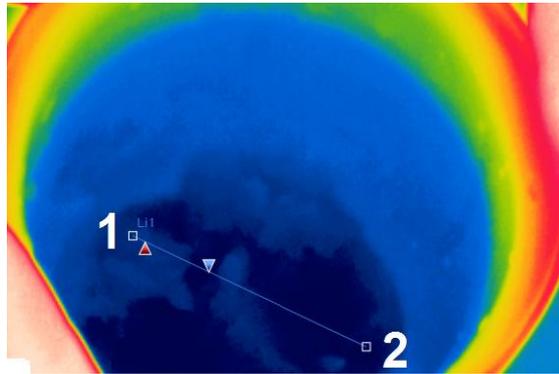


Figura 1-Sentido da mensuração dos diferentes pontos de temperaturas. As leituras foram direcionadas do ponto 1 ao ponto 2. (Simbologia: Triângulo voltado para baixo ▼: ponto de menor temperatura; Triângulo voltado para cima ▲: ponto de maior temperatura).

250 3.4.4 Análise estatística

251 Cada experimento foi realizado em sextuplicata e em diferentes dias ($n=6$), com
252 diferentes amostras de carne. Os dados foram analisados através de análise de variância
253 (ANOVA), usando um modelo geral linear que considerou os tratamentos como efeito
254 fixo e as replicatas como efeito aleatório. A diferença significativa foi calculada pelo
255 teste de Tukey em diversos níveis de significâncias ($P<0,001$), ($P<0,01$), ($P<0,05$) e
256 ($P>0,05$). Os dados foram avaliados com auxílio do programa
257 estatístico IBM SPSS Statistics 22 for Windows (IBM Corporation, Armonk, NY,
258 2013).

259 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

260 Aplicação de diferentes modos de ultrassom na carne e na emulsão pronta

261 No experimento 1, os resultados da aplicação de diferentes modos (degas,
262 normal e *sweep*) de ultrassom por 6 minutos na carne (utilizadas após a sonicação para
263 elaborar uma emulsão) e na emulsão pronta, estão representados na tabela 1 e 2
264 respectivamente. A aplicação de diferentes modos de ultrassom na carne não aumentou
265 o rendimento (Tabela 1). Por outro lado, a aplicação na emulsão pronta teve um efeito
266 positivo, sendo que o modo normal proporcionou o melhor rendimento, inclusive
267 diferindo ($P<0,001$) dos demais modos (88,7%, Tabela 2). A cavitação de alta
268 intensidade oriunda do processo de sonicação, promove melhoras significativas na
269 ruptura de tecidos conjuntivos em carne, e promovem extração de proteínas presentes
270 no meio, e quanto maior a extração melhor para a elaboração da emulsão
271 (JAYASOORIYA et al., 2004; CHANG et al., 2012; CHANDRAPALA et al., 2012).

272 O tratamento com US na carne e na emulsão pronta pelo modo *sweep*, favoreceu
273 maiores exsudações significativas ($P<0,001$) de gordura (1,3 e 0,76 respectivamente) e
274 água (13,8 e 10,1 respectivamente, tabelas 1 e 2), no entanto, o modo normal não
275 alterou negativamente os valores de exsudação, decorrente de apresentar valores de
276 exsudação de água significativamente ($P<0,001$) menores ao do controle. As alterações
277 significativas ($P<0,001$) com a sonicação da carne, no modo degas em relação ao pH
278 (6,21 na Tabela 1), ocasionou aumento em relação ao controle (6,14) aos demais modos
279 (6,15 em ambos).

280 Os tratamentos com US nos modos degas (5,83), normal (5,79) e *sweep* (5,78)
281 na emulsão pronta (Tabela 2) favoreceram um decréscimo nos valores ($P<0,001$) de pH,
282 em relação ao controle (5,85). Um dos principais problemas do uso de US de alta
283 intensidade, é o controle das alterações resultantes da cavitação, que pode modificar o
284 pH, textura e estrutura das proteínas (GÜLSEREN, GÜZEY, BRUCE, & WEISS,

285 2007). Se a alteração de pH promovida pelo US ficar próximo ao PI da miosina e da
286 actina, isso pode ter efeitos não benéficos quando na elaboração da emulsão.

287 O ultrassom promoveu decréscimo no valor de mV na aplicação de US na carne
288 (Tabela 1), no modo *sweep* (94), onde os transdutores operam em uma faixa estreita,
289 homogeneizando de maneira uniforme a cavitação, possivelmente ter diminuído o valor
290 de mV. Para os valores na emulsão pronta conforme a tabela 2, o modo normal (111,9)
291 decresceu ($P<0,001$) em relação ao controle (124), degas (115,9) e *sweep* (114,6),
292 ocasionado possivelmente por uma maior oxidação ao meio.

293 O emprego do ultrassom com diferentes modos operacionais na carne e na
294 emulsão pronta nas tabelas 1 e 2 respectivamente, modificaram os parâmetros de
295 textura, como dureza e coesividade do gel (Tabela 1 e 2). Os resultados de dureza na
296 aplicação de US na carne (Tabela 1) comparados ao controle (33,1 N), diminuíram
297 ($P<0,001$) com relação aos diferentes modos degas (28,5 N), normal (29,5 N) e *sweep*
298 (29 N). A dureza com aplicação na emulsão pronta (Tabela 2), aumentou para o modo
299 degas (28,4 N) e diminuiu ($P<0,001$) para os tratamentos controle (26,5 N), normal
300 (26,9 N) e *sweep* (24,3 N), este último, que teve o maior decréscimo. A mudança nas
301 estruturas proteicas realizadas pelo uso do ultrassom, causa abertura de suas cadeias,
302 fazendo novas ligações entre cadeias proteicas, e essas ligações ocorrendo, impedem
303 ligações com água e a gordura e assim podem modificar o perfil de textura (JAMBRAK
304 et al., 2014).

305 O tratamento com US na carne (Tabela 1), nos modos degas (26,4 N), normal
306 (25,9 N) e *sweep* (26,7 N), diminuíram ($p<0,001$) a mastigabilidade pois requereu
307 menor energia de compressão para desintegrar a emulsão (RAMOS & GOMIDE, 2012),
308 comparados ao controle (27,5 N). Na coesividade, a aplicação de US aumentou
309 ($P<0,05$) os valores em seus diferentes modos, degas (0,77), normal (0,77) e *sweep*

310 (0,75), possivelmente causado por uma maior ruptura das ligações internas entre as
311 proteínas, fragilizando-as por meio da cavitação, agitação e força de cisalhamento
312 oriundas da sonicação (AWAD et al. 2012) e promovendo uma maior coesividade
313 comparados com o controle (0,73), por outro lado, a aplicação na emulsão pronta
314 (Tabela 2), aumentou a coesividade com a exposição no modo normal (0,76) e a
315 mastigabilidade no modo degas (26,7 N). O uso do modo normal em emulsões prontas
316 apresentou uma melhora na coesividade com relação aos demais modos.

Tabela 1-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura na carne submetidas durante 6 minutos a diferentes modos operacionais (degas, normal e sweep).

Propriedades tecnológicas	Tratamentos				SEM	Sig.
	T1	T2	T3	T4		
Rendimento (%)	83,9 ^a	83,5 ^a	83,3 ^a	85,9 ^a	2,7	n.s.
Estabilidade da emulsão						
Exsudação de gordura (%)	1,4 ^a	1,0 ^b	1,1 ^b	1,3 ^a	0,3	***
Exsudação de água (%)	12,6 ^{ab}	12,0 ^b	12,2 ^b	13,8 ^a	3,6	***
pH	6,14 ^b	6,21 ^a	6,15 ^b	6,15 ^b	0,01	***
POR (mV)	106,9 ^a	97,2 ^b	98,0 ^b	94,0 ^c	2,7	***
Textura instrumental						
Dureza (N)	33,1 ^a	28,5 ^c	29,5 ^b	29,0 ^{bc}	1,2	***
Coabilidade	0,73 ^b	0,77 ^a	0,77 ^a	0,75 ^{ab}	0,003	*
Mastigabilidade (N. mm)	27,5 ^a	26,4 ^{bc}	25,9 ^c	26,7 ^b	1,3	***

*SEM- Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: T1: controle sem US; T2: modo degas.; T3: modo normal; T4: modo sweep. Sig.: significância: *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), n.s. ($P > 0,05$).

Tabela 2-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura de emulsões prontas durante 6 minutos a diferentes modos de operacionais (degas, normal e sweep).

Propriedades tecnológicas	Tratamentos				SEM	Sig.
	T1	T2	T3	T4		
Rendimento (%)	84,8 ^c	86,9 ^b	88,7 ^a	87,1 ^b	0,52	***
Estabilidade da emulsão						
Exsudação de gordura (%)	0,85 ^a	0,66 ^{bc}	0,59 ^c	0,76 ^{ab}	0,01	***
Exsudação de água (%)	10,5 ^a	8,9 ^{ab}	7,3 ^b	10,1 ^a	1,8	***
pH	5,85 ^a	5,83 ^b	5,79 ^c	5,78 ^c	0,001	***
POR (mV)	124,0 ^a	115,9 ^b	111,9 ^d	114,6 ^c	2,7	***
Textura instrumental						
Dureza (N)	26,5 ^c	28,4 ^a	26,9 ^b	24,3 ^d	0,14	***
Coabilidade	0,65 ^d	0,69 ^c	0,76 ^a	0,71 ^b	0,001	***
Mastigabilidade (N.mm)	23,3 ^c	26,7 ^a	26,1 ^b	20,6 ^d	0,6	***

*SEM- Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: T1: sem US; T2: modo degas; T3: modo normal; T4: modo sweep. Sig.: significância: *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), n.s. ($P > 0,05$).

317 Aplicação de diferentes tempos de US na carne e na emulsão pronta

318 A influência do uso de US em diferentes tempos (6, 9 e 12 minutos) contribuiu
319 no decréscimo de exsudação de gordura em emulsões prontas (Tabela 3) atingido a
320 menor valor ($P<0,001$) aos 12 min (0,91%), e na carne (Tabela 4) a partir dos 6 min
321 (0,98%), se comparados aos controles correspondentes (1,26% e 1,20%). A diminuição
322 ($P<0,001$) dos níveis de exsudação de água na carne (Tabela 3) ocorreu somente aos 9
323 min. (11,9%) e na emulsão pronta (Tabela 4) a partir dos 6 min., mas em 12 min.
324 ocorreu a menor exsudação (12,75%). Yanjun et al. (2014), ao sonicar em concentrados
325 de proteínas do leite em 20 kHz, com amplitude de 60% nos tempos de 0; 0,5; 1; 2 e 5
326 min. em temperatura controlada, observaram que a capacidade emulsificante das
327 proteínas, aumentou gradualmente com o tempo de sonicação, decorrente de diminuir a
328 exsudação de gordura e da água. Os tempos de aplicação de US de 9 min. na carne e 12
329 min. e em emulsões prontas, proporcionaram os maiores valores ($P<0,001$) de
330 rendimento (85,59% tabela 3 e 84,8% tabela 4).

331 O efeito do US no pH na carne e na emulsão, apresentaram comportamento
332 diferentes. Na carne (Tabela 3) de maneira significativa ($P<0,001$), aos 6 e 12 min. os
333 valores de pH aumentaram (5,90 e 5,89) em relação ao controle (5,85), podendo ter
334 ocorrido uma alteração nas estruturas secundárias das proteínas causadas pelas ondas de
335 cavitação. Estudo realizado por El Kadi, et al. (2006), relatam o comportamento da
336 albumina em diferentes pH, e suas consequências na estrutura (primária, secundária,
337 terciária e quaternária) dessa proteína. Intervalos de pH de 4 para 2, mostraram
338 alterações significativas nas estruturas α - hélice (estrutura secundária), quando
339 sonicadas a 5 MHz. Quando aplicado na emulsão os valores de pH diminuíram
340 ($p<0,001$) aos 6 e 9 min. (5,85 e 5,86) em relação ao controle (5,89), conforme a tabela
341 4.

342 Em todas as condições de aplicação de US efetuadas, somente aos 6 minutos na
343 emulsão não ocorreu redução ($p < 0,001$) do valor de potencial de oxi-redução, nas
344 demais condições estudadas (na carne e na emulsão), os valores foram menores ($p < 0,001$)
345 quando comparados ao controle (Tabelas 3 e 4).

346 A aplicação de diferentes tempos de sonicação na carne não aumentou a dureza e
347 a mastigabilidade ($P > 0,05$) da emulsão em relação ao controle (Tabela 3). A diminuição
348 da dureza foi atribuída às alterações funcionais que ocorreram nas proteínas em carne de
349 lombo suíno. Nesse sentido, Siró et al. (2009) relataram que o tratamento com US a 20
350 kHz por 180 minutos, promoveu desnaturação das proteínas e produziu modificações na
351 dureza em lombos suínos. Fato esse que não ocorreu na carne ao ser tratada com US a
352 25 kHz durante 12 min., mesmo que tenha ocorrido aumento ($p < 0,001$) da coesividade a
353 partir dos 6 min. de cavitação (Tabela 3).

354 Na emulsão os valores de dureza e mastigabilidade passaram a diminuir
355 ($p < 0,001$) em relação ao controle, já aos 6 minutos de exposição ao US a 25 kHz em
356 diante. Esses acontecimentos estariam relacionados ao efeito das navalhas do aparelho
357 nas fibras musculares, associado a extração das proteínas miofibrilares quando da
358 elaboração da emulsão. Fatores esses que favoreceram a propagação das ondas sonoras
359 do US quando se sua aplicação na emulsão, pelo aumento no número de ligações
360 internas da emulsão (Sánchez-Macías et al., 2010), aumentando a coesividade.

361 O monitoramento da temperatura na aplicação de ultrassom na carne e na
362 emulsão pronta, não influenciaram nos resultados de qualidade tecnológica das
363 emulsões. A avaliação da temperatura na carne sem sonicação não ultrapassou os $2 \pm 1^\circ$
364 C durante 12 minutos. Ao aplicar as ondas ultrassônicas na carne, nos 3 primeiros
365 minutos não houve variação significativa, porém, após 12 minutos, a temperatura
366 chegou a $5 \pm 1^\circ$ C.

367 As temperaturas nas emulsões prontas sem ultrassom, variaram entre 1°C a $7 \pm 1^{\circ}\text{C}$,
368 durante 12 minutos. Com a sonicação na emulsão pronta, nos 3 primeiros minutos
369 houve variação de temperatura de 1°C a $7 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Passados 12 minutos de sonicação, a
370 temperatura permaneceu na faixa dos $7 \pm 1^{\circ}\text{C}$. A utilização da água na cuba do banho
371 do US a $12 \pm 1^{\circ}\text{C}$, além da sua troca a cada tratamento, possivelmente ajudou a manter
372 a temperatura na carne e nas emulsões prontas. A importância do monitoramento da
373 temperatura durante o preparo de emulsões é de extrema importância, para que não
374 ocorra o rompimento da emulsão, nem desnaturação das proteínas o que diminui a
375 capacidade emulsificante (ORDÓÑEZ, et al. 2005).

Tabela 3-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura na carne submetida em diferentes tempos (0, 6, 9 e 12 minutos) no modo normal.

Propriedades tecnológicas	Tratamentos				SEM	Sig.
	C0	C6	C9	C12		
Rendimento (%)	84,1 ^b	84,3 ^b	85,5 ^a	84,6 ^b	0,44	***
Estabilidade da emulsão						
Exsudação de gordura (%)	1,2 ^a	0,98 ^b	0,99 ^b	1,06 ^b	0,02	***
Exsudação de água (%)	13,7 ^a	13,9 ^a	11,9 ^b	14,5 ^a	0,29	***
pH	5,85 ^c	5,9 ^a	5,86 ^c	5,89 ^b	0,001	***
POR (mV)	153,1 ^a	135,8 ^b	133,1 ^b	125,6 ^c	1,14	***
Textura instrumental						
Dureza (N)	33,2 ^a	33,3 ^a	31,8 ^a	32,7 ^a	0,62	n.s.
Coabilidade	0,65 ^b	0,7 ^a	0,73 ^a	0,74 ^a	0,006	***
Mastigabilidade (N.mm)	28,8 ^a	30,5 ^a	29,2 ^a	30,5 ^a	0,75	n.s.

*SEM- Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P>0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: C0: carne sem utilização de US. C6: carne seis minutos de US; C9: carne nove minutos de US; C12: carne doze minutos de US. Sig.: significância: *** ($P<0,001$), ** ($P<0,01$), * ($P<0,05$), n.s. ($P>0,05$).

Tabela 4-Efeito do ultrassom nos parâmetros físico-químicos e textura em emulsões prontas submetidas por diferentes tempos (0, 6, 9 e 12 minutos) no modo normal.

Propriedades tecnológicas	Tratamentos				SEM	Sig.
	E0	E6	E9	E12		
Rendimento (%)	82,1 ^c	83,9 ^b	84,35 ^b	84,8 ^a	0,55	***
Estabilidade da emulsão						
Exsudação de gordura (%)	1,26 ^a	1,12 ^b	1,07 ^b	0,91 ^c	0,01	***
Exsudação de água (%)	15,6 ^a	14,2 ^b	13,9 ^b	12,7 ^c	0,3	***
pH	5,89 ^a	5,85 ^c	5,86 ^b	5,88 ^a	0,001	***
POR (mV)	139,5 ^a	142,4 ^a	133,5 ^b	128,3 ^c	1,61	***
Textura instrumental						
Dureza (N)	31,9 ^a	31,8 ^a	30,3 ^b	28,3 ^c	0,52	***
Coabilidade	0,65 ^b	0,72 ^a	0,7 ^a	0,71 ^a	0,002	**
Mastigabilidade (N.mm)	32,3 ^a	31,1 ^a	26,4 ^b	27,9 ^b	0,6	***

*SEM- Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P>0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: E0: sem US; E6: seis minutos de US; E9: nove minutos de US; E12: doze minutos de US. Sig.: significância: *** ($P<0,001$), ** ($P<0,01$), * ($P<0,05$), n.s. ($P>0,05$).

376 Quando da aplicação de diferentes modos (degas, normal e *sweep*) de ultrassom
 377 (25 kHz, 60% de amplitude) após a emulsão pronta durante 6 minutos, foram analisadas
 378 as características físico-químicas (umidade, proteínas e lipídeos), e as oxidações
 379 lipídicas (TBARS) e proteicas (carbonil e tiol), e os dados são apresentados na tabela 5:

Tabela 5- Características físico-químicas, de emulsões cárneas já finalizadas, submetidas a diferentes modos de aplicação de US (25 kHz) durante 6 minutos.

	Tratamentos				SEM	Sig.
	T1	T2	T3	T4		
Características físico-químicas						
Umidade (%)	65,0 ^c	62,9 ^d	65,9 ^b	67,7 ^a	2,2	***
Proteínas (%)	16,8 ^a	14,6 ^c	15,6 ^b	14,6 ^c	0,4	***
Lipídeos (%)	14,0 ^b	12,9 ^c	13,2 ^{bc}	15,6 ^a	2,6	***
Oxidação lipídica						
TBARS ¹	0,12 ^a	0,11 ^a	0,14 ^a	0,15 ^a	0,006	n.s.
Oxidação proteica						
Carbonil ²	13,5 ^b	17,3 ^a	13,4 ^b	17,6 ^a	3,1	***
Tiol ³	124,0 ^a	99,4 ^d	110,1 ^b	106,9 ^c	11,4	***

SEM- Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: T1: sem US; T2 modo degas; T3 modo normal e T4 modo sweep.

¹mg de malonaldeído/Kg de amostra; ²nanomol de DNPH/mg de proteína; ³ nanomol de SH/mg de proteína.

Sig.: significância: *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), n.s. ($P > 0,05$).

380 Os valores de umidade, proteínas e lipídeos, no modo degas foram menores
381 (62,9 %; 14,6 % e 12,9 % respectivamente), comparados com os demais modos de
382 aplicação de US (Tabela 5). No modo *sweep* os valores de umidade (67,7 %) e lipídeos
383 (15,6 %), foram maiores em relação aos outros modos trabalhados.

384 Valores de TBARS não diferiram entre si nos diferentes modos de ultrassom
385 empregados (Tabela 5).

386 A oxidação de proteínas, ocorreu mais acentuada no modo *sweep*, pois
387 apresentou o maior valor de carbonil (17,6 nanomol de DNPH/mg de proteína) que
388 diferiu ($P < 0,001$) do controle (13,5 nanomol de DNPH/mg de proteína) e do modo
389 normal (13,4 nanomol de DNPH/mg de proteína). Quando da determinação de tiol, no
390 modo degas ocorreu a maior oxidação (99,4 nanomol de SH/mg de proteína), que
391 diferiu ($P < 0,001$) do controle e dos modos normal e *sweep*.

392 3.6 CONCLUSÃO

393 A aplicação de US no modo operacional normal por 6 minutos em emulsões já
394 elaboradas melhorou significativamente o rendimento, diminuindo os níveis de
395 exsudações de gordura e água. Em emulsão tratada com US no modo normal, os valores
396 de pH e potencial de oxi-redução (mV) diminuíram em comparação ao controle. No
397 perfil de textura, a aplicação de US no modo normal no parâmetro dureza ocorreu
398 melhora tanto tratando a carne como a emulsão pronta. O tempo de 6 minutos de
399 sonicação no modo normal na emulsão pronta, melhorou a mastigabilidade. De uma
400 maneira geral, o modo normal proporcionou melhora na qualidade tecnológica das
401 emulsões cárneas. A dureza e a mastigabilidade quando aplicado US na carne durante o
402 tempo de 9 minutos, aumentaram e diminuíram respectivamente. Doze minutos de
403 aplicação de US em emulsão pronta, promoveu melhora na dureza, coesividade e
404 mastigabilidade. O US nos diferentes modos de aplicação não promoveu oxidação

405 lipídica, o mesmo não ocorreu com a oxidação proteica. A variação da temperatura
406 proporcionada pela aplicação de US na emulsão e na carne, não foi suficiente para
407 desestabilizar as emulsões elaboradas. Este estudo sugere a possível aplicação do US de
408 25 kHz, modo normal, no tempo de 12 minutos em emulsões já prontas.

409 3.7 REFERÊNCIAS

410 Aguilera, J. M.; Rademacher, B. (2004). Protein gels. In: *Proteins in Food Processing*,
411 Cap. 20, 468–482. Rickey Yoshio Yuda, Ed. Woodhead Publishing Limited and CRC
412 Press LLC, New York. DOI: doi.org/10.1533/9781855738379.3.468.

413 AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical*
414 *Chemists*. 16th ed., supplement Washington, DC.

415 AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical*
416 *Chemists*. 18th ed., Washington, DC.

417 Arzeni, C. et al. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food
418 proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108 (3), 463–472. DOI:
419 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018.

420 Awas, T. S, et al. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality
421 control of food: A review. *Food Research International*, 48 (2), 410-427. DOI: 10.1016
422 /j.foodres.2012.05.004.

423 Barbosa-Canovas, G. V.; Bermúdez-Aguirre, D. (2010). Novel Food Processing
424 Technologies and Regulatory Hurdles. In: *Ensuring Global Food Safety: Exploring*
425 *Global Harmonization*. Cap. 16, 281-287. DOI: 10.1016/B978-0-12-374845-4.00016-
426 3In.

427 Bermudez-Aguirre, D. et al. (2011). Ultrasound applications in food processing. In:
428 *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. 1^a ed. 668. DOI: 10.1007/978-1-
429 4419-7472-3.

- 430 Bizzi, et al. (2011). A Fast Microwave-Assisted Procedure for Loss on Drying
431 Determination in Saccharides. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22 (2), p. 376-
432 381, 2011. DOI: 10.1590/S0103-50532011000200026.
- 433 Bligh, E. G.; Dyer, W. J. (1959) A rapid method of total lipid extraction and
434 purification. *Journal of Biochemistry and Physiology*, v. 37 (8), p. 911-917. DOI:
435 10.1139/o59-099.
- 436 Bruna, J. M.; et al. (2001). Microbial and physico-chemical changes during the ripening
437 of dry fermented sausages superficially inoculated with or having added an intracellular
438 cell-free extract of *Penicillium aurantiogriseum*. *Meat Science*, v. 59 (1), p. 87-96,
439 2001. DOI: 10.1016/S0309-1740(01)00057-2.
- 440 Bryksa, B. C.; Yada, R.Y. (2015). Bioquímica de Alimentos. *Ciência e Tecnologia de*
441 *Alimentos de Campbell-Platt*. Tradução: Sueli Rodrigues Coelho e Soraya Imon de
442 Oliveira. São Paulo: Manole, Cap. 4, 57-85.
- 443 Cárcel, J. A.; García-Pérez, J. V.; Benedito, J.; Mulet, A. (2012). Food process
444 innovation through new technologies: use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*,
445 110 (2), 200-207. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.038.
- 446 Cavalieri, F., et al. (2008). Ultrasonic synthesis of stable, functional lysozyme
447 microbubbles. *American Chemical Society-Langmuir*, 24, (18), 10078–10083.
448 DOI: 10.1021/la801093q.
- 449 Chandrapala, J. et al. (2012). Ultrasonics in food processing. *Ultrasonics*
450 *Sonochemistry*, 19 (5), 975-983. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.01.010.
- 451 Chandrapala, J. et al. (2011). Effects of ultrasound on the thermal and structural
452 characteristics of proteins in reconstituted whey protein concentrate. *Ultrasonics*
453 *Sonochemistry*, 18 (5), 951-957. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.12.016>.

- 454 Chemat, F.; Huma, Z. E.; Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food
455 technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18 (4),
456 813-835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.
- 457 Chen, L. (2015). Emulsifiers as food Texture modifiers. In: *Modifying Food Texture*.
458 Cap. 2, 27-49. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Reino Unido. DOI:
459 10.1016/B978-1-78242-333-1.00002-4.
- 460 b-Damodoran, S; Parkin, K.L; Fennema, O. (2010). Aminoácidos, Peptídeos e
461 Proteínas. In: *Química dos Alimentos de Fennema*. 4ª ed. 900 p. Artmed: Porto Alegre.
- 462 El Kadi, N. et al. (2006). Unfolding and Refolding of Bovine Serum Albumin at Acid
463 pH: Ultrasound and Structural Studies. *Biophysical Journal*, v. 91 (9), p. 3397-3404.
464 DOI: 10.1529%2Fbiophysj.106.088963.
- 465 Ellman, G, L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and*
466 *Biophysics*, 82 (1), p. 70-77. DOI: 10.1016/0003-9861(59)90090-6.
- 467 Gowen, A. A. et al. (2010). Applications of thermal imaging in food quality and safety
468 assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 21 (4), 190-200. DOI:
469 10.1016/j.tifs.2009.12.002.
- 470 Gülseren, I, Güzey, D.; Bruce, B.; Weiss, J. (2007). Structural and functional changes in
471 ultrasonicated bovine serum albumin solutions. *Ultrasound Sonochemistry*, 14 (2), 173-
472 183. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2005.07.006.
- 473 Jay, J. M.; Loessner, M. J. Golden, D. A. (2005). *Modern Food Microbiology*. 7ª ed.
474 Springer: USA.
- 475 Jambrak, A. R., et al. (2014). Effect of ultrasound treatment on particle size and
476 molecular weight of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, v. 121, 15-23. DOI:
477 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.012.

- 478 Jermanna, C. et al. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing
479 technologies around the world. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v.
480 31, 14-27. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.06.007.
- 481 Jimenez-Colmenero, F.; Ayo, M. J.; Carballo, J. (2005). Physicochemical properties of
482 low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with
483 caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers. *Meat Science*, 69 (4), 781–788. DOI:
484 10.1016/j.meatsci.2004.11.011.
- 485 a-Hu, H. et al. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy
486 protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*, 30 (2), 647-655. DOI:
487 10.1016/j.foodhyd.2012.08.001.
- 488 b-Hu, H. et al. (2013). Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with
489 high intensity ultrasonic pre-treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20 (1), 187-195.
490 DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.07.011.
- 491 Ishioroshi, M.; Jima, K. M.; Yasui T. (1979). Heat-induced gelation of myosin: factors
492 of pH and salt concentrations. *Journal Food Science*, 44 (5), 1280–1284. DOI:
493 10.1111/j.1365-2621.1979.tb06419.x.
- 494 Knorr, D. et al. (2011). Emerging Technologies in Food Processing. *Annual Review of*
495 *Food Science and Technology*, 2, 203-235. DOI: 10.1146/annurev.food.102308.124129.
- 496 Levine, R. L. et al. (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified
497 protein. *Methods in Enzymology*, 186, p. 464- 478. DOI: 10.1016/0076-6879(90)86141-
498 H.
- 499 Li, K. et al. (2014). Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of
500 batter suspensions prepared from PSE- like chicken breast meat. *Food Bioprocess*
501 *Technology*, 7 (12), 3466-3477. DOI:10.1007/s11947-014-1358-y.

- 502 Liu, Z. et al. (2014). Ultrasound improves the renneting properties of milk. *Ultrasonics*
503 *Sonochemistry*, 21 (6), 2131-2137. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.03.034.
- 504 Loskyll, J.; Stoewe, K.; Maier, W. F. (2012). Infrared Thermography as a High-
505 Throughput Tool in Catalysis Research. *ACS Combinatorial Science*, v. 14 (5), 295-
506 303. DOI: 10.1021/co200168s.
- 507 Marques, I. E. et al. (2016). Are infrared and microwave drying suitable alternatives for
508 moisture determination of meat products? *Journal of Food Quality*, 39, p. 391-397.
509 DOI: 10.1111/jfq.12195.
- 510 ORDÓÑEZ, J. A. et al. (2005). *Tecnología de alimentos: alimentos de origen animal*.
511 Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 2.
- 512 O'Sullivan, J. et al. (2015). Comparative assessment of the effect of ultrasound treatment
513 on protein functionality pre- and post-emulsification. *Colloids and Surfaces A:*
514 *Physicochemical and Engineering Aspects*, 484 (5), 89-98. DOI:
515 <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.07.065>.
- 516 Parks, L. L.; Carpenter, J. A. (1987). Functionality of six non meat proteins in meat
517 emulsion systems. *Journal Food Science*, 52 (2), 271-274. DOI: 10.1111/j.1365-
518 2621.1987.tb06590.x.
- 519 Piyasena, P.; Mohareb, E.; McKellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using
520 ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87 (3), 207-216.
521 DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00075-8.
- 522 Sánchez-Macías, D. et al. (2010). Physicochemical analysis of full-fat, reduced-fat, and
523 low-fat artisan-style goat cheese. *Journal of Dairy Science*, 93 (9), 3950-3956. DOI:
524 10.3168/jds.2010-3193.

- 525 Soria, A. C.; Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties
526 and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21 (7), 323-
527 331. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.04.003.
- 528 Siró, I. et al. (2009). Application of an ultrasonic assisted curing technique for
529 improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food*
530 *Engineering*, v. 91, p. 353-362. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015.
- 531 Sun, D. X.; Holley, R. A. (2010). Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar
532 Proteins in Muscle Foods, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*,
533 10, 33-51. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2010.00137. x.
- 534 Vadivambal, R.; Jayas, D. S. (2011). Applications of Thermal Imaging in Agriculture
535 and Food Industry-A Review. *Food Bioprocess Technol*, 4 (2), 186-199,
536 DOI:10.1007/s11947-010-0333-5.
- 537 Zhao, Y. Y., et al. (2014). Effect of pre-emulsification of plant lipid treated by pulsed
538 ultrasound on the functional properties of chicken breast myofibrillar protein composite
539 gel. *Food Research International*, 58, 98-104. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.01.024.
- 540 Yang, M.; Liu, F.; Tang, C. H. (2013). Properties and microstructure of
541 transglutaminase-set soy protein-stabilized emulsion gels. *Food Research International*,
542 52(1), 409–418. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.11.012.
- 543 Yanjun, S. et al. (2014). Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and
544 functional properties of reconstituted milk protein concentrate. *Journal of Food*
545 *Engineering*, 124, 11–18. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.09.013.

4. CAPÍTULO 2 - EFEITO DO ULTRASSOM NOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS E OXIDATIVOS EM EMULSÕES CÁRNEAS.

4.1 MATERIAL E MÉTODOS

4.1.1 Obtenção da matéria-prima, e elaboração da emulsão cárnea

Paleta suína (*Triceps brachii*) a $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ e o toucinho a $3\pm 1^{\circ}\text{C}$, foram adquiridos em um frigorífico local, transportados em caixa térmica e direcionados ao laboratório para serem moídos, pesados, fracionados e acondicionados dentro de béqueres de plástico de 250 mL. As amostras fracionadas foram mantidas em geladeira ($2 \pm 1^{\circ}\text{C}$) para equalização da temperatura. Para a elaboração das emulsões, um *mixer* (modelo: PHILIPS WALITA[®]- RI1364, 400 W) foi utilizado. As miofibrilas foram extraídas da carne (77,5%), adicionada de gelo (5%) e NaCl (2,5%), misturadas por 30 seg., e após adicionando toucinho (15%) e misturando por 1 min.

4.1.2 Aplicação de diferentes modos de US durante a elaboração da emulsão cárnea

Aplicação de US a 25 kHz, 60 % de amplitude, com diferentes modos operacionais (degas, normal e *sweep*) por 6 min., utilizou-se de um *mixer* (Figura 1) dentro de um béquer de vidro (1000 mL, previamente refrigerado) contendo as amostras. Os béqueres foram posicionados à cuba do US para a elaboração da emulsão (Figura 2). A cuba foi preenchida com água a $12 \pm 1^{\circ}\text{C}$, ocorrendo seu descarte ao final de cada tratamento, sendo preenchida novamente com água. Béqueres novos e arrefecidos, e todos os utensílios utilizados foram imersos em banho de gelo (haste do mixer, copo e navalhas do multiprocessador, colheres).

Figura 7-Equipamento mixer. (A) Todo o equipamento. (1A) Medida do motor (18 cm); (2A) Medida da haste com as navalhas (19,2 cm); (3A) Botões de comando. (B) Vista de cima da haste com as navalhas (diâmetro das navalhas 5 cm).



Fonte: Autor

Figura 8-Elaboração das emulsões com uso do mixer; (1) ultrassom; (2) béquer submerso na cuba ultrassônica; (3) mixer utilizado no processo de trituração das amostras.



Fonte: Autor (2017)

4.1.3 Avaliação da qualidade tecnológica das emulsões

4.1.3.1 pH e mV

A avaliação do pH foi com um potenciômetro digital (DIGMED[®] BRASIL) calibrado conforme o fabricante. Com 5 g de emulsão mais 50 mL de água destilada medidos em proveta de 50 mL, foram homogeneizados em *mixer* (modelo: PHILIPS WALITA[®]- RI1364, 400 W), conforme a metodologia da AOAC (2006) com modificações. O potencial redox (mV) foi determinado da mesma maneira do que o pH, porém com eletrodo de platina (DIGMED[®] BRASIL).

4.1.3.2 Rendimento no cozimento

Foram pesadas 30 g de emulsão em sacos de nylon com polietileno de baixa densidade, selados à vácuo em seladora (SELOVAC[®] modelo-200B, São Paulo, Brasil), que foram colocados a 70°C/60 min., resfriados e pesados (PARKS & CARPENTER 1987). O resultado foi expresso em porcentagem.

4.1.3.3 Estabilidade da emulsão (*exsudação de gordura e água*)

Uma porção de 10 g de amostra foi centrifugada sob refrigeração a 4700 rpm por 5 minutos, e após foi submetida a 95°C/40 min. Resfriado em banho de gelo, pesou-se em béqueres (50 mL) previamente secos e pesados, que foram direcionados à estufa 105°C/24 h e posteriormente pesados (JIMENEZ-COLMENERO, AYO & CARBALLO, 2005 com modificação). Os resultados foram expressos em porcentagem.

4.1.3.4 Oxidação lipídica por TBARS

Através da metodologia de BRUNA, et al. (2001), com modificações, a análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi realizada. Pesando 5 g de amostra em tubos de 50 mL, contendo 1 mL de butilhidroxitolueno (BHT 0,15 %) e 20 mL de ácido tricloacético (TCA 5%), foram trituradas sob banho de gelo. Por 4 °C/ 10 minutos a 3000

rpm, os tubos foram centrifugados, e o sobrenadante extraído foi filtrado para um béquer de 50 mL. Do filtrado, foi extraído uma alíquota de 2 mL para tubos de ensaio e adicionado 2 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA), onde as amostras foram direcionadas ao aquecimento de 95°C/ 5 minutos. Após o resfriamento dos tubos, leu-se em absorvância de 531 nanômetros (nm). Os resultados foram em mg de malonaldeído (MDA) / kg de amostra, comparando com a curva padrão realizada no mesmo dia da análise e com o mesmo TBA do dia e utilizando concentrações decrescentes do reagente tetraetóxiopropano (TEP).

4.1.3.5 Oxidação de proteínas por Carbonil e Tiol

O processo oxidativo proteico foi avaliado determinando o conteúdo de grupamentos carbonil, (LEVINE, 1990) com modificações, onde 1 g de amostra foi pesada em tudo de 25 mL, triturada em ultra turrax (TECNAL[®]BRASIL) durante 30 segundos com 10 mL de tampão fosfato pH 6,9 de molaridade (M) 0,04. Uma alíquota de 500 µL do sobrenadante do homogeneizado foi retirada, dividiu-se as amostras em tubos que entrariam em contato com 250 µL do reagente dinitrofenilhidrazina (DNPH) e outros com 250 µL do ácido clorídrico (HCl) 2 M considerado o branco da análise. Ambos os tubos foram resguardados em local escuro por 30 minutos, sendo que a cada 15 minutos os tubos eram agitados com vórtex. Adicionou-se 250 µL de TCA a 10% em todos os tubos que foram submetidos a centrifugação a 3500 rpm/ 5 min. As amostras nos tubos formaram pellet, onde se descartou o sobrenadante, e lavou-se por 5 vezes cada tubo com 500 µL do reagente acetato de etila: etanol (1:1 v/v). Com a adição de 2 mL de tampão SDS 2%, o *pellet* foi dissolvido com agitação e direcionados ao aquecimento de 37°C/ 10 min. As amostras foram novamente centrifugadas por 3500 rpm/ 5 min. Para as leituras em espectrofotômetro, as amostras contendo DNPH foram submetidas a 370 nm. As amostras que continham HCl e DNPH foram lidas a 280 nm. Para o cálculo da quantidade de grupos carbonílicos, utilizou-se uma curva padrão de albumina, realizando diluições para posterior comparação com as absorvâncias encontradas na análise, expressando os resultados em nanomol de DNPH/mg de proteína.

Para o tiol, 1 g de amostra foi colocada dentro de tubos de 25 mL, e triturada em solução de hidroximetil aminometano (TRIS) a 0,1 M mais dodecil sulfato de sódio (SDS) a 5 %, totalizando 10 mL em ultra turrax (TECNAL[®]BRASIL) no tempo de 1 minuto. As amostras foram aquecidas por 80°C/30 min., e posteriormente centrifugadas a 3000 rpm a temperatura de 4°C e filtradas em béqueres de 25 mL. Do filtrado, 400 µL foi pipetado e

adicionado 1800 μL de solução TRIS-SDS e diluído. Deste diluído, coletou-se 500 μL para tubos que reagiram com 500 μL de ácido ditionitrobenzólico (DTNB) por 30 minutos no escuro. Já o branco da análise (somente a proteína), foi pipetado do diluído 100 μL e adicionado 4,9 mL de solução TRIS-SDS. As amostras contendo DTNB, absorvem em comprimento de onda de 412 nm (reação de cor), e as amostras com proteína foram quantificadas em leituras a 280 nm. Utilizou-se uma curva padrão com aminoácido cisteína com múltiplas diluições para posteriores comparações com as absorbâncias obtidas na quantificação do grupamento tiol (ELLMAN, 1959 com modificações). Os resultados foram expressos em nanomol de SH/mg de proteína.

4.1.3.6 Determinação de gordura por Bligh Dyer

Pesou-se 5 g de amostra e se adicionou 4 mL de água destilada, 16 mL de metanol e triturou-se. Após adicionou-se 8 mL de clorofórmio e agitou-se horizontalmente em mesa agitadora (modelo: Q225M, marca QUIMIS[®]), por 30 minutos. Após a agitação, mais 8 mL de clorofórmio e solução de sulfato de sódio 1,5% foram adicionadas em cada tubo, e centrifugados por 2500 rpm/ 5 minutos. Separada as fases, a última foi pipetada, e filtrada. Para determinar a gordura, 5 mL do filtrado foi transferido para béqueres (50 mL) previamente pesados secos em estufa, para a evaporação total do clorofórmio. Para auxiliar numa evaporação completa, os béqueres foram direcionados à estufa por 105°C/2 horas. Após os béqueres foram resfriados em dessecador, e pesados. Os cálculos da porcentagem de lipídeos totais foram de 100 g de amostra, considerando as diluições feitas durante a análise (BLIGH & DYER, 1959 com modificações).

4.1.3.7 Determinação de cinzas

Para a mensuração dos resíduos inorgânicos nas emulsões, a referência utilizada foi de Cecchi, (2003). Pesou-se 5 g de emulsão em cadinhos previamente calcinados, que foram direcionadas com auxílio de um tenaz à mufla (modelo Q 318, marca QUIMIS[®]) sob temperatura inicial de 100 °C e após 1 hora a temperatura foi elevada para 500°C por 5 horas. As amostras foram retiradas da mufla resfriadas e pesadas. Os resultados foram calculados

diminuindo o peso final (cadinho mais amostra) com o peso vazio do cadinho calcinado, dando a quantidade de cinzas das amostras.

4.1.3.8 Determinação de proteína bruta por Micro-Kjeldahl

A proteína bruta envolve um grupo de substâncias que tem como estrutura fundamental os aminoácidos. Em tubos de digestão (50 mL), pesou-se 0,5 g de amostra mais mistura catalítica e ácido sulfúrico (10 mL). Em um bloco digestor, os tubos foram submetidos a 375 °C (sendo aumentada gradativamente). Finalizada a fase de digestão, onde a coloração ficou esverdeada, adicionou-se água destilada (20 mL) e solução de fenolftaleína (3 gotas). Na etapa de destilação, 30 mL de hidróxido de sódio a 40 % mais 25 mL de ácido bórico foram usados. Para titular as amostras que estavam em erlenmeyer (100 mL), ácido clorídrico a 0,1 normal (N) foi usado em bureta de 50 mL, e assim, a mudança de cor (de verde para rosa), sinalizou o final da titulação (AOAC, 1995 com modificações). Os resultados foram expressos em porcentagem de proteína bruta na massa parcialmente seca.

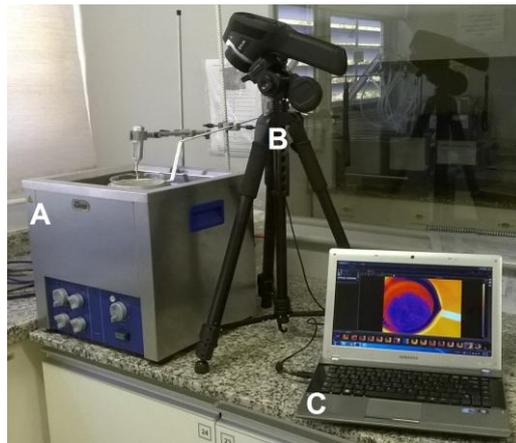
4.1.3.9 Determinação de umidade

Utilizou-se as técnicas descritas por Marques, et al. (2016) e Bizzi, et al, (2011). A perda da umidade foi realizada dentro de um micro-ondas convencional BRASTEMP® (modelo BMK-38ABBNA, 38 litros, 2,450 MHz, Brasil) adaptado, e denominado como metodologia *Microwave-assisted Loss On Drying* (MALOD). Fluxo contínuo de água dentro do aparelho foi necessário, através de uma mangueira de polietileno para que não ocorresse o superaquecimento do aparelho. Utilizou-se copos de polipropileno, previamente secos em dessecadores e pesados, foram pesadas 2 g de amostra dentro dos copos em balança analítica, que foram colocados ao longo do prato do micro-ondas em sua parte externa. Durante 15 minutos, houve circulação de água na mangueira interna e a secagem. Os resultados foram expressos em porcentagem.

4.1.4 Análise termográfica

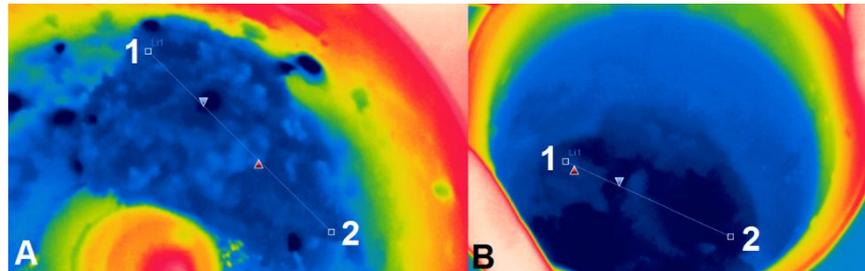
As fotografias foram tiradas durante a sonicação na extração (0 a 1 min.) e após sua finalização (1 a 5,5 min.), no *mixer*. Com 30 cm de distância do banho ultrassônico (Figura 3), a câmera FLIR[®] (modelo- FLIR E60, EUA) forneceu imagens com 320 x 240 *pixels* e taxa de quadros de 30 Hz. Em cada momento foram tiradas 3 fotos, totalizando 60 leituras tratadas no *software Research IR* (FLIR). A área que determinou as temperaturas, foi definida horizontalmente, do ponto 1 para o 2, conforme a Figura 4.

Figura 9-Posição da câmera termográfica na realização das fotos para cada tratamento. (A) Banho ultrassônico; (B) Posição da câmera termográfica no US; (C) Unidade de recebimento de sinal.



Fonte: Autor (2017)

Figura 10-Demonstração de como foram mensurados os diferentes pontos de temperaturas. Figura A- fotografia da emulsão preparada no multiprocessador. Figura B-fotografia da emulsão pronta no banho de US. As leituras foram direcionadas do ponto 1 ao ponto 2. (Simbologia: Triângulo voltado para baixo ▼: ponto de menor temperatura; Triângulo voltado para cima ▲: ponto de maior temperatura)



Fonte: Autor (2017).

4.1.5 Análise estatística

Análise de variância (ANOVA), utilizando um modelo geral linear que considerou os tratamentos como efeito fixo e as replicatas como efeito aleatório com 6 repetições em diferentes dias da semana (n=6). O teste de Tukey foi aplicado quando diferenças significativas eram encontradas em diversos níveis de significâncias ($P<0,001$), ($P<0,01$), ($P<0,05$) e ($P>0,05$). O *software* estatístico IBM SPSS Statistics 22 for Windows (IBM Corporation, Armonk, NY, 2013) foi usado.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de proteína nos modos degas (16 %), normal (14,8 %) e *sweep* (15,3 %), mostraram-se inferiores ($P<0,001$) ao do controle (17,4 %), mostrando que o US (Tabela 2), promoveu alterações nas estruturas das proteínas, possibilitando maiores interações com a água e com os lipídios (SGARBIERI, 1996). Assim os valores de umidade nos modos degas (65,7 %) e normal (65,6 %) foram os maiores, ($P<0,001$) do que o controle (64,5 %), e do modo *sweep* (63,8 %). O teor de umidade está diretamente relacionado com a estabilidade e qualidade das emulsões (CECCHI, 2003). A quantidade de lipídeos nas emulsões elaboradas sobre a ação do US nos diferentes modos de operações, foram maiores ($P<0,001$) do que a encontrada no controle (Tabela 2).

O tratamento com US nos diferentes modos de operações; *sweep* (5,95), *degas* e normal (5,94) promoveram decréscimo nos valores de pH ($P < 0,001$), em relação ao controle (5,97). O mesmo comportamento ocorreu no potencial redox, uma vez que os valores nos modos de operações foram *degas* (95,5 mV), *normal* (102,1 mV) e *sweep* (103,5 mV), e no controle (138,7 mV). Como o US promove modificações nas estruturas das proteínas, essas alterações nos valores de pH e do potencial redox são consequências dessas alterações.

A sonicação durante a elaboração das emulsões proporcionou aumento nos valores de rendimento ($P < 0,001$) em relação ao controle (84,79%), destacando-se o modo de operação normal com rendimento de 88,68% (Tabela 2). Ocorrendo um aumento de 3,89% no rendimento, conseqüentemente as exsudações de gordura (0,59%) e de água (7,28%) foram menores ($P < 0,001$) do que o controle (0,85% e 10,49% respectivamente). Mas no modo de operação “*sweep*” a exsudação de água (10,27%) não diferiu do controle (10,49). Esses acontecimentos seriam decorrentes das forças provindas da sonicação, e das forças químicas resultantes das alterações promovidas pelo US, que contribuíram na retenção de umidade e gordura nesses géis (WU et al, 2009). Sendo que no modo “*sweep*” essas forças devem ter sido muito intensas que modificaram bastante a parte polar da molécula proteica, a qual proporcionou um maior valor de exsudação de água (Tabela 2). Nesse modo de operação o valor de carbonil (13,5) somente diferiu ($P < 0,01$) do valor do modo normal (13,2), enquanto o valor de tiol (136,6) diferiu ($P < 0,001$) de todos os demais tratamentos e do controle (Tabela 2). Esses valores indicam que no modo “*sweep*” a oxidação proteica foi mais acentuada (DALLE-DONE, et al. 2001), enquanto que no modo “normal”, a oxidação foi menos acentuada. Grupamentos tióis foram reduzidos quando aplicado US em albumina bovina, propondo que os radicais livres produzidos pela sonicação reagiram com as proteínas e promoveram modificações oxidativas (GÜLSEREN, et al. 2007).

No processo oxidativo lipídico (Tabela 2), não foi detectado alterações (n.s.) entre os diferentes modos de aplicação de US nas emulsões e o controle, comportamento diferente do que ocorreu em filés de pescado tratados com US (60 kHz por 30 minutos), que logo após a sonicação, os valores de TBARS aumentaram (CHANG & WONG, 2012). O tempo de sonicação nas emulsões (5 min.) pode ter sido o responsável por esse acontecimento.

A avaliação da textura instrumental (Tabela 2), demonstrou que no parâmetro coesividade os três modos de aplicação de US promoveram aumento ($P < 0,001$) em relação ao controle. Para a mastigabilidade somente o modo de aplicação “*sweep*” não promoveu aumento em relação ao controle (Tabela 2), enquanto que na dureza os modos agiram de maneira bem distinta, onde o modo “normal” não diferiu do controle, o modo “*degas*”

aumentou ($P<0,001$) mas no modo “sweep” diminuiu ($P<0,001$). Esses comportamentos diferentes estariam relacionados com as modificações que esses modos de aplicação promoveram nas proteínas da carne.

Os resultados de termografia (Figura 11) demonstraram que os diferentes modos de aplicação de US durante todo o processo de elaboração das emulsões e após a finalização, promoveram elevação gradativa da temperatura, onde o maior aumento ocorreu no modo “sweep” seguido do modo “normal” e “degas”. A temperatura variou de 0°C (partindo com tempo de 0,5 minutos) a 2°C (finalizando com tempo de 5,5 minutos) no controle (T1), de 1°C (partindo com tempo de 0,5 minutos) a 4,5°C (finalizando com tempo de 5,5 minutos) no T2 e no T3 de 1,5°C (partindo com tempo de 0,5 minutos) a 5,5°C (finalizando com tempo de 5,5 minutos). No modo “sweep” proporciona maior homogeneidade na distribuição das ondas no banho, gerando um deslocamento contínuo de níveis de pressão sonora (Figura 11), suas temperaturas variaram de 2°C (partindo com tempo de 0,5 minutos) a 6,5°C (finalizando com tempo de 5,5 minutos), porém, em todos os modos a temperatura final não ultrapassou os 7° C.

Figura 11- Variação da temperatura nos diferentes modos de operação do ultrassom, quando aplicado durante 5,5 minutos na elaboração das emulsões. T1- controle; T2- modo degas; T3- modo normal e T4- modo sweep.

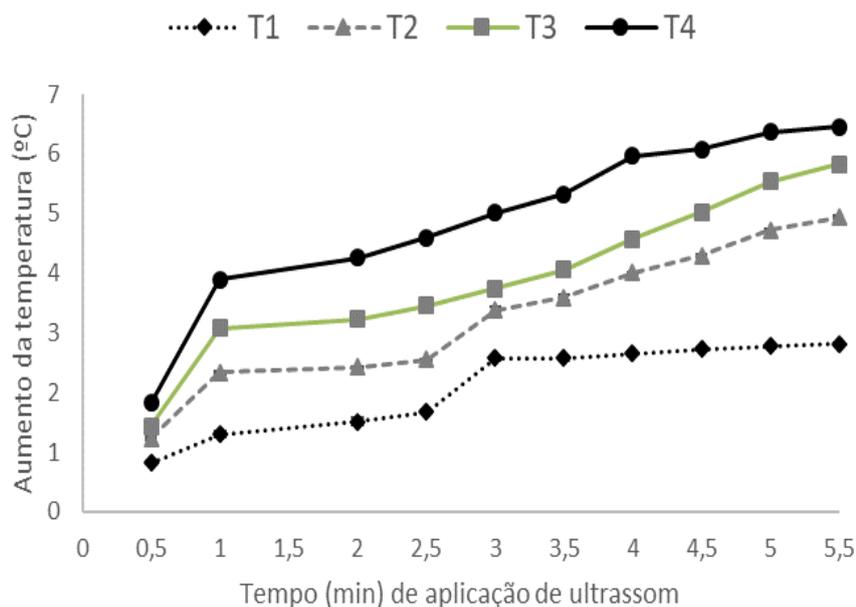


Tabela 2. Propriedades tecnológicas, oxidação lipídica e proteica de emulsões cárneas elaboradas durante todo o processo com aplicação de ultrassom (25 kHz) em diferentes modos de operação durante 5,5 minutos.

	Tratamentos				SEM	Sig.
	T1	T2	T3	T4		
Características físico-químicas						
Umidade (%)	64,5 ^b	65,7 ^a	65,6 ^a	63,8 ^b	1,9	***
Proteínas (%)	17,4 ^a	16,0 ^b	14,8 ^d	15,3 ^c	0,2	***
Lipídeos (%)	14,4 ^c	15,8 ^a	15,0 ^b	15,0 ^b	0,2	***
Cinzas (%)	3,1 ^b	3,4 ^a	3,2 ^b	3,4 ^a	0,02	***
Ph	5,97 ^a	5,94 ^c	5,94 ^c	5,95 ^b	0,001	***
Mv	138,7 ^a	95,5 ^c	102,1 ^b	103,5 ^b	2,5	***
Propriedades tecnológicas						
Rendimento (%)	84,79 ^c	86,89 ^b	88,68 ^a	87,39 ^b	0,33	***
Estabilidade da emulsão						
Exsudação de gordura (%)	0,85 ^a	0,58 ^b	0,59 ^b	0,58 ^b	0,06	***
Exsudação de água (%)	10,49 ^a	7,51 ^b	7,28 ^b	10,27 ^a	0,66	***
Textura instrumental						
Dureza (N)	33,2 ^b	34,7 ^a	32,6 ^b	30,8 ^c	1,3	***
Coabilidade	0,67 ^c	0,78 ^a	0,74 ^b	0,76 ^{ab}	0,003	***
Mastigabilidade (N. mm)	28,0 ^c	32,7 ^a	31,9 ^b	28,5 ^c	1,1	***
Oxidação lipídica						
TBARS ¹	0,05 ^a	0,07 ^a	0,06 ^a	0,05 ^a	0,006	n.s.
Oxidação proteica						
Carbonil ²	13,3 ^{ab}	13,4 ^{ab}	13,2 ^b	13,5 ^a	0,1	**
Tiol ³	133,3 ^d	138,7 ^b	144,1 ^a	136,6 ^c	0,9	***

Nota: SEM = Erro padrão da média. Médias na mesma linha seguida pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey. Tratamentos: **T1** sem aplicação de ultrassom (US). **T2** aplicação de 5,5 minutos de US no modo degas durante a elaboração da emulsão. **T3** aplicação de 5,5 minutos de US no modo normal durante a elaboração da emulsão. **T4** aplicação de 5,5 minutos de US no modo *sweep* durante a elaboração da emulsão.

¹ mg de malonaldeído/Kg de amostra; ² nanomol de DNPH/mg de proteína; ³ nanomol de SH/mg de proteína.

Sig.= significância: *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), n.s. ($P > 0,05$).

5. CONCLUSÕES GERAIS

De maneira geral, a aplicação de US nos diferentes modos de operação do banho, apresentou características similares nos diferentes trabalhos realizados (aplicação na carne, na emulsão após elaborada e na elaboração de emulsão). Verificou-se que o US permitiu modificar o rendimento, as qualidades tecnológicas, e a textura das emulsões.

As aplicações de US associadas aos diferentes modos operacionais por 6 minutos, apresentaram maior efeito na emulsão após de pronta, onde os rendimentos, exsudações, dureza e coesividade, apresentaram melhores valores em relação a emulsão elaborada sem US. Os diferentes tempos aplicados (0, 6, 9 e 12 minutos) de US no modo operacional normal, na carne e na emulsão após pronta, promoveram mudanças no rendimento. Nove minutos de sonicação na carne antes de elaborar a emulsão, apresentou os melhores valores para esse tipo de aplicação, em relação ao rendimento, exsudações, coesividade. Mas quando da aplicação do US na emulsão após elaborada, o tempo que proporcionou os melhores resultados foi de 12 minutos, caracterizando que aplicação do US é melhor após elaborada a emulsão. O US promoveu uma pequena alteração nos valores de proteínas, lipídeos e umidade.

Quando da aplicação do US durante a elaboração da emulsão nos diferentes modos operacionais (5,5 minutos), ocorreu melhoras no rendimento e estabilidade da emulsão, destacando-se o modo operacional normal.

Em todo o trabalho observou-se que a aplicação do US promoveu menores valores de exsudação de gordura e água, e que o modo normal se destacou. Em todos trabalhos realizados, observou-se que o US promove um maior aumento de temperatura, mas esse aumento encontra-se dentro da faixa de temperatura que não promove desnaturação das proteínas, mas recomenda-se que a temperatura seja avaliada durante todo o processo principalmente quando da aplicação do US.

É importante ressaltar que a aplicação de US em emulsões cárneas foi realizada em pequena escala (dentro de um banho ultrassônico), necessitando agora a aplicação em escala piloto. Contudo, é de extrema importância, manter as características do uso do US no respectivo modo de operação, como uma alternativa para melhorar a qualidade na elaboração de emulsões carniças, que serão empregadas na elaboração de produtos cárneos emulsionados.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AHNSTRÖM, M.L.; HUNT, M.; LUNDSTRÖM, K. Effects of pelvic suspension of beef carcasses on quality and physical traits of five muscles from four gender-age groups. **Meat Science**, v.90, (3), p.528-535, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174011003007>>DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.09.003.

ALARCÓN-ROJO, A. D., et al. Power ultrasound in meat processing. **Meat Science**. v. 107, p. 86-93, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174015001126>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.04.015.

ÁLVAREZ, D. et al. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry. **Journal of Food Engineering**. V. 82 (3), p. 310-315, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407001239>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.02.031.

ANALÍTICA IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES LTDA. **Perguntas frequentes sobre banhos ultrassônicos**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.analiticaweb.com.br/informe/banhos-elma-03-2015/elma_aplicacoes_faq.pdf>.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th ed., supplement Washington, DC, 1995.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18th ed., Washington, DC, 2006.

ARORA, N. et al. Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer. **The American Journal of Surgery**, V. 196 (4), p. 523-526, 2008. Disponível em: <[http://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610\(08\)00475-3/pdf](http://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610(08)00475-3/pdf)> DOI: 10.1016/j.amjsurg.2008.06.015.

a- ARZENI, C.; PÉREZ O. E.; PILOSOFF, A. M.R. Functionality of egg white proteins as affected by high intensity ultrasound. **Food Hydrocolloids**. v. 29 (2), p. 308-316, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X12000690>> DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.03.009.

b- ARZENI, C., et al. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. **Journal of Food Engineering**. v. 108 (3), p.463-472, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411004638>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018.

ASHOKKUMAR. M. The characterization of acoustic cavitation bubbles-An overview. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 18 (4), p. 864-872, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002312>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.016.

ASHOKKUMAR, M. et al. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionally: A preliminary study on a model system. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9 (2), p. 155-160, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856407001221>> DOI: 10.1016/j.ifset.2007.05.005.

ASHOKKUMAR, M., MASON, T. J. Sonochemistry. In: _____. **Encyclopedia of Chemical Technology**. 2007. Cap. 1, 1-34. DOI: 10.1002/0471238961.1915141519211912.a01.pub2.

ATHENA TECHNOLOGY. **Ultrasonic Probe Dispersing Equipment**. Maharashtra, India, 2010. Disponível em: <<http://www.athenatech.in/sonicator-with-chiller.html>>

AWAS, T.S, et al. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. **Food Research International**, v. 48 (2), p. 410-427, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691200141X>> DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.004.

BAILEY, A.J.; LIGHT, N.D. **Connective tissue in meat and meat products**. London, New York: Elsevier Applied Science, 1989. 355p.

BARBOSA-CANOVAS, G. V.; BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. Novel Food Processing Technologies and Regulatory Hurdles. In: _____. **Ensuring Global Food Safety: Exploring Global Harmonization**. 2010. Cap. 16, 281-287. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123748454000163>> DOI: 10.1016/B978-0-12-374845-4.00016-3.

BERARDO, A., et al. Protein oxidation affects proteolysis in a meat model system. **Meat Science**, v. 106, p. 78-84, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174015000893>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.04.002.

BERLETT, B. S.; STADTMAN, E. R. Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. **Journal of Biological Chemistry**, v. 272 (33), p. 20313-20316, 1997. Disponível em: <<http://www.jbc.org/content/272/33/20313.long>>.

BIZZI, et al. A Fast Microwave-Assisted Procedure for Loss on Drying Determination in Saccharides. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22 (2), p. 376-381, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v22n2/v22n2a26.pdf>> DOI: 10.1590/S0103-50532011000200026.

BLIGH, E. G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37 (8), p. 911-917, 1959. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/sci-hub.cc/doi/abs/10.1139/o59-099>> DOI: 10.1139/o59-099.

BRUNA, J. M.; et al. 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**, v. 59 (1), p. 87-96, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174001000572>> DOI: 10.1016/S0309-1740(01)00057-2.

BRYKSA, B.C.; YADA, R.Y. Bioquímica de Alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos de Campbell-Platt**. Tradução: Sueli Rodrigues Coelho e Soraya Imon de Oliveira. São Paulo: Manole, 2015, Cap. 4, 57-85.

CÁRCEL, J.A. et al. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v.110 (2), p. 200-207, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411002949>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.038.

CÁRCEL, J. A., et al. High intensity ultrasound effects on meat brining. **Meat Science**, v. 76 (4), p. 611-619, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174007000381>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.01.022.

a- CASTRO, L. M. D.; CAPOTE, P. Analytical Applications of Ultrasound. In: _____. **Fundamentals of Ultrasound and Basis of its Analytical Uses**. 2007. Cap. 1, 1-33. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167924407800175>> DOI: 10.1016/j.tifs.2012.01.010 10.1016/S0167-9244(07)80017-5.

b- CASTRO, L. M. D.; CAPOTE, P. Analytical Applications of Ultrasound. In: _____. **Ultrasound-assisted analytical chemical reactions**. 2007. Cap. 7, 227-254. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167924407800230>> DOI: 10.1016/S0167-9244(07)80023-0.

CAMPBELL, L. J. et al. Effects of heat treatment and glucono-d-lactone-induced acidification on characteristics of soy protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 23(2), p. 344-351, 2009. DOI: 10.1016 / j.foodhyd.2008.03.004.

CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. In: _____. **Cinzas e conteúdo mineral**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. p. 49- 59.

a-CHANDRAPALA, J., et al. Ultrasonics in food processing e Food quality assurance and food safety. **Trends in Food Science & Technology**, v. 26 (2), p. 88-98, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224412000295>> DOI: 10.1016/j.tifs.2012.01.010.

b-CHANDRAPALA, J., et al. The effect of ultrasound on casein micelle integrity. **Journal Dairy Science**, v. 95 (12), p. 6882-6890, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030212007527>> DOI: 10.3168/jds.2012-5318.

c-CHANDAPALA, J., et al. Ultrasonics in food processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19 (5), p. 975-983, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417712000120>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.01.010.

CHANDRAPALA, J., et al. Effects of ultrasound on the thermal and structural characteristics os proteins in reconstituted whey protein concentrate. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18 (5), p. 951-957, 2011. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002671>> DOI:
10.1016/j.ultsonch.2010.12.016.

CHANG, H. J., et al. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5 (1), p. 285–297, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/journal/1935-5130_Food_and_Bioprocess_Technology> DOI: 10.1007/s11947-009-0269-9.

CHANG, H. C.; WONG, R. X. Textural and biochemical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) sashimi tenderized with the ultrasonic water bath. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1340-1345, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814611017201>> DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.11.116.

CHEMAT, F.; HUMA, Z.; KHAN, M.K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.18 (4), p.813-835, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002385>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.

CHEN, Q., et al. Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 52 (4), p. 261-274, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993613002148>> DOI: 10.1016/j.trac.2013.09.007.

CRAVOTTO, G; BINELLO, A. Low- frequency, high-power ultrasound- assisted food component extraction. In: _____. **Innovative Food Processing Technologies**. 2016. cap. 1, p. 3-29. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081002940000018>> DOI: 10.1016/B978-0-08-100294-0.00001-8.

COSTA, L. N. et al. The use of thermography on the slaughter-line for the assessment of pork and raw ham quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 6, 704-706, 2007. DOI: 10.4081 / ijas.2007.1s.704.

CUCHEVAL, A.; CHOW, R.C.Y. A study on the emulsification of oil by power ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15 (5), p. 916-920, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135041770800031X>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2008.02.004.

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 (4), p. 582- 586, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408005013>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.10.006.

DALLE-DONNE, I. et al. Actin carbonylation: from a simple marker of protein oxidation to relevant signs of severe functional impairment. **Free Radical Biology & Medicine**, v 31 (9),

p. 1075-1083, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584901006906>> DOI: 10.1016/S0891-5849(01)00690-6.

DELGADO, A.E., ZHENG, L., SUN, D.W. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2 (3), p. 263–270, 2009. DOI: 10.1007 / s11947-008-0111-9.

DELMAS, H.; BARTHE, L. Ultrasonic mixing, homogenization, and emulsification in food processing and other applications. In: _____. **Power Ultrasonics**. 2015. cap. 25, p. 756-791. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782420286000259>> DOI:10.1016/B978-1-78242-028-6.00025-9.

DICKISON, E. Interfacial particles in food emulsions and foams. In: _____. **Colloidal Particles at Liquid Interfaces**. 520 p. New York. Impress: Cambridge University Press. 2006. DOI: 10.1017/CBO9780511536670.009.

a-DAMODORAN, S; PARKIN, K.L; FENNEMA, O. Fisiologia e Química dos Tecidos Musculares Comestíveis. In: _____. **Química dos Alimentos de Fennema**. 4ª edição. 900 p. Artmed: Porto Alegre. 2010.

b-DAMODORAN, S; PARKIN, K.L; FENNEMA, O. Aminoácidos, Peptídeos e Proteínas. In: ____: **Química dos Alimentos de Fennema**. 4ª edição. 900 p. Artmed: Porto Alegre. 2010.

DOLATOWSKI, Z. J.; STANDNIK, J.; STASIAK, D. Applications of ultrasound in food technology. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 6 (3), p. 88- 99, 2007. Disponível em: <http://www.food.actapol.net/pub/8_3_2007.pdf>

ELMA, SCHMIDBAUER GmbH. **Ultrasonic generators and vibratory systems with multiple frequency technology**. Alemanha, 2016. Disponível em: <http://www.elmaultrasonic.com/fileadmin/downloads/Broschueren/prospekte_DE/Elmasonic_MF_DE_EN.pdf>. Acessado em: 12 de janeiro de 2016.

ELLMAN, G, L. Tissue sulfhydryl groups. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 82 (1), p. 70-77, 1959. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003986159900906>> DOI:10.1016/0003-9861(59)90090-6.

ESTÉVENZ, M. Protein carbonyls in meat systems: A review. **Meat Science**, v. 89 (3), p. 259-279, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/51173515_Protein_carbonyls_in_meat_system_A_review> DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.04.025.

ESKIN, D. G. Ultrasonic desassing of liquids. In: ____ **Power Ultrasonics- Applications of High-Intensity Ultrasound**. 1ª edição. 1160 p. Elsevier: Cambridge. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978178242028600020X>> DOI: 10.1016/B978-1-78242-028-6.00020-X.

FALGUERA, V., J. et al. Ultraviolet processing of liquid food: A review. Part 1: Fundamental engineering aspects. **Food Research International**, v. 44, (6), p. 1571-1579,

2011. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911001967>>
10.1016/j.foodres.2011.02.056. DOI:
- FAROUK, M. M.; WIKLUND, E.; ROSENVOLD, K. Carcass interventions and meat tenderness. In: ____ **Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat**. 1ª edição. 680 p. Elsevier: Cambridge. 2009. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845693435500248>>DOI: 10.1533/9781845695439.4.561.
- FERRELL, G. W.; CRUM, L. A. A novel cavitation probe design and some preliminary measurements of its application to megasonic cleaning. **Journal Acoustical Society of America**, v. 112 (3), p. 1196-1201. DOI: 10.1121/1.1498856.
- FISCHER, A. Tecnologia de la produccion y elaboracion de productos carnicos. In: ____ **Tecnologia e Higiene de La carne**. Espanha: Editora: Acribia, p. 511-539, 1994.
- FOSTER, A. M. et al. Design and development of apparatus to provide repeatable surface temperature time treatments on inoculated food samples. **Journal of Food Engineering**, v. 76 (1), p. 7-18, 2006. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405003286>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.05.012.
- FRAZIER, R. A. Química dos Alimentos. In: ____ **Ciência e Tecnologia de Alimentos de Campbell-Platt**. Tradução: Sueli Rodrigues Coelho e Soraya Imon de Oliveira. São Paulo: Manole, 2015, Cap. 1, 5-30.
- FUENTES, V., et al. Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure. **Meat Science**, v. 85 (3), p. 506–514, 2010. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174010000689>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.02.024.
- GAYÁN, E.; CONDON, S.; ÁLVAREZ, I. Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: a review. **Food Bioprocess Technology**, v. 7 (1), p. 1-20, 2014. DOI: 10.1007/s11947-013-1168-7.
- GHASEMI, S.; ABBASI, S. Formation of natural casein micelle nanocapsule by means of pH changes and ultrasound. **Food Hydrocolloids**, v. 42 (1), p. 42-47, 2014. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X13003457>> DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.10.028.
- GONDREXON, N., et al. Intensification of heat transfer process: Improvement of shell-and-tube heat exchanger performances by means of ultrasound. **Chemical Engineering and Processing**, v. 49 (9), p. 936–942, 2010. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270110001327>> DOI: 10.1016/j.cep.2010.06.007.
- GOWEN, A.A. et al. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21 (4), 190-200, 2010. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422440900301X>> DOI:
10.1016/j.tifs.2009.12.002.

GÜLSEREN, I, et al. Structural and functional changes in ultrasonicated bovine serum albumin solutions. **Ultrasound Sonochemistry**, v. 14 (2), p. 173-183, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417706000678>> DOI:
10.1016/j.ultsonch.2005.07.006.

GUZEL-SEYDIM, Z.B.; GREENE, A.K.; SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 37 (4), p. 453-460, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643803002068>> DOI:
10.1016/j.lwt.2003.10.014.

HONG, G. P.; XIONG, Y. L. Microbial transglutaminase-induced structural and rheological changes of cationic and anionic myofibrillar proteins. **Meat Science**, v. 91 (1), p. 36–42, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174011004086>> DOI:
10.1016/j.meatsci.2011.12.002.

a-HU, H. et al. Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 30 (2), p. 647-655, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X12001725>> DOI:
10.1016/j.foodhyd.2012.08.001.

a-HU, H. et al. Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with high intensity ultrasonic pre-treatments. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 20 (1), p. 187-195, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417712001502>> DOI:
10.1016/j.ultsonch.2012.07.011.

IBARRA, J.G; TAO, Y.; XIN, H. Combined IR imaging-neural network method for the estimation of internal temperature in cooked chicken meat. **Agricultural and Biosystems Engineering Publications**, v. 39 (11), p. 3032-3038, 2000. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1207&context=abe_eng_pubs> DOI:
10.1117 / 1.1314595.

JAMBRAK, A. R. et al. Ultrassound effect on physical properties of corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 79 (1), p. 91-100, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861709004068>> DOI:
10.1016/j.carbpol.2009.07.051.

JAMBRAK, A.R., et al. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. **Journal of Food Engineering**, v. 81 (1), p. 88–97, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406006431>> DOI:
10.1016/j.jfoodeng.2006.10.009.

JAYASOORIYA, S.D. et al. Effect of High Power Ultrasound Waves on Properties of Meat: A Review. **International Journal of Food Properties**, v. 7 (2), p. 301-319, 2004. DOI:
10.1081 / JFP-120030039.

JAYASOORIYA, S.D. et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. **Meat Science**, v. 75 (4), p. 628–639, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174006003111>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.09.010.

JERMANN, C. et al. Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 31, p. 14-27, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415001162>> DOI: 10.1016/j.ifset.2015.06.007.

JIMENEZ-COLMENERO, F.; AYO, M. J.; CARBALLO, J. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers. **Meat Science**, v. 69 (4), p. 781–788, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174004002931>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.11.011.

JIN, Y, et al. Effects of ultrasound on cross-flow ultrafiltration of skim milk: Characterization from macro-scale to nano-scale. **Journal of Membrane Science**, v. 470 (15), p. 205-218, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738814005730>> DOI: 10.1016/j.memsci.2014.07.043.

JULIANO, P. et al. Lipid oxidation volatiles absent in milk after selected ultrasound processing, **Ultrasonics Sonochemistry**, 21 (6), p. 2165–2175, 2014. Disponível em: 10.1016/j.ultsonch.2014.03.001.

KACI, M., et al. Emulsification by high frequency ultrasound using piezoelectric transducer: Formation and stability of emulsifier free emulsion. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21 (3), p. 1010-1017, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417713002903>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.11.006

KANG, D. C. et al. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration. **Inovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 35, p. 36-44, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856416300418>> DOI: 10.1016/j.ifset.2016.03.009.

KHAN, M. K.; CHEMAT, F. Application of Low and High-Power Ultrasound in Food Analysis. **Analytical Chemistry Letters**. V. 1 (1), p. 1-3-104, 2011. DOI: 10.1080/22297928.2011.10648208.

KAZEMI, S.; NGADI, M. O.; GARIÉPY, C. Protein denaturation in pork longissimus muscle of different quality groups. **Food and Bioprocess Technology**. v. 4 (1), p. 102–106, 2011. DOI: 10.1007 / s11947-009-0201-3.

KENTISH, S. & ASHOKKUMAR, M. The Physical and Chemical Effects of Ultrasound. In: _____. **Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing**. 2011. Cap. 1, 1- 12. DOI: 10.1007 / 978-1-4419-7472-3_1.

KHADRE, M.A; YOUSEF, A.E.; KIM, J.G. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. **Journal of Food Science**. v. 66, (9), p. 1242-1252, 2001. Disponível em: <<<http://www.ecosafeusa.com/documents/Ozone%20Documentation/BadBugs/ListeriaB/Listeria3.pdf>>> DOI:10.1111/j.1365-2621.2001.tb15196.x.

KNIPE, C., L. In: Meat Emulsions. Ohio: The Ohio State University, 2015. Disponível em: <<http://meatsci.osu.edu/node/130>>. Acesso em: 12 de mar. 2017.

KNORR, D. et al. Applications and potential of ultrasonics in food processing. **Food Science and Technology**, v. 15, (5), p. 261-266, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224403003066>> DOI: 10.1016/j.tifs.2003.12.001.

KNORR, D. et al. Emerging Technologies in Food Processing. Annual Review of **Food Science and Technology**, v. 2, p. 203-235, 2011. DOI: 10.1146/annurev.food.102308.124129.

KOBAYASHI, D., et al. Effects of operational conditions on preparation of oil in water emulsion using ultrasound. **Physics Procedia**, v. 70, p. 1043 – 1047, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215009633>> DOI: 10.1016/j.phpro.2015.08.222.

KORN, M.; ANDRADE, M. V. A. S.; BORGES, S. S. Procedimentos analíticos assistidos por ultrassom. **Revista Analytica**, n. 3, p. 34-39, 2003.

KOSEKI, S; ISOBE. S. Microbial control of fresh produce using electrolyzed water. **Japan Agricultural Research Quarterly**. v. 41, (4), p. 273-282, 2007. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/41/4/41_273/_pdf> DOI: 10.6090/jarq.41.273.

KOUTCHMA, T. Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-Thermal Processing of Liquid Foods. **Food Bioprocess Technology**, v. 2 (2), p. 138-155, 2009. DOI: 10.1007/s11947-008-0178-3.

KWIATKOWSKA, B. et al. Stimulation of bioprocesses by ultrasound. **Biotechnology Advances**, v. 29 (6), p. 768-780, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975011000814?via%3Dihub>> DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.06.005.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 2005.384 p.

LEADLEY, E; WILLIAMS, A. Procesado con pulsos electricos, ultrasonidos de potencia y otras tecnologias emergentes. In: _____. **Manual del procesado de los alimentos**. 2008, cap. 7, p. 203-237.

LEONG, T.S.H., et al. Minimizing oil droplet size using ultrasonic emulsification. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 16 (6), p. 721-727, 2009. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417709000303>>
10.1016/j.ultsonch.2009.02.008.

DOI:

LEVINE, R. L. et al. Determination of carbonyl content in oxidatively modified protein. **Methods in Enzymology**, v. 186, p. 464- 478, 1990. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/007668799086141H>> DOI: 10.1016/0076-6879(90)86141-H.

a- LI, K. et al. Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE- like chicken breast meat. **Food Bioprocess Technology**, v. 7 (12), p. 3466-3477, 2014. DOI: 10.1007/s11947-014-1358-y.

b- 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 (5), p. 2622–2633, 2014. DOI: 10.1007%2Fs13197-014-1356-0.

LIU, W. J.; STEVENSON, C. D.; LANIER, T. C. Rapid heating of Alaska Pollock and chicken breast myofibrillar proteins as affecting gel rheological properties. **Journal of Food Science**, v. 78 (7), p.971–977, 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.12147/epdf>> DOI: 10.1111/1750-3841.12147.

LUND, M. N., & BARON, C. P. Protein oxidation in foods and food quality. In: ____ L. H. Skibsted, J. Risbo, & M. L. Andersen. **Chemical deterioration and physical instability of food and beverages**. 2010, 36-69. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845694951500022>> DOI: 10.1533/9781845699260.1.33.

MARCHESINI, G. et al. Ultrasonic inactivation of microorganisms: A compromise between lethal capacity and sensory quality of milk. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 29, p. 215-221, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415000648>> DOI: 10.1016/j.ifset.2015.03.015.

MARQUES, I. E. et al. Are infrared and microwave drying suitable alternatives for moisture determination of meat products? **Journal of Food Quality**, v. 39, p. 391-397, 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfq.12195/epdf>> DOI: 10.1111/jfq.12195.

McCLEMENTS, D. J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6(9), p. 293–299, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224400891396>> DOI: 10.1016/S0924-2244(00)89139-6.

McCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Lipídios. In: _____. **Química dos Alimentos de Fennema**. 2010, cap., 4, p. 131-176.

McCLEMENTS, D. J. Biopolymers in Food Emulsions. In: _____. **Modern Biopolymer Science**. 2009, cap. 4, p. 129-166.

MASON, T.J.; LORIMER, P.J. Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing. In: _____. **General Principles of Ultrasound**. 2003. Cap. 2, 25-74. DOI: 10.1002/352760054X.ch2.

MASON, T.J. **Sonochemistry: The Uses of Ultrasound in Chemistry**. 1ª ed. Cambridge. Editora: Springer US. 1996, 157. DOI: 10.1007/978-1-4613-1243-7_2.

MAWSON, R. et al. Ultrasound in enzyme activation and inactivation. In: **Ultrasound Technologies for food and bioprocessing**. EUA: Editora: Springer, p. 369-404, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-7472-3_14.

MEOLA, C. & CARLOMAGNO, G. M. Recent advances in the use of infrared thermography. **Measurement Science and Technology**. v. 15 (9), 27–58, 2004. DOI: 10.1088/0957-0233/15/9/R01.

MILES, C. A., MORLEY, M. J., RENDELL, M. High power ultrasonic thawing of frozen foods, *Journal Food Engineering*, v. 39 (2), 151–159, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877498001551>> DOI: 10.1016/S0260-8774(98)00155-1.

NGUYEN, T. M. P.; LEE, Y. K.; ZHOU, W. Effect of high intensity ultrasound on carbohydrate metabolism of *bifidobacteria* in milk fermentation. *Food Chemistry*. v. 130 (4), p. 866-874, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814611010831>> DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.07.108.

OLIVER, C.N. et al. Aged-related changes in oxidized proteins. **Journal of Biological Chemistry**, v. 262 (12), p. 5488–5491, 1987. Disponível em: <<http://www.jbc.org/content/262/12/5488.long>>.

ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnología de alimentos**: alimentos de origem animal. Porto Alegre: Artmed, 2005. 280p.

a-O' SULLIVAN, J. et al. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 53, p. 141-154, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X15000703>> DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.009.

b-O'SULLIVAN, J. et al. Comparative assessment of the effect of ultrasound treatment on protein functionality pre- and post-emulsification. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 484 (5), 89-98, 2015. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.07.065.

PANIWNYK, L. Application of Ultrasound. In: _____. **Emerging Technologies for Food Processing**. 2014. Cap. 15, 271-291. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124114791000152>> DOI: 10.1016/B978-0-12-411479-1.00015-2.

PARKS, L. L.; CARPENTER, J. A. Functionality of six non meat proteins in meat emulsion systems. **Journal Food Science**, v. 52, (2), p. 271-274, 1987. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06590.x/pdf>> DOI: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb06590.x.

a-PENFIELD, M. A., & CAMPBELL, A. M. Evaluating food by objective methods. In: _____. **Experimental Food Science**. 1990. Cap. 3, 23– 50. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121579203500077>> DOI: 10.1016/B978-0-12-157920-3.50007-7.

PERRY, J. J.; YOUSEF, A. E. Decontamination of raw foods using ozone-based sanitization techniques. **Annual Review of Food Science and Technology**. v.2, p. 281-298, 2011. DOI: 10.1146/annurev-food-022510-133637.

PINGRET, D. et al. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. **Food Control**, v. 31, p. 593-606, 2013. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.11.039.

PINFIELD, V. J. Advances in ultrasonic monitoring of oil-in-water emulsions. **Food Hydrocolloid**. v. 42 (1), p. 48-55, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X13003846>> DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.11.019.

PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; McKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v.87 (3), p. 207-216, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160503000758>> DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00075-8.

PUGA, D. M. U.; CONTRERAS, C. J. C.; TURNBULL, M. R. Avaliação do amaciamento de carne bovina de dianteiro (*Triceps brachii*) pelos métodos de maturação, estimulação elétrica, injeção de ácidos e tenderização mecânica. **Food Science and Technology**, v. 19 (1), p. 88-96, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010120611999000100016&script=sci_abstract&tlng=pt> DOI: 10.1590/S0101-20611999000100016.

QIN, X. S., et al. Transglutaminase-induced gelation properties of soy protein isolate and wheat gluten mixtures with high intensity ultrasonic pretreatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, 31, p. 590-597, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417716300517>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.02.010.

RAHARJO, S; SOFOS, J.N.; SCHMIDT, G.R. Solid-phase acid extraction improves thiobarbituric acid method to determine lipid oxidation. **Journal of Food Science**, v. 58 (4), p. 912-924, 1993. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09391.x/pdf>> DOI: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb09391.x.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L.A. de M. Avaliação da Qualidade de Carne: Fundamentos e Metodologias. In: _____. **Avaliação Instrumental da Textura**. 2012. Cap. 9, 455-575.

RONCALÉS, P., et al. Ultrasonication of lamb skeletal muscle fibre enhances post-mortem proteolysis. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung**, v. 196 (4), p. 339-342, 1993. DOI: 10.1007/BF01197932.

RIENER, J. et al. Characterization of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound. **Internacional Dairy Journal**, 19 (4), p. 269–272, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694608002008>> DOI: 10.1016/j.idairyj.2008.10.017.

ROOS, C. F.; SMITH, D.M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, p. 18-25, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x/epdf>>DOI: 10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x.

SAVIN, K. A. Radicals and Radical Anions. In: _____. **Writing Reaction Mechanisms in Organic Chemistry**. 2014. Cap. 5, 237-292. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124114753000051>> DOI: 10.1016/B978-0-12-411475-3.00005-1.

SCHNEIDER, Y., ZAHN, S., ROHM, H. Power requirements of the high frequency generator in ultrasonic cutting of foods, **Journal Food Engineering**, v.86 (1), p. 61–67 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407004840>> DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.09.024.

SORIA, A.C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 323-331, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224410001056>> DOI: 10.1016/j.tifs.2010.04.003.

SGARBIERI, V.C. Desnaturação/renaturação de proteínas. In: _____. **Proteínas em Alimentos Proteicos: propriedades, degradações e modificações**. São Paulo, 1996, p. 85-109.

SRADTMAN, E. R.; LEVINE, R. L. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. **Amino Acid Journal**. V. 25, p. 207-218, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/8971778_Free_radical-mediated_oxidation_of_free_amino_acids_and_amino_acid_residues_in_proteins> DOI: 10.1007/s00726-003-0011-2.

SAKR, M.; S. LIU. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 39, p. 262-269, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114005139>> DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.061.

STADNIK, J.; DOLATOWSKI, J.Z. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, color and myoglobin of beef (*m. semimembranosus*). **European Food Research & Technology**, v. 233, p. 553-559, 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-011-1550-5>>DOI: 10.1007/s00217-011-1550-5.

SZABÓ, O, E; CSISZÁR, E. The effect of low-frequency ultrasound on the activity and efficiency of a commercial cellulase enzyme. **Carbohydrate Polymers**, v.98 (2), p. 1483-1489, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861713007984>> DOI:10.1016/j.carbpol.2013.08.017.

TAN, M., C. et al. Gel Strength and Stability Characterization of Ultrasound Treated Whey Protein Foams. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 144 – 149, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784314000229>> DOI: 10.1016/j.aaspro.2014.11.021.

TROY, D. J.; et al. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. **Meat Science**, v. 120, p. 2-9, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030917401630095X>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.04.002.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry-A Review. **Food Bioprocess Technology**. v. 4 (2), p. 186-199, 2011. DOI: 10.1007/s11947-010-0333-5.

VARGHESE, K. S., et al. Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. **Journal of Food Science and Technology**. v. 51 (10), p. 2304-2317, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4190208>> DOI: 10.1007/s13197-012-0710-3.

XIA, X., et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. **Meat Science**, v. 83 (2), p. 239–245, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174009001326>> DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.05.003.

XIONG, W., et al. High intensity ultrasound modified ovalbumin: Structure, interface and gelation properties. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 31, p. 302-309, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417716300153>> DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.01.014.

ZAYAS, J. F. Solubility os Proteins. In: _____. **Functionality of Proteins in Food**. New York: Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1ª Edição, cap. 1, 1997. DOI: 10.1007 / 978-3-642-59116-7_2.

ZAYAS, J.F.; STROKOVA, N.D. Influence of ultrasound on properties of metaproteins. **XVIII European Congress Meat Research Workers**, p. 206–213, 1972.

ZHANG W.; XIAO S.; AHN, DU. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, p. 1191-201, 2013. DOI: 10.1080/10408398.2011.577540.

ZHAO, Y.; et al. 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**. v. 58, p. 90-104, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996914000301>>
10.1016/j.foodres.2014.01.024.

DOI:

WU, M. G. et al. Rheological and microstructural properties of porcine myofibrillar protein-lipid emulsion composite gels. **Journal of Food Science**, v. 74 (4), p. 207–217, 2009. DOI: 10.1111 / j.1750-3841.2009.01140.x.