

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

Mariana Basso Pinton

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO**  
**DE FOSFATO EM EMULSÕES CÁRNEAS**

Santa Maria, RS

2019

**Mariana Basso Pinton**

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE  
FOSFATO EM EMULSÕES CÁRNEAS**

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

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

Santa Maria, RS

2019

Pinton, Mariana Basso

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE FOSFATO EM EMULSÕES CÁRNEAS / Mariana Basso Pinton.- 2019.

76 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Coorientador: Alexandre José Cichoski

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

1. redução de fosfato 2. emulsão cárnea 3. ultrassom  
4. check-all-that-apply 5. produto cárneo mais saudável  
I. Campagnol, Paulo Cezar Bastianello II. Cichoski,  
Alexandre José III. Título.

**Mariana Basso Pinton**

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE  
FOSFATO EM EMULSÕES CÁRNEAS**

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

Aprovado em 01 de março de 2019:

---

**Paulo Cezar Bastianello Campagnol, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Roger Wagner, Dr. (UFSM)**

*Greici Oliveira*

---

**Mauricéia Greici de Oliveira (videoconferência/ IFF Santo Augusto RS)**

Santa Maria, RS  
2019

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para que eu concluísse mais uma etapa de estudo.

Ao papai Amauri e minha mamãe Olga, que me ensinaram o valor do trabalho, da dedicação e do comprometimento. Nunca mediram esforços para me ajudar a seguir em frente. Muito obrigada pelo amor, incentivo e confiança depositados em mim. Eu amo vocês!

Aos meus irmãos, Victor e Gabriela, pelo carinho.

Aos meus docinhos de avós, Jandir e Maria Inês, pelo amor.

Aos meus tios, Adélcio e Rosana, pelo incentivo.

Ao meu *precious*, Álvaro. Obrigada pelo apoio, atenção, calma, incentivo, carinho, dedicação, alegria, amor e lealdade. Não sei nem como te agradecer por toda a paciência e toda a confiança que tu deposita em mim. Quero-te pra sempre e que nosso pra sempre dure muito. Eu te amo!

Ao meu orientador, professor Dr<sup>o</sup> Paulo Campagnol, pela oportunidade, confiança, orientação e por acreditar em mim. O senhor é um professor extraordinário. Se um dia, for à metade do profissional que o senhor é, vou estar realizada.

Ao meu co-orientador, professor Dr<sup>o</sup> Alexandre Cichoski, agradeço pelo espaço cedido para realização dos experimentos, pela orientação e pela palavra de apoio.

A minha banca, prof Dr<sup>a</sup> Greici e prof Dr<sup>o</sup> Roger, pelas contribuições.

As minhas amigas fiéis escudeiras. Marília Ceolin, minha gordinha, teu mate muitas vezes salvou meu dia. Stephanie Ribeiro, Vitória na guerra! E, Érica Colin, mesmo longe, sempre se fez presente. Obrigada por estarem sempre ao meu lado. “Amigos tornam a vida mais leve”. Vocês são demais!

As meninas do Laboratório 109, NTA. Em especial pra minha colega, amiga e parceira de pós-graduação, Yasmim Leães, pelo companheirismo, carinho, compreensão e apoio.

As melhores companheiras de iniciação científica, Michelli Facchi e Letícia Corrêa. Aprendi e aprendo muito com vocês.

As garotas do apartamento Caiane Oliveira e Gabi, obrigada pelo companheirismo, alegria e cuidado.

A minha psicóloga Natália Barcelos, pelo apoio psicológico e pelo carinho.

Ao Magé, Marialene e Moises, vocês são demais.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma ou de outra fizeram parte dessa caminhada, meu muito obrigada!

“A realidade é chata, mas é ainda o único lugar onde você pode comer um bom bife com batata frita.”

(Woody Allen)

## RESUMO

### APLICAÇÃO DE ULTRASSOM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE FOSFATO EM EMULSÕES CÁRNEAS

Autora: Mariana Basso Pinton

Orientador: Prof Dr Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Co-orientador: Prof Dr Alexandre José Cichoski

Os fosfatos são aditivos amplamente utilizados na fabricação de produtos cárneos emulsionados. São responsáveis principalmente pela capacidade de retenção de água, conferindo melhor estabilidade do gel e rendimento no cozimento. O ultrassom tem sido aplicado com o propósito de modificar as propriedades funcionais das proteínas, reduzir aditivos, aumentar o rendimento e também melhorar a textura. Esses efeitos são ocasionados pelo fenômeno da cavitação. As emulsões cárneas foram produzidas com redução de 0, 25, 50, 75 e 100% do teor de fosfato. Logo após o embutimento, as peças foram sonicadas em um banho de ultrassom (modo normal, 60% de amplitude e frequência de 25 kHz) por 0, 9 e 18 minutos. A qualidade tecnológica, oxidativa e sensorial foi avaliada. A redução do teor de fosfato nas amostras não sonicadas provocou uma diminuição no rendimento do cozimento e na estabilidade da emulsão. Além disso, a redução de fosfato prejudicou a textura e a qualidade oxidativa e sensorial das amostras não tratadas por ultrassom. A aplicação de 9 minutos de ultrassom não foi eficiente para compensar os defeitos causados pela redução de fosfato. No entanto, a aplicação de 18 minutos de ultrassom melhorou a qualidade tecnológica e não aumentou a oxidação lipídica. Além disso, esse tempo de aplicação possibilitou reduzir a maioria dos defeitos sensoriais causados pela redução de 50% do teor de fosfato.

**Palavras chaves:** redução de fosfato, emulsão cárnea, ultrassom, *check-all-that-apply*, produto cárneo mais saudável.



## ABSTRACT

### ULTRASOUND APPLICATION AS A STRATEGY TO REDUCE PHOSPHATE IN MEAT EMULSIONS

Author: Mariana Basso Pinton

Advisor: Prof Dr Paulo Cezar Bastianello Campagnol

Co-advisor: Prof Dr Alexandre José Cichoski

Phosphates are additives widely used in the manufacture of emulsified meat products. They are mainly responsible for the water holding capacity, giving better gel stability and cooking performance. Ultrasound has been applied for the purpose of modifying the functional properties of proteins, reduction of additives, increase of yield and also improvements in texture. These effects are caused by the phenomenon of cavitation. Meat emulsions with a reduction of 0, 25, 50, 75, and 100% of phosphate levels were produced. Soon after filling, the pieces were sonicated in an ultrasonic bath (normal mode, 60% amplitude, and 25 KHz frequency) for 0, 9, and 18 minutes. The technological, oxidative, and sensory quality was evaluated. The reduction of the phosphate content in the non-sonicated samples led to a decrease in the cooking yield and emulsion stability and impaired the texture profile, and the oxidative and sensory quality of the samples. Although the 9-minute ultrasound treatment was not effective to compensate for defects caused by the phosphate reduction, the application for 18 minutes improved the technological quality and did not increase the lipid oxidation. In addition, it allowed reducing most of the sensory defects caused by the reduction of 50% of the phosphate level.

**Keywords:** meat emulsion; phosphate reduction; ultrasound; Check-All-That-Apply; healthier meat products.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Desenho esquemático de emulsões O/A e A/O -----  | 17 |
| Figura 2: (2a) Desenho esquemático mostrando estruturação e organização do tecido muscular. (2b) Contração muscular-----   | 19 |
| Figura 3: Representação esquemática da miosina -----   | 20 |
| Figura 4: Representação esquemática da formação de emulsão, estabilidade e quebra das gotículas de gordura afetadas pela temperatura -----   | 22 |
| Figura 5: Procedimento de obtenção da emulsão cárnea -----   | 24 |
| Figura 6: Estrutura química do polifosfatos com grau de polimerização n -----  | 25 |
| Figura 7: Comprimento de onda e amplitude-----   | 33 |
| Figura 8: Espectro sonoro -----  | 34 |
| Figura 9: Representação do desenvolvimento e colapso de bolhas de cavitação ---  | 36 |
| Figura 10: (10a) Subdivisão de um banho ultrassônico. (10b) Moderno banho ultrassônico-----  | 38 |
| Figura 11: Esquema de um sistema de sonda ultrassônico-----  | 40 |
| Figura 12: Rendimento do cozimento das emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom-----   | 50 |
| Figura 13: Estabilidade da emulsão cárnea com fosfato reduzido tratadas com ultrassom (13a) percentagem de exsudado de água (13b) percentagem de exsudado de gordura -----             | 51 |
| Figura 14: Análise do perfil de textura de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom. (14a) Dureza (14b) Coesividade (14c) Elasticidade (14d) Mastigabilidade ----- | 53 |
| Figura 15: pH de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom-   | 57 |
| Figura 16: Atividade de água de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom -----   | 58 |
| Figura 17: Representação das amostras e dos atributos sensoriais da análise de correspondência realizada nos dados do teste CATA (check-all-that-apply) -----                          | 62 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Formulação de emulsões cárneas contendo diferentes concentrações de fosfato que foram submetidas ao ultrassom ----- | 44 |
| Tabela 2: Conteúdo de malonaldeído [MDA] (mg/ Kg) de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato. -----                     | 60 |
| Tabela 3: Resultado do estudo do consumidor das mortadelas com reduzido teor de fosfato e com aplicação de ultrassom. -----   | 64 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{m}$  - micrometro

AC – Análise de correspondência

$A_w$  – Atividade de Água

$\text{Ca}^{+2}$  – Cálcio

$\text{CaCl}_2$  – Cloreto de Cálcio

CATA – *Check-all-that-apply*

CRA – Capacidade de Retenção de Água

g – Grama

Hz – Hertz

kHz – Quilo-hertz

MDA – Malonaldeído

mg – Miligrama

$\text{Mg}^{+2}$  – Magnésio

MHz – Mega-hertz

NaCl – Cloreto de Sódio

O – Oxigênio

P – Fósforo

pH – Potencial Hidrogeniônico

PI – Ponto Isoelétrico

TPA – Análise do perfil de textura

US – Ultrassom

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 14 |
| 1.1. OBJETIVOS.....  | 16 |
| 1.1.1. Objetivo geral.....                                   | 16 |
| 1.1.2. Objetivos específicos .....                           | 16 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                | 17 |
| 2.1. EMULSÕES CÁRNEAS .....                                  | 17 |
| 2.2. UTILIZAÇÃO DE FOSFATOS EM EMULSÕES CÁRNEAS .....        | 24 |
| 2.3. ULTRASSOM.....  | 32 |
| 2.3.1. Princípios do ultrassom .....                         | 32 |
| 2.3.2. Considerações históricas.....                         | 34 |
| 2.3.3. Fenômeno de cavitação .....                           | 35 |
| 2.3.4. Métodos de aplicação.....                             | 37 |
| 2.3.5. Aplicações de ultrassom em alimentos.....             | 40 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                 | 43 |
| 3.1. ELABORAÇÃO DA EMULSÃO CÁRNEA .....                      | 43 |
| 3.2. APLICAÇÃO DE US.....                                    | 43 |
| 3.3. COZIMENTO DAS EMULSÕES CÁRNEAS .....                    | 45 |
| 3.4. RENDIMENTO DO COZIMENTO .....                           | 45 |
| 3.5. ESTABILIDADE DA EMULSÃO .....                           | 45 |
| 3.6. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA (TPA) .....                | 46 |
| 3.7. pH E ATIVIDADE DE ÁGUA (Aw).....                        | 46 |
| 3.8. TBARS .....   | 47 |
| 3.9. ANÁLISE SENSORIAL.....                                  | 47 |
| 3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                               | 48 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                              | 49 |
| 4.1. RENDIMENTO DO COZIMENTO E ESTABILIDADE DA EMULSÃO ..... | 49 |
| 4.2. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA.....                       | 52 |
| 4.3. pH e Aw.....  | 56 |
| 4.4. TBARS .....   | 59 |
| 4.5. ANÁLISE SENSORIAL.....                                  | 61 |
| 5. CONCLUSÃO .....   | 65 |
| AGRADECIMENTOS .....   | 65 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 66 |

## 1. INTRODUÇÃO

A procura por alimentos com características mais saudáveis tem aumentado significativamente nos últimos anos e por isso a indústria de alimentos busca continuamente desenvolver novos produtos que supram essa demanda. Os produtos cárneos emulsionados, como a mortadela e a salsicha, são amplamente consumidos em todo o mundo e possuem grande importância econômica para a indústria cárnea. Devido ao alto teor de gordura, sódio e aditivos químicos, esses produtos são excelentes alvos para uma reformulação sob a perspectiva de melhorar sua qualidade nutricional e principalmente preservar a saúde do consumidor.

Os fosfatos são aditivos amplamente utilizados na fabricação de produtos cárneos emulsionados. Esses compostos atuam sinergicamente com o cloreto de sódio (NaCl) na extração e solubilização das proteínas miofibrilares, as quais são responsáveis pela capacidade de retenção de água e gordura, emulsificação da massa cárnea e estabilidade do gel formado durante o cozimento (DESMOND, 2006). Os fosfatos também aumentam a estabilidade oxidativa (POHLMAN et al., 2002) e melhoram a maciez e a suculência (BAUBLITS et al., 2005) dos produtos cárneos.

A ingestão diária recomendada de fosfato é de 700 a 800 mg. No entanto, estima-se que em países desenvolvidos a ingestão de fosfato ultrapasse 1200 mg por dia (RAHABI-LAYACHI, ISABELLE e KAMEL, 2015). Aproximadamente 1/3 do fosfato ingerido pela população é proveniente de alimentos industrializados, especialmente produtos cárneos (COATES et al., 2005). A alta ingestão de fosfato é muito preocupante em pessoas que apresentam problemas renais, já que nestes casos a capacidade de excreção do fosfato é prejudicada. Como resultado, ocorre um acúmulo dos níveis séricos de fosfato e isso aumenta entre 20 a 40% o risco de mortalidade entre pacientes com insuficiência renal crônica (TENTORI et al., 2008), e aumenta a possibilidade de surgimento de doenças cardíacas (MALLUCHE e MAWAD, 2002; RIBEIRO et al., 1998). A alta ingestão de fosfato também pode ser prejudicial para as pessoas que não apresentam problemas renais, já que pode ocorrer uma redução na absorção do cálcio devido à formação de sais insolúveis no

intestino, aumentando assim o risco do surgimento de doenças ósseas (MASUYAMA et al., 2003; MCGARTLAND et al., 2003; WYSHAK e FRISCH, 1994).

O ultrassom (US) é uma tecnologia inovadora que tem ganhado muita importância na indústria de alimentos devido a sua capacidade de inativar mesmo em baixas temperaturas microrganismos e enzimas, e por não promover alterações no sabor, na cor e na qualidade nutricional dos alimentos (BEVILACQUA, SINIGAGLIA e CORBO, 2013; HORŽIĆ et al., 2012; RASTOGI, 2011). Especificamente na indústria cárnea, o US tem sido principalmente aplicado com o propósito de aumentar a maciez da carne (CÁRCEL et al., 2007; JAYASOORIYA et al., 2007; MCDONNELL, LYNG e ALLEN, 2014; STADNIK e DOLATOWSKI, 2011). Além disso, estudos recentes utilizaram o US para acelerar o processo de resfriamento de frangos (FLORES et al., 2018) e para aumentar a vida útil de salsichas (CICHOSKI et al., 2015).

Vários estudos reportaram que o tratamento por US alterou a estrutura e melhorou as propriedades funcionais de proteínas alimentícias, como por exemplo, proteínas do soro do leite (JAMBRAK et al., 2008; JAMBRAK et al., 2014), proteína isolada de soja (HU et al., 2013) e proteínas do ovo (ARZENI, PÉRES e PILOSOFF, 2012; ARZENI et al. 2012). Li et al. (2014) demonstraram que a aplicação de US causou uma modificação na estrutura das proteínas da carne de frango, melhorando com isso suas propriedades funcionais de emulsificação e gelificação. Mais recentemente o US melhorou a estabilidade de emulsões cárneas (CICHOSKI et al. 2019). O aumento dessas propriedades de coesão entre as partículas de carne pelo US é uma vantagem tecnológica que pode permitir reduzir aditivos utilizados para essa finalidade. Portanto, as diferentes aplicações do US sugerem que essa tecnologia pode ser usada como uma nova ferramenta para desenvolver produtos cárneos emulsionados com características mais saudáveis. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de US sobre a qualidade tecnológica, oxidativa e sensorial de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato.

## **1.1. OBJETIVOS**

### 1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a utilização do ultrassom como uma alternativa para reduzir o teor de fosfato em emulsões cárneas.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do ultrassom sobre a qualidade tecnológica de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato.
- Determinar quais as melhores concentrações de fosfato e o melhor tempo de utilização do ultrassom.
- Mensurar o efeito do ultrassom sobre a qualidade oxidativa de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato.
- Elaborar o produto cárneo emulsionado do tipo mortadela com as melhores concentrações de fosfato e utilização do ultrassom.
- Avaliar o efeito do ultrassom sobre a análise sensorial da mortadela com reduzido teor de fosfato.

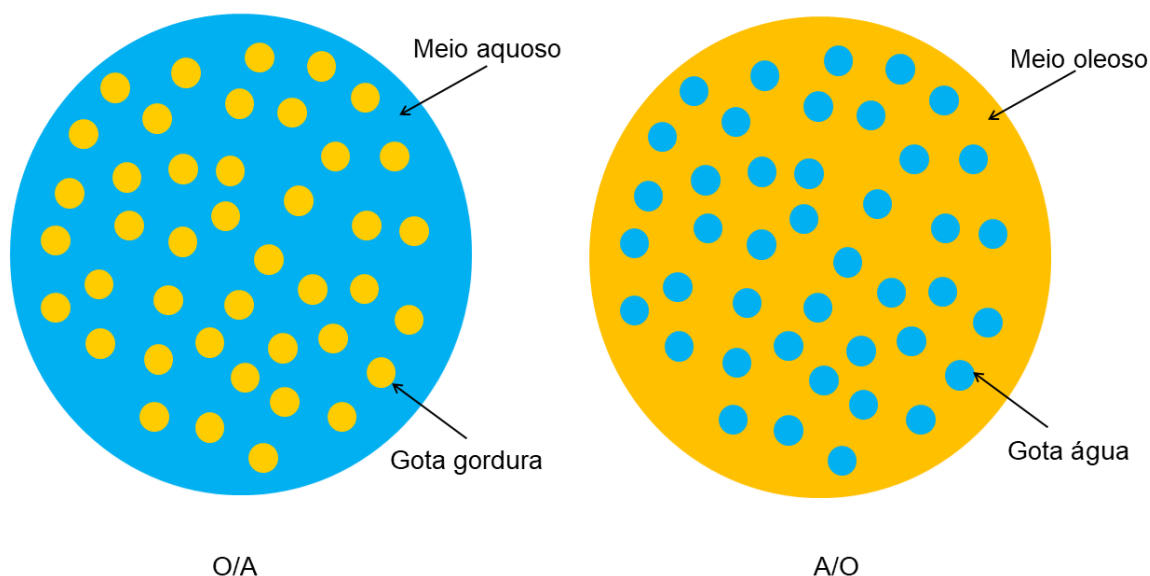


## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. EMULSÕES CÁRNEAS

Emulsão é definida como sendo uma suspensão coloidal de dois líquidos não solúveis entre si (imiscíveis), mas que, no entanto, mantém-se harmoniosamente dispersos um no outro, pela ação de um agente emulsificante interfacial. Há dois tipos de emulsões: óleo em água (o/a) e água em óleo (a/o) e as mesmas são formadas por duas fases: fase dispersa, constituída por partículas em forma de gotículas; e a fase contínua, onde as gotículas estão dispersas. Na emulsão tipo o/a, a fase dispersa é o óleo ou gordura e a fase contínua é o meio aquoso. Por sua vez, na emulsão tipo a/o, a água está dissolvida no óleo ou gordura (Figura 1) (OLIVO, 2006).

**Figura 1:** Desenho esquemático de emulsões O/A e A/O

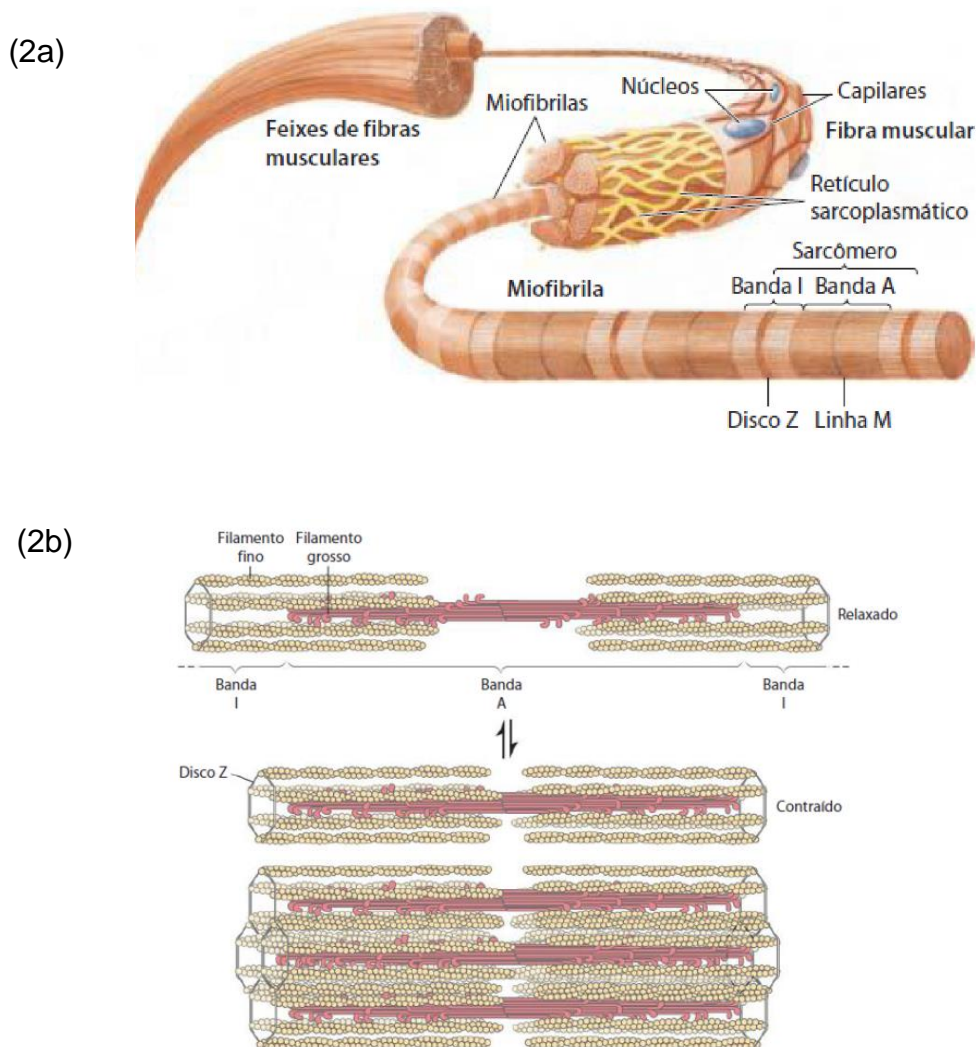


Fonte: Adaptação OLIVO, 2006.

As emulsões cárneas são consideradas como sendo uma emulsão óleo em água. Portanto, por não possuem as propriedades clássicas, como o tamanho da fase dispersa, não são consideradas emulsões verdadeiras. A emulsão cárnea é uma suspensão coloidal complexa, não totalmente homogênea, e suas partículas dispersas possuem tamanho de 10 a 50  $\mu\text{m}$ . A fase dispersa é constituída por partículas de gordura, fibras musculares, aditivos e farináceos. A fase continua é constituída por água, sal, proteínas hidrossolúveis e outros elementos solúveis (OLIVO, 2006). É uma mistura composta essencialmente de carne magra, gordura e água, cuja homogeneidade é tal que o tamanho de partícula dos constituintes adicionados não é mais visível a olho nu (LINDEN e LORIENTE, 1999). As emulsões cárneas são elaboradas pela mistura de carne finamente picada, tecido adiposo, água, gelo, especiarias e aditivos (como nitrito, sal, fosfatos e condimentos) (SORAPUKDEE et al., 2013). Os principais agentes emulsificantes são as proteínas miofibrilares (solúveis em solução salina), as quais possuem 75% da capacidade de emulsificação, onde a miosina é considerada a principal delas (OLIVO, 2006). As proteínas sarcoplasmáticas não tem capacidade de emulsificar à gordura (ORDÓÑEZ, 2005), mas podem agir sinergicamente, colaborando na formação da matriz proteica geleificada e aumentando o poder de liga da miosina (OLIVO, 2006).

Quando a carne é picada, os feixes de fibras são separados e suas membranas são quebradas. Ao romper o sarcolema e liberar progressivamente as miofibrilas (Figura 2), a captação de água e o inchaço do sistema de actomiosina aumentam (LINDEN e LORIENTE, 1999). Inicialmente, as proteínas do complexo actomiosina estão em estado insolúvel (OLIVO, 2006). As proteínas são moléculas anfifílicas contendo grupos hidrofóbicos e hidrofílicos. Com energia suficiente, grandes partículas de gordura são cortadas em grânulos finos. Este processo também permite que moléculas de proteína absorvam a interface gordura-água, onde elas se alinham de tal maneira que os grupos não polares ficarão imersos em gordura, enquanto os grupos polares se estendem para a fase aquosa, resultando em uma redução global de energia e uma estabilidade melhorada do sistema de emulsão de carne (HEGARTY, BRATZLER e PEARSON, 1963).

**Figura 2:** (2a) Desenho esquemático mostrando estruturação e organização do tecido muscular. (2b) Contração muscular



Fonte: NELSON e COX, 2014.

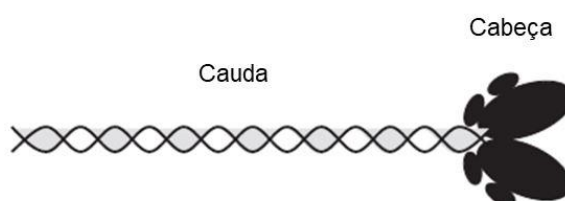
A proteína solubilizada cria uma fina camada ao redor das partículas finamente cortadas de gordura, o que evita a separação da gordura durante o tratamento térmico. A espessura da camada de proteína que cobre as partículas de gordura, determina, em grande parte, a estabilidade da emulsão. Das proteínas solubilizadas, a miosina tem uma maior tendência para emulsificar à gordura (FEINER, 2006). A excelente capacidade emulsificante da miosina é atribuída a sua estrutura única (Figura 3), sua alta relação comprimento-diâmetro e talvez mais importante, seu arranjo estrutural bipolar com uma cabeça hidrofóbica interagindo

com a gordura, e uma cauda hidrofílica interagindo com a água (LI-CHAN e LACROIX, 2018, ORDÓÑEZ, 2005). Durante o processamento térmico, a camada de proteína que envolve as partículas de gordura é desnaturada e a gordura é mantida na camada de proteína, formando uma matriz tridimensional (FEINER, 2006).

A quantidade de proteína solubilizada depende de diversos fatores, entre eles, a quantidade de proteína presente na massa, os tipos de aditivos utilizados e a quantidade de energia introduzida durante o processo de emulsificação. Aditivos como sal e fosfato desempenham um papel muito importante na solubilização das proteínas. A quantidade de sal adicionada está diretamente relacionada à quantidade de proteína solubilizada. Na fase de emulsificação, os termos “*overcut*” ou “*undercut*” referem-se ao grau ou severidade, com o qual a energia foi introduzida na carne para ativar a proteína. Deve ser cominuído o suficiente para que nenhuma partícula de gordura seja visível na emulsão e ao mesmo tempo deve assegurar que tanta proteína tenha sido ativada (FEINER, 2006).

*Undercut* não ativa a quantidade ideal de proteína e, portanto, há apenas uma fina camada de proteína ativada cobrindo grandes partes de gordura durante o tratamento térmico. Já no *overcut*, a massa é cortada por muito tempo e, isso resulta em uma área de superfície muito grande e gordurosa, devido às inúmeras partículas muito pequenas de gordura na emulsão. Geralmente, partículas menores de gordura são mais fáceis de emulsionar do que partículas maiores, mas há apenas uma certa quantidade de proteína ativada para cobrir a superfície das partículas de gordura (FEINER, 2006). Para a obtenção de uma boa emulsão, partículas de gorduras não devem estar visivelmente aparentes e, ao mesmo tempo, as proteínas devem estar solubilizadas (SUN e HOLLY, 2010).

**Figura 3:** Representação esquemática da miosina



Fonte: LI-CHAN e LACROIX, 2018.

A estabilidade das emulsões cárneas está relacionada com a retenção de água e gordura, e a obtenção da textura final desejada. A estabilidade é alcançada por dois mecanismos: formação de revestimentos de proteína em partículas de gordura, para reduzir a tensão interfacial, e imobilização das partículas de gordura em matrizes de proteína em grande parte através de aprisionamento físico (GORDON e BARBUR, 1992). Uma importante característica dos produtos cárneos é a sua habilidade de ligar vários componentes e proporcionar a coesividade do produto, conferindo textura firme ao fatiamento e à mastigação (OLIVO, 2006). Existem dois principais modelos para explicar a estabilização da gordura e água em massas cárneas: a teoria da emulsão e a teoria do aprisionamento físico.

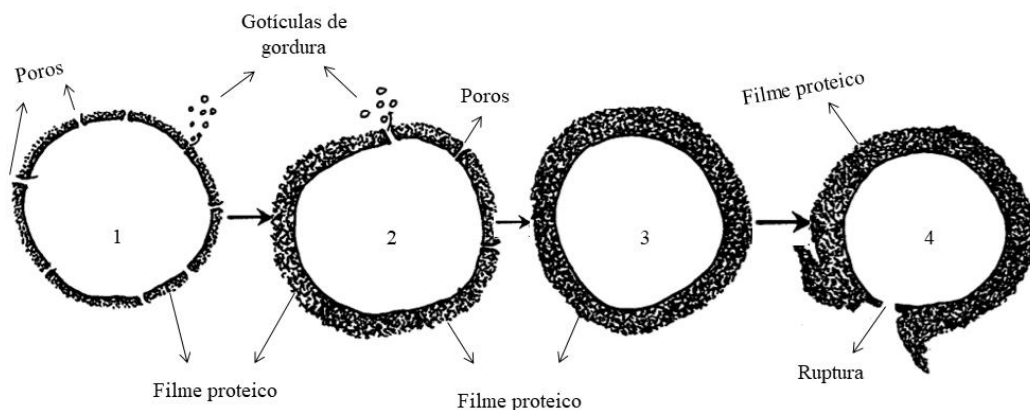
A teoria da emulsão defende a formação de um filme proteico interfacial que circunda a gotícula de gordura com sua parte hidrofóbica. A face hidrofílica, orientada externamente a gotícula, segura água, como ocorre nas emulsões verdadeiras. A teoria do aprisionamento físico defende a hipótese de que as gotículas de gordura são fisicamente retidas por uma malha proteica (matriz proteica geleificada). Este tipo de estabilização dá-se principalmente durante e após o cozimento, quando as proteínas geleificadas e outros ingredientes, fazem o papel de imobilização do sistema e, possui o objetivo de conferir ao produto final propriedades sensoriais. As emulsões do tipo cozidas são nomeadas de “emulsões frias”. O pré-cozimento em produtos cárneos é denominado de “emulsões quentes”, que são caracterizadas e produzidas por dois tratamentos térmicos. O primeiro tratamento é o pré-cozimento, em torno de 72 °C, e o segundo tratamento térmico é o cozimento e finalização do produto (ALLAIS, 2010).

A eficácia emulsificante das proteínas e a estabilidade da emulsão cárnea são influenciadas por vários fatores, dentre eles pH, tamanho das gotículas de gordura, viscosidade da fase aquosa, pré-mistura, momento de utilização do sal e sua quantidade, tempo e temperatura de corte da carne, relação carne e gordura e ainda, tipo e condições do equipamento utilizado (LI-CHAN e LACROIX, 2018; ORDÓÑEZ, 2005; OLIVO, 2006).

Um dos fatores mais importantes para determinar essa estabilidade é a temperatura, 15 – 20 °C proporcionam rompimento da dispersão, há diminuição na viscosidade, desnaturação proteica que diminui a capacidade emulsificante, fusão de gotículas de gordura aumentando a área superficial crítica e coalescência da

gordura (ORDÓÑEZ, 2005). Na Figura 4, encontra-se um esquema do que provavelmente ocorre com o efeito da temperatura no processo de formação, estabilização e quebra da emulsão. Na etapa 1, um fino filme proteico circunda os glóbulos de gordura. À medida que as temperaturas aumentam, o revestimento de proteína parece tornar-se mais espesso (etapa 2). Com o aumento da espessura do revestimento proteico, a flexibilidade para expansão térmica da gordura parece ser gradualmente perdida. Os poros no revestimento de proteína a baixas temperaturas de corte parecem fornecer um mecanismo de liberação de pressão de gordura que se expande termicamente, de tal forma que o glóbulo de gordura não se rompe. No entanto, à medida que o revestimento de proteína se torna mais espesso a temperaturas mais altas, menos pontos fracos ocorrem, resultando em menos poros e um maior acúmulo de pressão interna (etapa 3). Quando o revestimento de proteína se torna muito espesso, pode ocorrer a coalescência da gordura (etapa 4) (JONES e MANIGO, 1982).

**Figura 4:** Representação esquemática da formação de emulsão, estabilidade e quebra das gotículas de gordura afetadas pela temperatura



Fonte: Adaptação JONES e MANIGO, 1982.

As gotículas de gordura durante a emulsificação devem subdividir-se em partículas cada vez menores até se formar a emulsão. No entanto, à medida que se diminui o tamanho da partícula de gordura, há aumento proporcional da área da superfície total ocupada pelas partículas de gordura e, por isso, requer quantidade

maior de proteína emulsificante para recobrir a totalidade das gotículas de gordura. Isso implica que quando as emulsões são excessivamente picadas, pode ser criada uma área superficial crítica que a proteína presente não pode estabilizar adequadamente a emulsão. O pH afeta a emulsificação devido seu efeito sobre as proteínas, as proteínas miofibrilares alcançam sua máxima capacidade emulsificante quando o pH está próximo da neutralidade. Como a faixa de pH considerada normal está entre 5,8 – 6,0. A capacidade emulsificante das proteínas cárneas se eleva com o aumento da concentração de sal (ORDÓÑEZ, 2005).

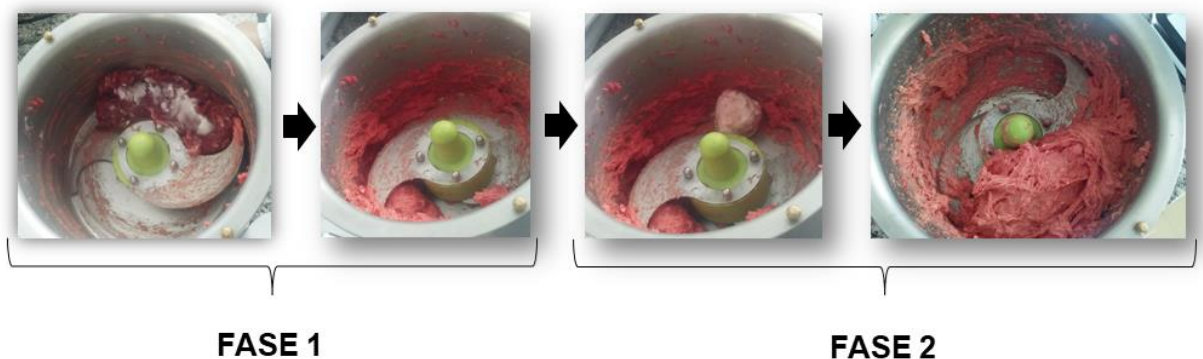
De acordo com a pesquisa de Jones e Manigo (1982), a máxima estabilidade da emulsão é alcançada como uma compensação entre duas funções diferentes. O primeiro está relacionado à espessura da membrana proteica que envolve os glóbulos de gordura e o segundo está relacionado à integridade e densidade da matriz circundante e sua capacidade de reter essa integridade durante o processamento térmico.

O tempo de corte deve ser o mais curto possível, a fim de garantir que o máximo de proteína seja solubilizado e que a gordura seja cortada o suficiente para que não seja visível no produto acabado. O corte prolongado de gordura deve ser evitado, pois cria uma grande área de superfície, reduzindo assim, a estabilidade da emulsão. O corte ideal depende de vários parâmetros, incluindo a quantidade de carne, gordura e água (ou gelo) na formulação, os tipos de carne e gordura e o equipamento disponível. Um dos equipamentos mais utilizados é o cutter, que utiliza facas extremamente rápidas, de 5500 – 6000 rotações por minuto.

O procedimento de corte total pode ser dividido em duas fases (Figura 5). A primeira fase começa quando os aditivos funcionais e água (ou gelo) são adicionados à carne. Durante este corte inicial, a temperatura da massa deve estar entre -1 – 3 °C, onde sua viscosidade é baixa. A maior parte da proteína é solubilizada durante esta fase, pelo corte de células musculares, destruindo grandes quantidades do sarcolema. Os aditivos como sal e fosfato, em conjunto com a água adicionada, começam a solubilizar miosina e actina. Após um período de corte e solubilização, é adicionada à gordura, água e aditivos complementares, a viscosidade da massa aumenta e, à medida que a temperatura aumenta para 4 – 6 °C, as forças de cisalhamento atuam (Fase 2, Figura 5). A partir desse estágio, as

forças de cisalhamento são responsáveis pela maior parte da proteína total solubilizada (FEINER, 2006).

**Figura 5:** Procedimento de obtenção da emulsão cárnea



Fonte: O AUTOR.

A indústria cárnea utiliza diferentes ingredientes alimentares para modificar a composição e as propriedades da membrana dos glóbulos de gordura e da fase aquosa contínua, para obter uma elevada estabilidade da emulsão contra a coalescência e altas temperaturas de cozimento. Por exemplo, a adição de ingredientes não cárneos, que possuem a finalidade de melhorar as propriedades funcionais e a estabilidade, bem como aumentar a qualidade nutricional e minimizar os custos de produção. A proteína não cárnea mais utilizada é a proteína de soja, mas, diversos outros ingredientes não proteicos também são usados para auxiliar na estabilização, a maioria é do grupo dos carboidratos, como os amidos e hidrocolóides. Estes carboidratos reagem com as proteínas não cárneas, através de interações proteína-carboidratos reforçando a membrana interfacial e a matriz proteica (FENG, XIONG e MIKEL, 2003; OLIVO, 2006).

## 2.2. UTILIZAÇÃO DE FOSFATOS EM EMULSÕES CÁRNEAS

A primeira citação de fosfatos condensados foi por volta de 1816, quando Berzelius mostrou que produtos vítreos formados pela queima de ácido ortofosfórico eram capazes de precipitar proteínas. Em 1833, Graham descreveu um fosfato

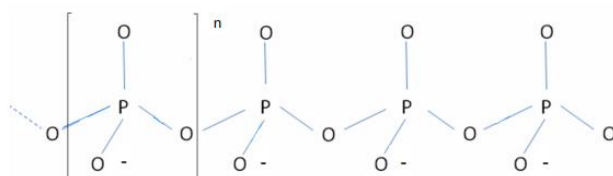


vítreo obtido pela fusão de  $NaH_2PO_4$ , que chamou de metafosfato. Em 1848, os pesquisadores Fleitmann e Hannenberg, demonstraram que os “metafosfatos” produzidos por Graham se tratavam de misturas de compostos muito parecidos de fosfatos condensados que diferiam principalmente no grau de polimerização. Atualmente, o termo “metafosfato” designa os chamados fosfatos condensados cíclicos (KULAEV, VAGABOV e KULAKOVSKAYA, 2004).

Os polifosfatos (Figura 6) são constituídos por unidades básicas de íons ortofosfatos ( $PO_4^{-3}$ ). A molécula de ortofosfatos apresenta geometria tetraédrica, na qual um átomo de fósforo (P) em posição central se encontra circundado por quatro átomos de oxigênio (O), sendo um deles formando uma ligação dupla (P=O). Apenas três dos quatro oxigênios no grupo  $PO_4^{-3}$  pode formar ligações covalentes com outros átomos, o quarto oxigênio pode constituir uma ponte entre o átomo de fósforo e outros átomos, incluindo outros átomos de fósforo (MOLLINS, 1991). A polimerização ocorre quando grupos ortofosfatos vizinhos formam ligações do tipo P-O-P após a eliminação de água entre grupos hidroxila (CALLIS, VAN WAZER e ARVAN, 1954). Portanto, os polifosfatos são sais do ácido ortofosfórico, de coloração branca, higroscópicos, de pH variável, diferenciando-se uns dos outros pelo seu número de átomos de fósforo dentro da macromolécula (grau de polimerização), pela natureza dos cátions que se fixam sobre a cadeia (sódio ou potássio) e pelo número de hidrogênio não substituídos por cátions (FRENTZ, 1982).

Os fosfatos são sais de ácido fosfórico ou ácido ortofosfórico e são amplamente aplicados na indústria cárnea. Estes sais são feitos de íons de metal carregados positivamente e íons de fosfato carregados negativamente, que são derivados do ácido correspondente pela perda de  $H^+$ . Por exemplo, o tripolifosfato de sódio dissolve-se em solução de íons  $Na^{+2}$  e o íon  $PO_4^{-3}$  negativamente carregado que se origina do ácido fosfórico (FEINER, 2006).

**Figura 6:** Estrutura química do polifosfatos com grau de polimerização n



Fonte: IMAGENS GOOGLE.

Dependendo do número de átomos de fósforo, os fosfatos podem ser divididos em mono ou ortofosfatos. Os dímeros (dois átomos de P) são os pirofosfatos, seguidos pelos trifosfatos ou tripolifosfatos (três átomos de P) e pelos tetrafosfatos (quatro átomos de P). Moléculas com 5 – 15 átomos de fósforo são algumas vezes referidos como oligofosfatos. Em geral, qualquer fosfato com três ou mais átomos de fósforo são considerados polifosfatos (MOLINS, 1991). De acordo com a legislação europeia e brasileira, os fosfatos alimentares não são permitidos na carne fresca e podem ser adicionados em quantidades máximas de 0,5%  $P_2O_5$  aos produtos cárneos (BRASIL, 1998; LONG e BUŇKA, 2011; RITZ et al., 2012).

Os fosfatos diferem de muitos outros ingredientes alimentares. As diferentes formas de fosfato variam muito em propriedades e aplicações. Existem pelo menos dez fosfatos específicos que podem ser usados em aplicações de carnes processadas. Estes fosfatos variam amplamente em suas propriedades funcionais e podem ter impacto sobre o pH e solubilidade (MOLINS, 1991). Misturas de diferentes fosfatos são comumente introduzidas, já que funcionam significativamente melhor do que um único tipo de fosfato. Deve-se levar em conta a solubilidade dos diferentes tipos de fosfatos.

Mono e difosfato aumentam a capacidade de retenção de água em carnes, porém seu uso é limitado devido a sua baixa e lenta solubilidade, especialmente em salmoura fria (DUSEK et al., 2003). Os monofosfatos não possuem efeitos sobre a proteína muscular, mas exibem boa capacidade tampão, o que ajuda a estabilizar o pH no produto final (LONG e BUŇKA, 2011). Os difosfatos tem a capacidade de dissociar o complexo actomiosina da carne. Os tripolifosfatos e polifosfatos ajudam a ativar as proteínas da carne através da quelação parcial de  $Mg^{+2}$  e do  $Ca^{+2}$  ligados à proteína, levando a solubilização da miosina e actina e despolimerização de filamentos grossos e finos (POULLANE e HALONEN, 2010; ZAIKA, SCULLEN e FANELLI, 1997).

Para a fabricação de produtos utilizando músculos inteiros, como presuntos cozidos, as salmouras contém predominantemente polifosfatos de cadeias mais longas, como hexametafosfato de sódio, pois esses fosfatos demonstram uma

solubilidade significativamente melhor em água fria, di- e tripolifosfatos possuem baixa solubilidade, não sendo apropriados para preparo de salmouras (FEINER, 2006; RITZ et al., 2012).

Para produtos emulsionados, como salsichas e mortadelas, os fosfatos de cadeia curta são favoráveis. Nesses produtos, há uma ação simultânea entre o sal e os fosfatos no que diz respeito à ativação da proteína da carne pós rigor. Os fosfatos, por si só, não ativam as proteínas, sua função é dissociar o complexo actomiosina. Uma vez que o complexo actomiosina está separado em actina e miosina, a adição de sal e água faz com que as fibras proteicas inchem, e a proteína seja ativada ou solubilizada (FEINER, 2006; RITZ et al., 2012).

Fosfatos de cadeia curta tem uma alta velocidade de ação para essas aplicações e sua baixa solubilidade na água pode ser ignorada à medida que uma grande quantidade de energia mecânica é induzida no produto durante a fabricação. Misturas de fosfatos de cadeias curtas, produzindo emulsões firmes (RITZ et al., 2012).

Fosfatos de cadeias longas são ocasionalmente introduzidos em misturas de fosfatos para produtos emulsionados, tornando-os mais elásticos e macios. Os fosfatos de cadeia mais longa ajudam a aumentar a emulsificação da gordura e estão presentes em misturas de fosfatos para formulações que usam um baixo teor de carne e, ao mesmo tempo, altos níveis de gordura e água (RITZ et al., 2012).

Fosfatos individuais apresentam valores de pH significativamente diferentes, e o valor de pH de uma mistura de fosfato deve adequar-se a aplicação. Geralmente, as misturas de fosfato para emulsionados exibem um valor de pH entre 7,0 – 8,3, enquanto os fosfatos para salmouras, exibem um valor de pH de cerca de 9,0 – 9,3 (FEINER, 2006).

Na indústria alimentícia são utilizados como conservantes, agentes acidulantes, tamponantes de acidez (KIM, SCHNEE e PARK, 2009), emulsificantes (ANG e YOUNG, 1989), inibidores de descoloração (VISSA e CORNFORTH, 2006), agentes antioxidantes (ALLEN e CORNFORTH, 2010) e ainda aumentam a vida útil dos produtos, reduzindo a resistência térmica de vários microrganismos. Sais de fosfato são adicionados a muitos alimentos como estabilizantes e intensificadores de

sabor (DUSEK et al., 2003; OLIVO, 2006; ORDÓÑES, 2005; RITZ et al., 2012, XU et al., 2009). Dentre os alimentos que utilizam grandes quantidades de fosfato adicionado estão às carnes processadas, como presuntos, salsichas, peixes enlatados, refrigerantes e *fast food* (RAHABI-LAYACHI et al., 2015; RITZ et al., 2012).

A utilização dos fosfatos como aditivos possui benefícios em produtos cárneos, entre eles:

(1) Apoiam à dissociação do complexo actomiosina. É adicionado em concentrações de 0,5% em produtos cárneos para melhorar a extração das proteínas, principalmente a miosina (OFFER e TRINICK, 1983). Os fosfatos despreendem as forças eletrostáticas dentro do complexo, função conhecida como “efeito específico” da proteína muscular, que contribui para a solubilidade da proteína muscular (FEINER, 2006).

(2) Com a adição de sal e fosfato, a proteína muscular torna-se solúvel. Essas proteínas podem imobilizar altos níveis de água adicionada e ainda, emulsificar gordura, visto que a proteína da carne solubilizada é um excelente emulsificante de gordura (FEINER, 2006).

O NaCl possui capacidade funcional de solubilização e extração das proteínas miofibrilares da carne, sendo essa uma das suas principais funções (DESMOND, 2006). A solubilização faz com que as proteínas miofibrilares sejam ativadas, contribuindo para o aumento da CRA (RUUSUNEN e PUOLANNE, 2005). O nível do sal geralmente é mantido alto (1,5 – 2,5%) devido aos papéis funcionais adicionais que ele fornece (INGUGLIA et al., 2017). Concentrações salinas reduzidas levam a diminuição das proteínas miofibrilares extraídas e solubilizadas, afetando a funcionalidade de todo o sistema de carne (TOTOSAUS e PÉREZ-CHABELA, 2009). O efeito do NaCl na CRA depende do pH do tecido: o NaCl aumenta a CRA em pH maior que o ponto isoelétrico (pI) e o diminui em pH menor que o pI (HAMM, 1999). Entre 4,5 – 5,5, o pI das proteínas da carne está nesta faixa de pH, a solubilidade e CRA é mínima. Nesse pH, extração das proteínas é feita pela aplicação de média ou alta força iônica (GORDON e BARBUT, 1992). Aumentar o pH para longe do pI resultará em aumento da CRA. Com a adição de fosfatos alcalinos, durante a fabricação de produtos cárneos, aumentará o pH da carne

levemente ácida. Esse aumento do pH resultará em repulsão eletrostática entre as proteínas da carne, resultando em aumento da CRA. Os fosfatos afetam a força iônica formando polieletrólitos na água, causando repulsão eletrostática entre as proteínas da carne, o que permite mais espaço para ligação da água e, conseqüentemente, aumento da CRA (FEINER, 2006; MOLINS, 1991; KIM, SCHNEE e PARK, 2009; SEBRANEK, 2009).

(3) Retardam o processo de rancidez, através do poder quelante de íons metais pesados (LONG e BUŇKA, 2011). Os fosfatos, limitam o início da oxidação lipídica por meio da ligação de metais como ferro e cobre, estabilizando-os de forma inativa ou insolúvel (ALLEN e CORNFORTH, 2010).

(4) Os fosfatos, também preservam a cor da carne vermelha, limitando a oxidação do ferro pelos radicais lipolíticos (VISSA e CORNFOTH, 2006).

Os fosfatos ocorrem naturalmente na forma de ésteres orgânicos em muitos tipos de alimentos (RITZ et al., 2012). A ingestão recomendada de fosfato é de 700 a 800 mg por dia. O fosfato dietético existe principalmente em duas formas: fosfato orgânico e inorgânico. O fosfato orgânico está presente naturalmente em alimentos ricos em proteínas como, por exemplo, carnes, produtos lácteos, peixes, legumes e ovos. O fosfato inorgânico consiste em sais orto, piro e polifosfatos. Esses dois tipos de fosfatos diferem no seu nível de absorção intestinal, sendo os fosfatos orgânicos naturais muito menos absorvidos do que os fosfatos inorgânicos (RAHABI-LAYACHI, ISABELLE e KAMEL, 2015). Os fosfatos na forma de conservantes e aditivos são facilmente absorvidos pelo intestino, enquanto os fosfatos nas plantas são frequentemente complexados na forma de fitato e têm menor disponibilidade (TOUSSAINT E HOLT, 2017).

Devido à ampla utilização em alimentos industriais e ao aumento do consumo de alimentos processados, especialmente nas classes mais pobres socioeconomicamente, tem-se visto nos últimos anos um aumento significativo na média de consumo de fosfato diário. Ingestões excedem 1.200 mg por dia, valores que provavelmente ainda são subestimados, devido a falta de informações sobre as quantidades de aditivos presentes nos alimentos processados (RAHABI-LAYACHI, ISABELLE e KAMEL, 2015). Este aumento na ingestão de fosfato é, hoje em dia, um risco para a saúde.

O fosfato é essencial para a vida, servindo como um componente estrutural de ácidos nucleicos, trifosfato de adenosina e fosfolipídios nas membranas, além de desempenhar um papel crítico na sinalização celular através de reações de fosforilação (TOUSSAINT e HOLT, 2017). Além disso, oferecem uma contribuição essencial para o crescimento humano, manutenção e reparos de tecidos e células de organismos vivos (GLORIEUX et al., 2017). O tipo da dieta causa um impacto considerável na absorção intestinal de fosfato. Os níveis séricos normais de fosfato dependem da sua absorção no intestino, da reabsorção e excreção nos rins e do fluxo de fosfato entre os reservatórios extracelulares e esqueléticos (TOUSSAINT e HOLT, 2017). Cerca de dois terços de fosfato da dieta é eliminado na urina e um terço nas fezes (RITZ et al., 2012).

Provavelmente os fosfatos orgânicos contribuem de forma menos importante para o aumento da fosfatemia. Já, o excesso de fosfato inorgânico contribui mais para a elevação da fosfatemia, reconhecida como um fator de risco independente para doença cardiovascular (TOUSSAINT e HOLT, 2017). Concentrações altas de fosfato sérico também impedem a ativação da vitamina D e estimulam a liberação de hormônio paratireóideo, estando diretamente ligada a fatores de risco cardiovascular, como hipertensão, processos inflamatórios e intolerância a glicose (ADENEY et al., 2009). Os rins possuem a capacidade de eliminar o fosfato, sendo o órgão mais importante na regulação diária da fosfatemia. Não é surpreendente que em casos de danos nos rins, distúrbios na eliminação de fosfatos ocorram com um forte impacto na fosfatemia (RAHABI-LAYACHI, ISABELLE e KAMEL, 2015).

A ingestão de fosfato é preocupante em pessoas que apresentam problemas renais, já que nestes casos a capacidade de excreção é prejudicada, ocorrendo um acúmulo dos níveis séricos de fosfato e isso aumenta entre 20 – 40% o risco de mortalidade entre pacientes com insuficiência renal crônica (TENTORI et al., 2008). O fosfato, também causa danos permanentes ao sistema cardiovascular. Concentrações mais elevadas de fosfato podem promover hipertrofia ventricular esquerda, aterosclerose acelerada, aceleração da calcificação cardiovascular e desenvolvimento de hiperparatireoidismo secundário (FOLEY et al., 2009; JOACHIM et al., 2014; TOUSSAINT e HOLT, 2017; RITTER e SLATOPOLSKY, 2016).

A ingestão de fosfato pode ser prejudicial também para pessoas que não apresentem problemas renais, especialmente crianças, adolescentes e jovens adultos. Sabe-se que o nível de fosfato varia com a idade, ao longo do dia e, são afetados pela ingestão de alimentos (TOUSSAINT e HOLT, 2017). Calcificações vasculares são comuns na população em geral, estando fortemente associadas à idade. No entanto, seu desenvolvimento é acelerado em certas situações patológicas, como durante a doença renal crônica. Pacientes com doença renal crônica tem um risco cinco vezes maior de desenvolver calcificações em comparação com indivíduos da mesma faixa etária com função renal normal. As calcificações vasculares consistem em depósitos cristalinos de cálcio e fosfato na matriz extracelular das paredes arteriais (FOLEY et al., 2009; RAHABI-LAYACHI, ISABELLE e KAMEL, 2015). É comprovado que a alta ingestão de fosfato reduz a absorção de cálcio devido à formação de sais insolúveis no intestino, o que causa a diminuição do pico da massa óssea. Esse pico acontece por volta dos 18 – 21 anos de idade e corresponde ao valor máximo de massa óssea que um indivíduo forma ao longo de sua vida. Quanto maior o pico de massa óssea atingido pelo indivíduo, maior será a sua reserva de cálcio para o envelhecimento, e menor será a sua suscetibilidade a fraturas ósseas (BURCKHARDT e MICHEL, 1998).

Restringir o fosfato da dieta reduz o fosfato sérico. Uma dieta com menor teor de fosfato tem sido relatada como eficaz em pacientes em hemodiálise. Dieta rica em fosfatos à base de plantas é recomendada, visto que, é menos absorvido no intestino. Dietas a base de grãos resulta em níveis mais baixos de fosfato sérico em comparação com dietas a base de carne. Os pacientes em hemodiálise devem estar cientes de como evitar os aditivos de fosfatos inorgânicos ocultos nos alimentos como um meio adicional para reduzir o fosfato da dieta (RITTER e SLATOPOLSKY, 2016; TOUSSAINT e HOLT, 2017).

Mesmo com inúmeras propriedades tecnológicas do fosfato, a sua redução deve ser estudada e adotada. Nos últimos anos, os consumidores vêm tendo percepções negativas sobre o uso de fosfatos sintéticos em produtos cárneos, os quais trazem efeitos nocivos à saúde. Existem diversos estudos sobre substituição de fosfato, assim como, redução do mesmo através do uso de tecnologias emergentes. Como substitutos, alguns utilizam casca de ovo e casca de ostra (CHOI et al., 2014), ingredientes de ameixa (JARVIN et al., 2012; JARVIS et al., 2015),

amido de arroz e amido de batata (RESCONI et al., 2016) e, cogumelos de inverno (CHOE et al., 2018). A tecnologia mais utilizada é de alta pressão (HPP) (O'FLYNN et al., 2014a; O'FLYNN et al., 2014b). Também há redução da quantidade de fosfatos utilizada em produtos cárneos (SHEARD et al., 1999; RUUSUNEN et al., 2003; XU et al., 2009; YAPAR et al., 2006).

## 2.3. ULTRASSOM

### 2.3.1. Princípios do ultrassom

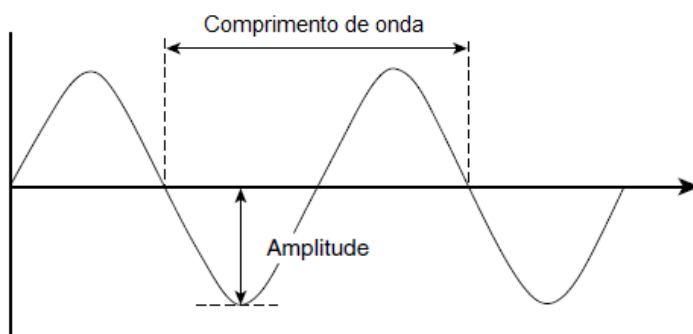
O ultrassom (US) pode ser considerado análogo à luz ultravioleta, pois caracteriza aquela região de fenômenos acústicos que não é acessível à percepção humana, devido às altas frequências envolvidas (KUTTRUFF, 1991).

As ondas sonoras são mecânicas e exigem um meio para se propagarem. A transmissão do som ocorre devido a movimentos ordenados e periódicos das moléculas no meio, cuja energia é passada de moléculas adjacentes sem que haja transferência de massa (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996). As ondas sonoras são caracterizadas pelo seu comprimento de onda, frequência, amplitude, intensidade e sua velocidade. O comprimento de onda (Figura 7) é o espaço percorrido pela perturbação até o ponto em que a partícula passe a repetir o movimento (TORLEY e BHANDARI, 2007).

O tipo de onda sonora é determinado pela sua frequência. A frequência é o número de ondas que passam por um determinado ponto em um intervalo de tempo e se assemelha a vibração do gerador de ondas. A amplitude é a altura da onda e determina a força da onda. A amplitude está relacionada com a energia contida na onda, refere-se ao movimento da fonte ultrassônica. A intensidade do som pode ser descrita como a quantidade de energia contida no movimento vibratório. A intensidade provoca uma maior ou menor amplitude de vibração ou na onda sonora (TORLEY e BHANDARI, 2007).



**Figura 7:** Comprimento de onda e amplitude



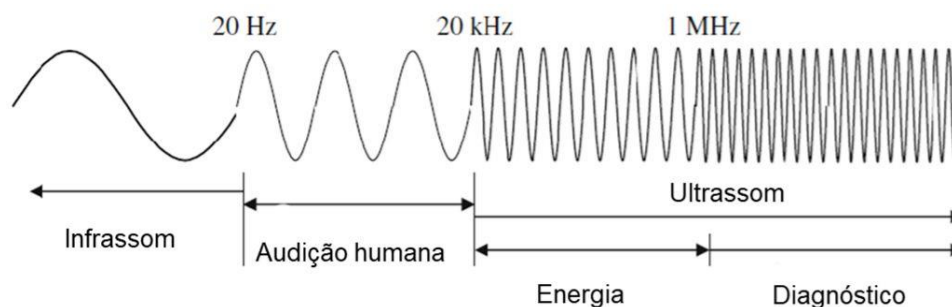
Fonte: FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011.

O alcance da audição humana é de cerca de 20 Hz a 20 kHz. A palavra “ultrassom” refere-se a ondas sonoras que estão em uma frequência acima desse intervalo (FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011). A frequência máxima captada pela audição humana é inferior a de muitos animais, como os cachorros, que podem ouvir frequências superiores a 50 kHz ou os golfinhos e morcegos que captam ondas próximas aos 100 kHz. Alguns destes animais baseiam a maior parte de sua comunicação na utilização do ultrassom (DE CASTRO e CAPOTE, 2007).

O espectro ultrassônico (Figura 8) pode ser dividido em duas zonas. O ultrassom de potência, que se refere a faixa de frequência de 20 kHz a cerca de 1 MHz e a ultrasonografia, com frequência superior a 1 MHz e que é usada principalmente para fins de imagens médicas e industriais (FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011).

As ondas ultrassônicas podem ser classificadas em função de suas frequências. O termo infrassom refere-se às ondas de baixas frequências < 20 Hz. Abaixo da faixa de frequência perceptível pelo ouvido humano. O ultrassom é o tipo de onda que possui uma frequência superior a audição humana. O espectro ultrassônico pode ser dividido em duas subfaixas, a primeira, classificada como ultrassom de potência, onde o foco de estudos está na faixa de 20 kHz a 1MHz e, a segunda, chamada de ultrassom de diagnósticos, que supera a frequência de 1MHz (FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011).

**Figura 8:** Espectro sonoro



Fonte: FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011.

### 2.3.2. Considerações históricas

A utilização do ultrassom pelo homem começou por volta de 1880, quando os irmãos Curie descobriram o efeito piezoelétrico, que é até hoje, a base fundamental em que se apoia a tecnologia dos transdutores modernos. O primeiro transdutor de ultrassom foi o apito, desenvolvido por Francis Galton em 1883, ao estudar o limite da audição humana (KUTTRUFF, 1991). Se o ultrassom é aplicado com uma potência suficientemente grande, é possível influenciar um determinado processo ou reação química. Essa influência é dada, na maioria das vezes, pela cavitação.

Esse fenômeno foi identificado em 1895 nas hélices dos barcos. Se o movimento das mesmas fosse muito rápido, eram produzidas as denominadas bolhas de cavitação, que, ao se romperem, causavam erosão nas hélices (MANSON e LORIMER, 2002). Estudos sistemáticos de efeitos físicos, químicos e biológicos produzidos pelo ultrassom começaram no início de 1900. Em 1917, Lorde Raleigh desenvolveu um modelo matemático para o colapso da bolha de cavitação enquanto investigava o problema de erosão por hélice de alta velocidade. Também em 1917 a primeira aplicação comercial do ultrassom ocorreu com a utilização do “rastreador de ecos” (*eco-sounder*), desenvolvido por P. Langevin. Esse sistema deu lugar ao *Sound Navigator and Ranging* na detecção submarina, que foi aprimorado durante a Segunda Guerra Mundial. Mais tarde, surgiu o microscópio de varredura ultrassônica e numerosas aplicações como análises não destrutivas na medicina, entre outras (KUTTRUFF, 1991; TORLEY e BHANDARI, 2007). A partir de 1945, houve maior conhecimento do fenômeno de cavitação e o desenvolvimento de novos

equipamentos para aplicação de ultrassom com uma potência desejada (MANSON e LORIMER, 2002).

### 2.3.3. Fenômeno de cavitação

A cavitação é um fenômeno típico de fortes campos ultrassônicos em líquidos (KUTTRUFF, 1991). O tratamento com ultrassom em meio líquido provoca ciclos alternados de compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa). Isso resulta em cavitação, que é a formação de vazios ou cavidades em líquidos por meio de uma força mecânica (CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011). Essas cavidades ou bolhas tem tempo de vida limitado, dependendo da sua natureza e da condição do meio circundante. À medida que as bolhas se formam e colapsam rapidamente, ocorrem ondas de choque pressurizadas, eventos de aquecimento localizados e oscilações de forças de cisalhamento (FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011).

A cavitação é a nucleação, crescimento e colapso impulsivo transitório de bolhas microscópicas no líquido. O efeito químico da cavitação é a geração de radicais altamente reativos devido à dissociação das moléculas de vapor aprisionadas na bolha de cavitação, sob condições extremas atingidas dentro da bolha durante seu colapso. A implosão das bolhas de cavitação dentro e fora de uma amostra biológica pode contribuir para a ruptura da parede celular (YANG et al., 2017).

O significado de cavitação para sonoquímica não é tanto sobre como as bolhas se formam, mas o que acontece quando elas colapsam. Em algum momento, uma bolha não consegue mais absorver eficientemente a energia do ultrassom, de modo que ela implode (DE CASTRO e CAPOTE, 2007). A compressão adiabática rápida de gases e vapores dentro das bolhas ou cavidades produz temperaturas e pressões extremamente altas, estimadas em cerca de 5000 °C. A pressão é de aproximadamente 2000 atmosferas (CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011; DE CASTRO e CAPOTE, 2007). O tamanho das bolhas é muito pequeno em relação ao volume total de líquido, então o calor que eles produzem é rapidamente dissipado sem

nenhuma mudança significativa nas condições ambientais. A cavitação também é conhecida como “ebulição a frio”. Estima-se que o resfriamento após o colapso de uma bolha cavitacional esteja na região de 10 bilhões de °C/segundo (DE CASTRO e CAPOTE, 2007). Os passos envolvidos no processo de cavitação estão demonstrados na Figura 9.

Existem dois tipos principais de cavitação, a transitória (ou “inerciais”) e a estática (ou “não-inerciais”). A cavitação estática é caracterizada por bolhas duradouras, que permanecem estáveis por muitos ciclos de compressão e rarefação. A cavitação estática é produzida geralmente com ultrassom de baixa intensidade. A cavitação transitória ocorre quando a vibração aumenta o tamanho das bolhas progressivamente ao longo de vários ciclos de compressão e rarefação até chegar a um tamanho em que ela colapsa violentamente (TORLEY e BHANDARI, 2007).

Para a ocorrência do fenômeno de cavitação, vários fatores são de grande importância, incluindo a aplicação da frequência, a intensidade da vibração que está diretamente relacionada com a amplitude, a viscosidade do solvente, a tensão superficial, a pressão de vapor e a temperatura (DE CASTRO e CAPOTE, 2007; LIU et al., 2013; TORLEY e BHANDARI, 2007).

**Figura 9:** Representação do desenvolvimento e colapso de bolhas de cavitação



Fonte: DE CASTRO E CAPOTE, 2007.

#### 2.3.4. Métodos de aplicação

Em aplicações ultrassônicas, os transdutores são projetados para converter energia mecânica ou elétrica em som de alta frequência. O equipamento necessário para as duas aplicações, se compõe de três partes essenciais. Um gerador para converter o sinal elétrico da rede à frequência requerida. Um transdutor que converta esta corrente de alta frequência em vibrações mecânicas, e um sistema de aplicação de transporte de energia acústica gerada pelo transdutor ao meio que se deseja tratar (MANSON e LORIMER, 2002).

A aplicação de US é baseada em dois métodos diferentes: Aplicado diretamente no produto, acoplado a um dispositivo e através de submersão em banho ultrassônico (CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011).

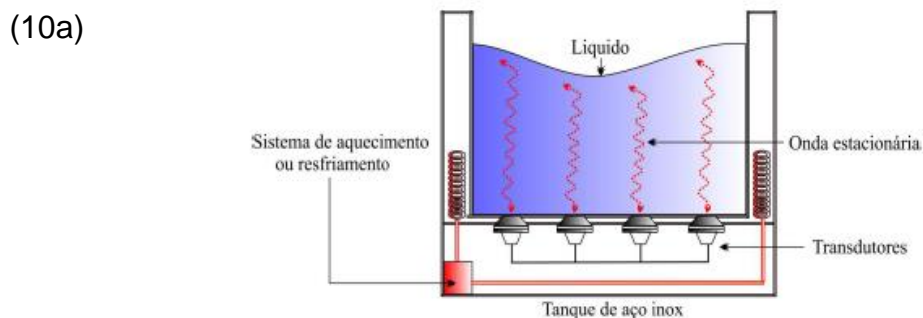
##### Banho ultrassônico

Os banhos ultrassônicos (Figura 10a) consistem em um tanque de aço inoxidável compostos por três elementos: um gerador, transdutores e um tanque ou banho de tratamento. Neste sistema, os elementos geradores de ultrassom não entram em contato direto com a amostra. Os transdutores são montados na parede, na base ou nos lados do tanque de tratamento. Este tipo de instalação possui uma grande superfície emissora de ultrassom (FENG e YANG, 2011). O ultrassom tem que ser transferido através da água para alcançar a amostra colocada no banho de sonicação. Um dos parâmetros básicos da engenharia ultrassônica é a densidade de potência, que é definida como a energia elétrica fornecida ao transdutor dividida pela área de superfície radiante do transdutor. A frequência e a potência de um banho ultrassônico dependem do tipo e número de transdutores que ele contém (DE CASTRO e CAPOTE, 2007). As vantagens de usar banho ultrassônico é que várias amostras de tamanhos variados podem ser tratadas juntas e o campo acústico é distribuído uniformemente pelo líquido presente no banho. As limitações são que eles geralmente fornecem intensidades de energia muito menores do que sistemas de sondas e a manutenção de temperatura do banho são difíceis, a menos que o ultrassom seja equipado com algum controle térmico automático. A maioria dos

banhos aquece durante a operação, especialmente após uso prolongado (DE CASTRO e CAPOTE, 2007; PALMA, ZHOU e FENG, 2017).

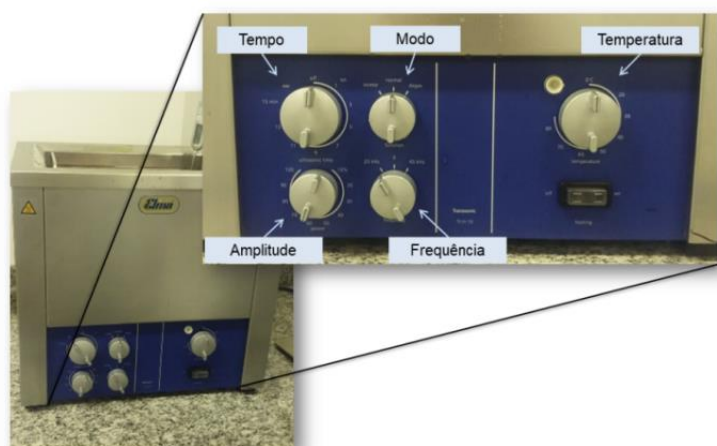
Existem três classes de banhos ultrassônicos. O clássico, banho ultrassônico comum, funciona com apenas uma frequência, geralmente 40 kHz. Um segundo tipo é fornecido com uma unidade de multifrequências, que opera utilizando, simultaneamente, transdutores ultrassônicos com frequências diferentes, 25 e 40 kHz, na parte inferior e na lateral, respectivamente. E, o terceiro modelo corresponde ao mais avançado em termos de tecnologia (Figura 10b), incluindo diversos recursos: (1) frequência dupla de sonicação. (2) uma escolha de 25/45 ou 35/130 kHz. (3) regulação de potência. (4) a intensidade da sonicação pode ser controlada através do controle de amplitude (10 – 100%). (5) possui três modos de operação: (a) Sweep (varredura): neste modo, a frequência varia dentro de um intervalo definido. A eficiência ultrassônica é mais homogeneamente distribuída no banho do que durante a operação padrão. (b) Normal: caracterizado por fornecer uma estabilização de frequência e promover um fluxo contínuo e melhor distribuição de ondas no banho. (c) Degas: a energia é interrompida por um curto período para que as bolhas não sejam retidas pelas forças ultrassônicas. E, (6) aquecimento e temporizador (CICHOSKI et al., 2019; SANTOS, LODEIRO E CAPELO-MARTÍNEZ, 2009).

**Figura 10:** (10a) Subdivisão de um banho ultrassônico. (10b) Moderno banho ultrassônico



Fonte: POVEY e MANSON, 1998.

(10b)



Fonte: O AUTOR.

### Sistema de sondas

A principal diferença entre o banho ultrassônico e os sistemas de sondas é que, a sonda ultrassônica é imersa diretamente no recipiente da amostra, podendo fornecer uma intensidade de ultrassom muito mais alta do que o banho ultrassônico (100 vezes maior) (SANTOS, LONDEIRO e CAPELO-MARTINEZ, 2009).

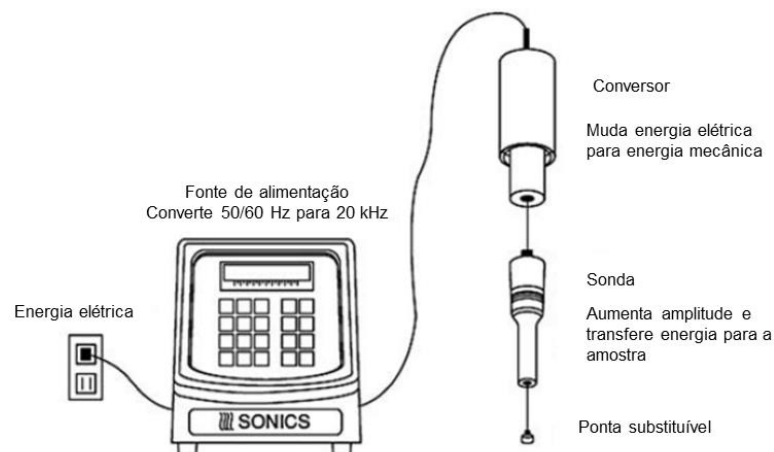
Um sistema de sondas (Figura 11) é geralmente composto por três elementos: um gerador, que converte energia elétrica em corrente alternada de alta frequência, um transdutor (ou conversor) que transforma a tensão de oscilação de alta frequência em vibrações mecânicas e, uma sonda que transmite a energia acústica para o meio na forma de ondas ultrassônicas (FENG e YANG, 2011; PALMA, ZHOU e FENG, 2017). As sondas usadas para o sistema são geralmente feitas de titânio ou ligas de alumínio, ambas são resistentes à abrasão. A atividade da cavitação acústica está localizada na ponta da sonda (TORLEY e BHANDARI, 2007).

Os dispositivos de sonda fornecem o método mais eficiente para transmitir energia ultrassônica. As principais vantagens do uso do sistema de sondas são: a intensidade ultrassônica e o tamanho da amostra a ser irradiada podem ser combinados com bastante precisão para um efeito ótimo. A sonda pode ser ajustada para dar um ótimo desempenho, o equipamento moderno é normalmente equipado

com um regulador de frequência automático. O fluxo ultrassônico da ponta da sonda opera com potência moderada. E, a potência ultrassônica fornecida pela ponta da sonda está diretamente relacionada a magnitude da vibração da ponta (DE CASTRO e CAPOTE, 2007).

Por outro lado, as desvantagens do sistema de sondas incluem: o desempenho das sondas ultrassônicas só é ótimo em frequência fixa, tal frequência de 20 kHz. Assim como nos banhos ultrassônicos, é muito difícil controlar a temperatura das sondas. A alta intensidade de irradiação na zona próxima a ponta pode produzir espécies de radicais livres, o que pode interferir nos experimentos. A cavitação, também é a origem de um problema comum nos sistemas de sondas: erosão da ponta, que ocorre apesar do fato de a maioria das sondas serem feitas de liga de titânio. Existem dois efeitos colaterais associados à erosão: as partículas de metal erodidas da ponta contaminarão o sistema e, o encurtamento físico da ponta da sonda reduz a eficiência (DE CASTRO e CAPOTE, 2007; FENG e YANG, 2011; TORLEY e BHANDARI, 2007).

**Figura 11:** Esquema de um sistema de sonda ultrassônico



Fonte: PALMA, ZHOU e FENG, 2017.

### 2.3.5. Aplicações de ultrassom em alimentos



O uso do ultrassom na indústria alimentícia está relacionado às mudanças físicas, químicas, funcionais e microbiológicas que podem ocorrer nos alimentos devido a sua aplicação. Oferecendo vantagens em termos de produtividade, rendimento e seletividade, com melhor tempo de processamento, melhor qualidade e riscos químicos e físicos reduzidos. O ultrassom é uma tecnologia limpa, rápida, não invasiva, não destrutiva e precisa, sendo assim, ecologicamente correta (CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011; DOLATOWSKI, STADINIK e STASIAK, 2007). O ultrassom de alta potência pode ser utilizado no processamento de alimentos e em áreas relacionadas à segurança dos alimentos (TURANTAŞ, KILIÇ e KILIÇ, 2015). Os parâmetros acústicos como frequência, amplitude, tempo e temperatura, determinam a extensão do resultado desejado obtido a partir da sonicação (STADNIK e DOLATOWSKI, 2011).

Existem numerosas aplicações da tecnologia de ultrassom na área de alimentos. Nos últimos anos, tem sido empregado na melhoria do processo de desidratação, filtração, modificação da viscosidade, emulsificação, fermentação, amaciamento de carnes (CÁRCEL et al., 2007; JAYASOORIYA et al., 2007), inativação de enzimas (DIAS et al., 2015), inativação de microrganismos (HAUGHTON et al., 2012; KODA et al., 2003), melhorar propriedades funcionais de proteínas alimentícias (ARZENI et al., 2012; ARZENI, PÉREZ e PILOSOFF, 2012; JAMBRAK et al., 2014), entre diversas outras aplicações (AADIL et al., 2013; ADEKUNDE et al., 2010; ALLEN et al., 2008; GUERRERO, LÓPEZ-MALO e ALZAMORA, 2001; SAMS e FERIA, 1991). De acordo com O'Donnell et al., 2010, grande parte das aplicações do ultrassom em alimentos é causada principalmente por princípios físicos (cavitação, efeitos mecânicos) e/ou químicos (formação de radicais livres devido a reação sonoquímica).

O ultrassom pode ser utilizado como método de conservação de alimentos sem provocar alterações sensoriais e ainda possuir alto grau de segurança microbiológica e também, a alta intensidade das ondas ultrassônicas podem romper células e desnaturar enzimas (CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011).

Os efeitos físicos, químicos ou mecânicos das ondas ultrassônicas são capazes de alterar determinadas propriedades, como causar a ruptura física e acelerar reações químicas (JAYASOORIYA et al., 2007). O ultrassom tem

capacidade de induzir a ruptura da membrana celular, o que aumenta o amaciamento da carne diretamente, enfraquecendo o tecido muscular, ou indiretamente, aumentando a proteólise através da liberação de catepsinas a partir dos lisossomos e/ou íons  $\text{Ca}^{2+}$  de reservas intracelulares, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  ativam as calpaínas (CHANG et al., 2015). Outra forma de ter a atividade das calpaínas intensificada é pelo aumento do pH das amostras tratadas com ultrassom, quando comparadas com amostras controle (JAYASOORIYA et al., 2007).

Para produtos cárneos, a tecnologia de ultrassom é utilizada para melhorar critérios de qualidade como maciez, modificação das propriedades funcionais das proteínas, redução de aditivos, aumento do rendimento de cozimento, melhora da vida de prateleira, melhora da textura, bem como inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes (ALVES et al., 2018; CARCEL et al., 2007; CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011; JAYASOORIYA et al., 2007; LI et al., 2014; O'DONNELL et al., 2010; RASTOGI, 2010; TURANTAŞ, KILIÇ e KILIÇ, 2015; XIONG et al., 2000). Cichoski et al. (2015) utilizaram o ultrassom em pasteurização de salsichas já embaladas, inibindo a multiplicação de bactérias, reduzindo a oxidação lipídica e estendendo a vida útil do produto. Cichoski et al. (2019) testaram, em emulsões cárneas, nos três modos de operações do ultrassom (degas, sweep e normal), os quais exerceram influência na temperatura através do efeito da cavitação. Comprovaram que o modo normal, frequência de 25 kHz e 60% de amplitude, beneficiaram a qualidade tecnológica das emulsões cárneas.

Diante das diversas vantagens da utilização do ultrassom em produtos cárneos, como maior rendimento do cozimento e estabilidade do gel, ocasionando em produtos mais coesos e macios, é bastante possível a utilização desta tecnologia para redução de aditivos como fosfatos em produtos cárneos emulsionados através dos efeitos físicos e químicos gerados pela cavitação, sugerindo que esta tecnologia pode ser utilizada como ferramenta para desenvolver produtos cárneos mais saudáveis.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. ELABORAÇÃO DA EMULSÃO CÁRNEA

A carne bovina (*Vastus lateralis*) e o toucinho utilizados nas formulações foram obtidos no comércio local. As matérias-primas (0 – 2 °C) foram moídas separadamente em um moedor (Modelo PJ-22 Plus Profissional, Jamar, Brasil) com disco de 5 mm. Posteriormente, a carne bovina foi cominuída no *cutter* (Modelo 0,5L 60 Hz, G-Paniz, Brasil) juntamente com o NaCl, diferentes concentrações de tripolifosfato de sódio (Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>, Ibrac, Brasil) (Tabela 1) e a água. Após 20 segundos foi adicionado o toucinho e procedeu-se a cominuição até a formação da emulsão cárnea. A temperatura da massa cárnea não excedeu 10 °C durante a cominuição. A emulsão cárnea foi embutida em invólucros artificiais (46µm de espessura, 32 mm de diâmetro, 18 ± 1 cm de comprimento, constituído de poliamida 6/ adesivo de coextrusão/ polietileno de baixa densidade, Viskase, Brazil) com peso de aproximadamente 100 g e tamanho de 25 cm.

#### 3.2. APLICAÇÃO DE US

Logo após o embutimento as peças foram sonicadas por 0, 9 e 18 minutos (Tabela 1) em um banho ultrassônico (Elma Schmidbauer GmbH, modelo TI-H-10 MF2, Singen, Alemanha). O banho ultrassônico tinha uma potência nominal de 1000 W e foi regulado para operar nas seguintes condições: modo normal, 60% de amplitude e frequência de 25 KHz. Esses parâmetros foram baseados no estudo de CICHOSKI et al., 2019. As dimensões internas do tanque do banho ultrassônico eram de aproximadamente 300 x 240 x 150 mm (W x D x H). Foram adicionados 6,9 litros de água no tanque o qual continha cinco peças de emulsões cárneas por vez. Foi adicionado gelo para manter a temperatura da água em 20 °C durante a aplicação do US. O banho ultrassônico apresentou uma potência acústica de 230 W (KODA, KIMURA, KONDO e MITOME, 2003) e uma potência volumétrica de aproximadamente 33 W/L (FENG, BARBOSA-CÁNOVAS e WEISS, 2011).

**Tabela 1:** Formulação de emulsões cárneas contendo diferentes concentrações de fosfato que foram submetidas ao ultrassom

| Tratamentos                      | *PR (%)    | Carne bovina (%) | Toucinho (%) | NaCl (%) | **Fosfato (%) | Água (%) | Tempo US (min.) |
|----------------------------------|------------|------------------|--------------|----------|---------------|----------|-----------------|
| <b>Control</b> <sub>PR0%</sub>   | <b>0</b>   | 75               | 15           | 2,5      | 0,5           | 7        | 0               |
| <b>US9</b> <sub>PR0%</sub>       | <b>0</b>   | 75               | 15           | 2,5      | 0,5           | 7        | 9               |
| <b>US18</b> <sub>PR0%</sub>      | <b>0</b>   | 75               | 15           | 2,5      | 0,5           | 7        | 18              |
| <b>Control</b> <sub>PR25%</sub>  | <b>25</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,375         | 7,125    | 0               |
| <b>US9</b> <sub>PR25%</sub>      | <b>25</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,375         | 7,125    | 9               |
| <b>US18</b> <sub>PR25%</sub>     | <b>25</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,375         | 7,125    | 18              |
| <b>Control</b> <sub>PR50%</sub>  | <b>50</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,25          | 7,25     | 0               |
| <b>US9</b> <sub>PR50%</sub>      | <b>50</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,25          | 7,25     | 9               |
| <b>US18</b> <sub>PR50%</sub>     | <b>50</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,25          | 7,25     | 18              |
| <b>Control</b> <sub>PR75%</sub>  | <b>75</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,125         | 7,375    | 0               |
| <b>US9</b> <sub>PR75%</sub>      | <b>75</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,125         | 7,375    | 9               |
| <b>US18</b> <sub>PR75%</sub>     | <b>75</b>  | 75               | 15           | 2,5      | 0,125         | 7,375    | 18              |
| <b>Control</b> <sub>PR100%</sub> | <b>100</b> | 75               | 15           | 2,5      | 0             | 7,5      | 0               |
| <b>US9</b> <sub>PR100%</sub>     | <b>100</b> | 75               | 15           | 2,5      | 0             | 7,5      | 9               |
| <b>US18</b> <sub>PR100%</sub>    | <b>100</b> | 75               | 15           | 2,5      | 0             | 7,5      | 18              |

\*PR: Redução de fosfato

\*\*Fosfato: Tripolifosfato de sódio (NovaProm)

### 3.3. COZIMENTO DAS EMULSÕES CÁRNEAS

As emulsões cárneas foram cozidas, imediatamente após o banho de ultrassom, em água em três etapas: 30 minutos a 60 °C; 30 minutos a 70 °C e 80 °C até a temperatura interna de 72 °C. A temperatura interna foi monitorada com um termômetro termopar inserido no centro das amostras. Após o cozimento, as amostras foram imediatamente resfriadas em banho de gelo até atingirem uma temperatura inferior a 10 °C. As amostras foram armazenadas sob refrigeração (4 °C) por 24 h até serem analisadas.

### 3.4. RENDIMENTO DO COZIMENTO

Aproximadamente 20g da emulsão cárnea crua foram adicionadas em sacos de poliamida (*nylon*) e polietileno. Após a selagem dos sacos, as amostras foram cozidas em água a 70 °C por 60 minutos. O rendimento do cozimento foi calculado em quintuplicata através da diferença de peso de antes e após o cozimento conforme demonstrado na equação 01 (PARKS e CARPENTER, 1987).

$$\begin{aligned} & \text{Rendimento do cozimento (\%)} \\ & = 100 - \left( \frac{\text{Peso amostra antes cozimento (g)} - \text{Peso amostra após cozimento (g)}}{\text{Peso amostra antes cozimento (g)}} \right) \times 100 \quad (01) \end{aligned}$$

### 3.5. ESTABILIDADE DA EMULSÃO

A análise de estabilidade da emulsão foi realizada em quintuplicata segundo a metodologia descrita por COMENERO, AYO e CARBALLO (2005). Foram pesados 5 gramas da emulsão cárnea crua em tubos Falcon de 25 mL. As amostras foram centrifugadas a 2 °C durante 5 minutos à 2632 rpm em uma centrífuga refrigerada de alta velocidade (modelo CR226II, Hitachi Koki Co., Japão). A seguir, as mesmas foram aquecidas a 95 °C por 40 minutos. Na sequência, as amostras foram resfriadas em banho de gelo até 10 °C. O líquido total liberado após o resfriamento foi pesado em béquer de vidro de 50 mL. Os béqueres foram mantidos a 105 °C até a evaporação completa da água e novamente pesados para determinação da

gordura liberada. Os teores de água e gordura liberados foram determinados de acordo com as equações 02 e 03, respectivamente.

$$\text{Água liberada (\%)} = \left( \frac{\text{Peso líquido total liberado (g)} - \text{Peso gordura liberada (g)}}{\text{Peso batter (g)}} \right) \times 100 \quad (02)$$

$$\text{Gordura liberada (\%)} = \left( \frac{\text{Peso gordura liberada (g)}}{\text{Peso batter (g)}} \right) \times 100 \quad (03)$$

### 3.6. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA (TPA)

As análises de TPA foram realizadas em um texturômetro equipado com uma célula de carga de 25 kg (Modelo TA-TX2, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England). Cinco amostras de emulsão cárnea por tratamento foram usados para as análises de TPA. Foram retirados com uma faca quatro cilindros (2 cm espessura e 2 cm de diâmetro) de cada amostra de emulsão cárnea (20 cilindros por tratamento). Cada cilindro foi comprimido axialmente em dois ciclos consecutivos de 50% de compressão. Foi utilizado um probe de 40 mm de diâmetro com uma velocidade constante de 1 mm/s. Foram calculados os parâmetros de dureza (N), coesividade, elasticidade (mm) e mastigabilidade (N).

### 3.7. pH E ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ )

A determinação do pH foi realizada através da homogeneização de dez gramas de amostra com água destilada (1:10 amostra/água). O homogeneizado foi submetido aos eletrodos do pHmetro (Modelo DM 23, Digimed, Brasil) até a estabilização. A  $a_w$  foi determinada a 25°C, utilizando o aparelho Aqualab 4TE (Decagon, Pullman, USA). O pH e a  $A_w$  foram determinadas em triplicata usando três amostras cozidas para cada tratamento.

### 3.8. TBARS

Para verificação da oxidação lipídica foi realizado o teste de TBARS. Os tratamentos Control<sub>PR0%</sub>, Control<sub>PR25%</sub>, Control<sub>PR50%</sub>, US18<sub>PR0%</sub>, US18<sub>PR25%</sub>, US18<sub>PR50%</sub> foram novamente processados conforme descrito nos itens 3.1 – 3.3 e na Tabela 1 e foram armazenados à 4 °C por 21 dias. Nesses tratamentos foi realizado em triplicata a análise de TBARS após 1, 7, 14 e 21 dias de armazenamento a 4 °C de acordo com a metodologia descrita por Bruna et al. (2001), usando ácido tricloroacético em substituição ao ácido perclórico como solvente.

### 3.9. ANÁLISE SENSORIAL

A qualidade sensorial dos tratamentos Control<sub>PR0%</sub>, Control<sub>PR25%</sub>, Control<sub>PR50%</sub>, US18<sub>PR0%</sub>, US18<sub>PR25%</sub>, US18<sub>PR50%</sub> foi avaliada após 5 dias de armazenamento a 4 °C. Esses tratamentos foram elaborados conforme descrito nos itens 3.1 – 3.3 e na Tabela 1. No entanto, para tornar os produtos sensorialmente similares aos disponíveis no mercado foram incluídos aditivos (nitrito de sódio: 0,015%; eritorbato de sódio: 0,025%) e condimentos (alho: 0,1%; coentro: 0,2%; pimenta preta: 0,1%) e se diminuiu a quantidade de água (Tabela 1) para o somatório total dos ingredientes das formulações permanecer em 100%.

Foram aplicados os testes de aceitação e *Check all that apply* (CATA) a fim de traçar um perfil sensorial das mortadelas com reduzido teor de fosfato. As amostras foram apresentadas aos consumidores de forma monádica (STONE et al., 2012), codificadas com algarismos de três dígitos e a ordem de apresentação seguiu um delineamento balanceado conforme descrito por MACFIE e BRATCHELL (1989). Todos os testes foram realizados em cabines individuais com luz fluorescente. As análises sensoriais foram realizadas por 100 julgadores não treinados recrutados entre estudantes, funcionários e professores da Universidade Federal de Santa Maria (Brasil), com idades entre 18 e 60 anos (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991). Este protocolo de estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSM (CAAE: 91346618.9.0000.5346) e todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido concordando em participar voluntariamente das análises sensoriais.

O teste de aceitação foi aplicado utilizando uma escala hedônica estruturada de nove pontos, com extremos variando de desgostei muitíssimo (1) a gostei muitíssimo (9). Os atributos de cor, aroma, sabor, textura e aceitação global foram avaliados. Para o teste CATA, os consumidores foram convidados a marcar todos os termos sensoriais que caracterizavam a amostra apresentada. Esses termos foram gerados por um grupo de 10 consumidores de mortadela e incluíram descritores relacionados com a cor (pálida e ideal), aroma (suave, agradável, ranço), sabor (agradável, ruim, adstringente e ranço) e textura (macia, suculenta, seca e dura).

### 3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todo o experimento foi repetido 3 vezes em 3 dias diferentes (n=3). O delineamento experimental em blocos ao acaso foi utilizado. Os dados, exceto os resultados do CATA, foram analisados através de uma análise de variância (ANOVA) usando um procedimento de modelo linear geral. Os tratamentos foram colocados no modelo como efeito fixo e as repetições como efeito aleatório. O teste de Tukey ao nível de 5% de significância foi aplicado para comparação de média entre os tratamentos.

Os dados do CATA foram tabulados em formato binário (0: atributo não marcado; 1: atributo marcado). O teste Q Cochran's foi aplicado para comparar os produtos de forma independente para cada atributo, uma vez que uma alta proporção significa que o atributo foi frequentemente selecionado pelos consumidores para o produto considerado. Uma análise de correspondência foi realizada usando a distância qui-quadrado calculada a partir de uma tabela de frequência elaborada com os tratamentos em linhas e os atributos do CATA nas colunas (ARES et al., 2014).

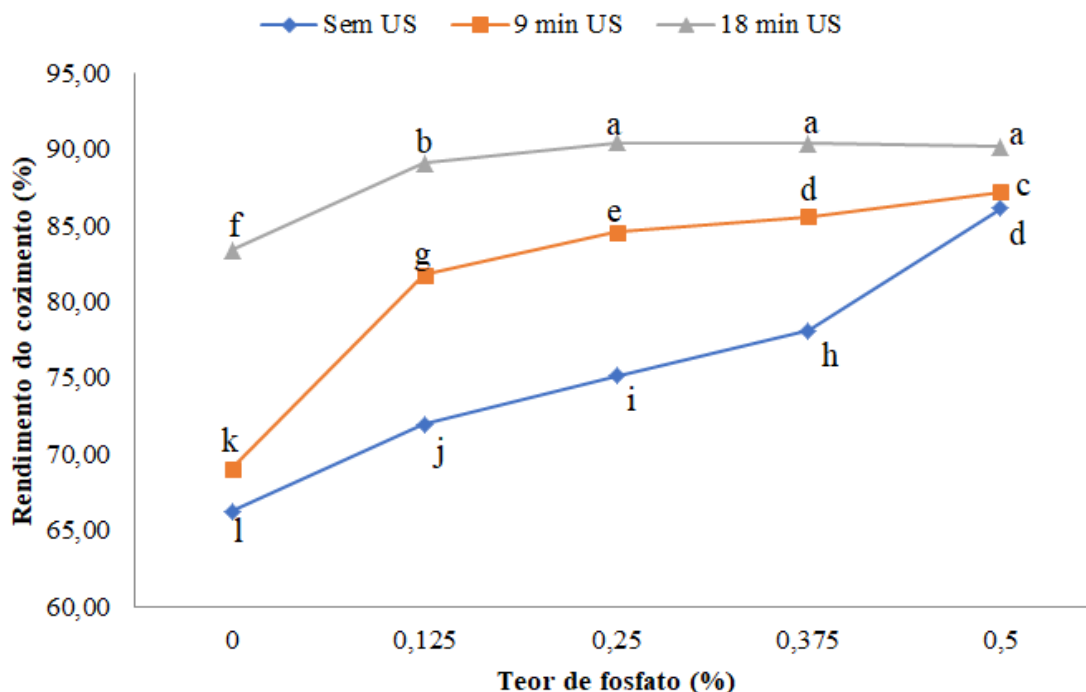


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. RENDIMENTO DO COZIMENTO E ESTABILIDADE DA EMULSÃO

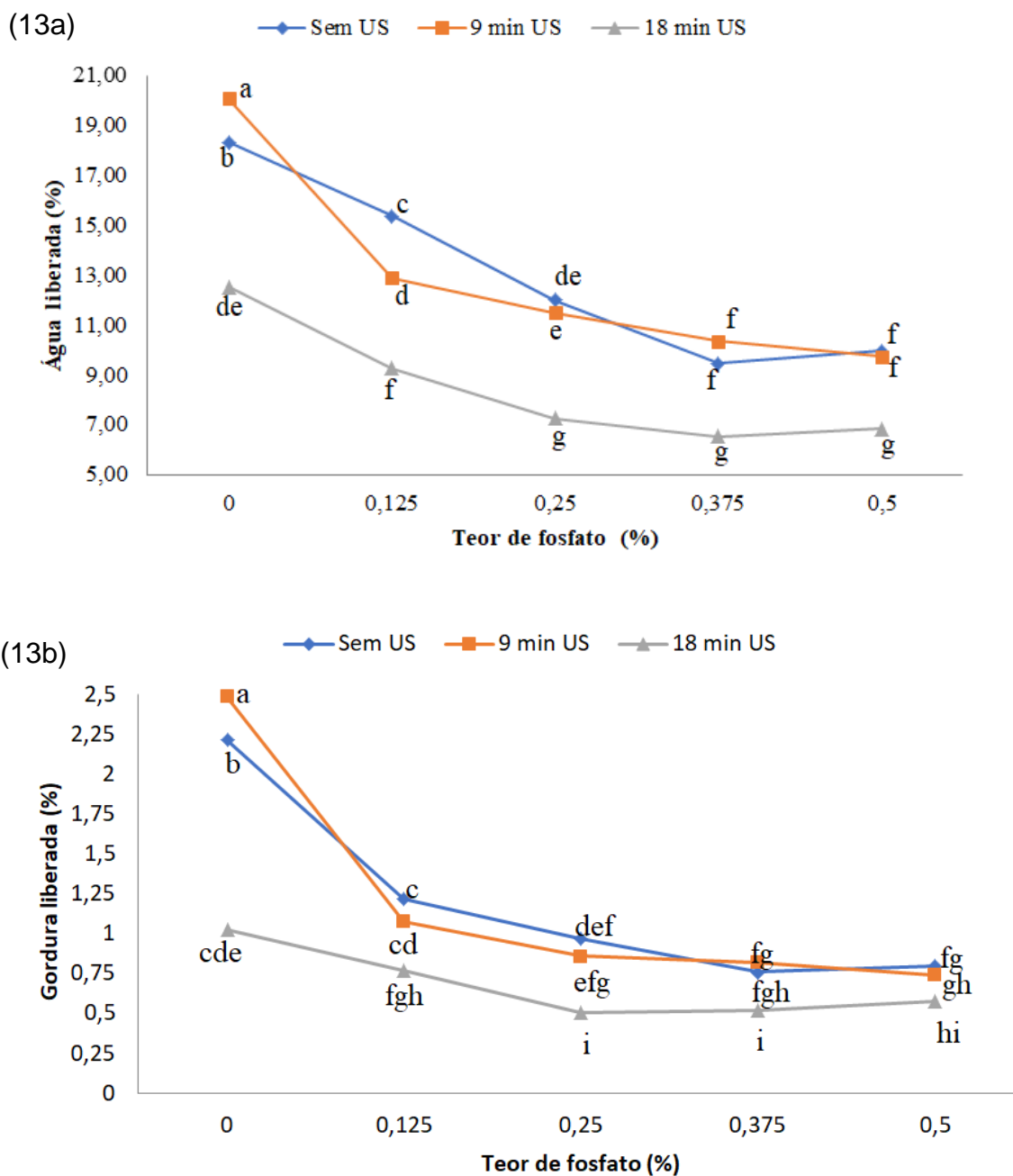
A adição do fosfato durante a elaboração de produtos cárneos aumenta o pH do músculo e a força iônica, o que proporciona uma maior extração e solubilização das proteínas miofibrilares (RESCONI et al., 2016). O rendimento do cozimento e a estabilidade da emulsão são atributos tecnológicos correlacionados positivamente com a quantidade de proteínas miofibrilares extraídas durante o processo de cominuição. Nesse estudo, a diminuição da concentração de fosfato nos tratamentos controle (sem US) diminuiu significativamente o rendimento do cozimento (Figura 12). A redução de 0, 25, 50 e 75% de fosfato nos tratamentos controle (sem US) provocou uma redução no rendimento do cozimento de aproximadamente 9,34%, 12,75%, 16,45% e 23,1%, respectivamente. Esse resultado era esperado e está de acordo com outros autores que avaliaram a redução de fosfato em produtos cárneos (CHO, BAE e JEONG, 2017; BARBUT e SOMBOONPANYAKULT, 2007; ÇARKCIOĞLU, COSENTHAL e CANDOĞAN, 2015; MATLOCK et al., 1984; TROUT e SCHIMIDT, 1984). Ao se comparar os tratamentos com mesmo nível de adição de fosfato pode-se verificar que a aplicação de US aumentou significativamente o rendimento do cozimento (Figura 12). As amostras tratadas com 18 minutos de US e com 50% de redução de fosfato (US18<sub>PR0%</sub>, US18<sub>PR25%</sub> e US18<sub>PR50%</sub>) apresentaram o maior rendimento do cozimento entre todos os tratamentos ( $P < 0,05$ ). Além disso, a amostra tratada com 18 minutos de US e com 75% de redução de fosfato (US18<sub>PR75%</sub>) apresentou um maior ( $P < 0,05$ ) rendimento de cozimento que o controle (sem US) sem redução de fosfato (Control<sub>PR0%</sub>).

**Figura 12:** Rendimento do cozimento das emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom. Letras diferentes apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). SEM: 0,49.



A estabilidade da emulsão foi avaliada neste estudo através da determinação da % de água (Figura 13a) e gordura (Figura 13b) liberadas. A redução igual ou superior a 50% do teor de fosfato aumentou significativamente a água e gordura liberada dos tratamentos controle (Sem US). Uma menor estabilidade de emulsão também foi observada por Yapar et al. (2006) ao avaliarem a redução de fosfato em produtos cárneos emulsionados. A aplicação de 9 minutos de US não foi suficiente para suprimir os defeitos causados pela diminuição do teor de fosfato na estabilidade da emulsão. No entanto, a aplicação de 18 minutos de US possibilitou que as amostras com até 75% de redução de fosfato (US18<sub>PR0%</sub>, US18<sub>PR25%</sub>, US18<sub>PR50%</sub> e US18<sub>PR75%</sub>) apresentassem uma estabilidade da emulsão similar ( $P > 0,05$ ) ou superior ( $P < 0,05$ ) ao controle (sem US) sem redução de fosfato (Control<sub>PR0%</sub>).

**Figura 13:** Estabilidade da emulsão cárnea com fosfato reduzido tratadas com ultrassom. Figura 13a percentagem de exsudado de água (SEM: 0,70); Figura 13b: percentagem de exsudado de gordura (SEM: 0,65). Letras diferentes apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ )



A melhoria da qualidade tecnológica das emulsões cárneas sonicadas por 18 minutos sugere que o US provocou uma modificação na estrutura das proteínas miofibrilares, fato que possibilitou uma maior interação entre a água e a gordura com seus grupos polares e apolares, respectivamente. Além disso, a sonicação provocada pelo US pode ter melhorado a difusão do sal e do fosfato na massa cárnea, contribuindo assim para uma maior solubilização das proteínas miofibrilares (INGUGLIA et al., 2017; KENTISH e FENG, 2014).

#### 4.2. ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA

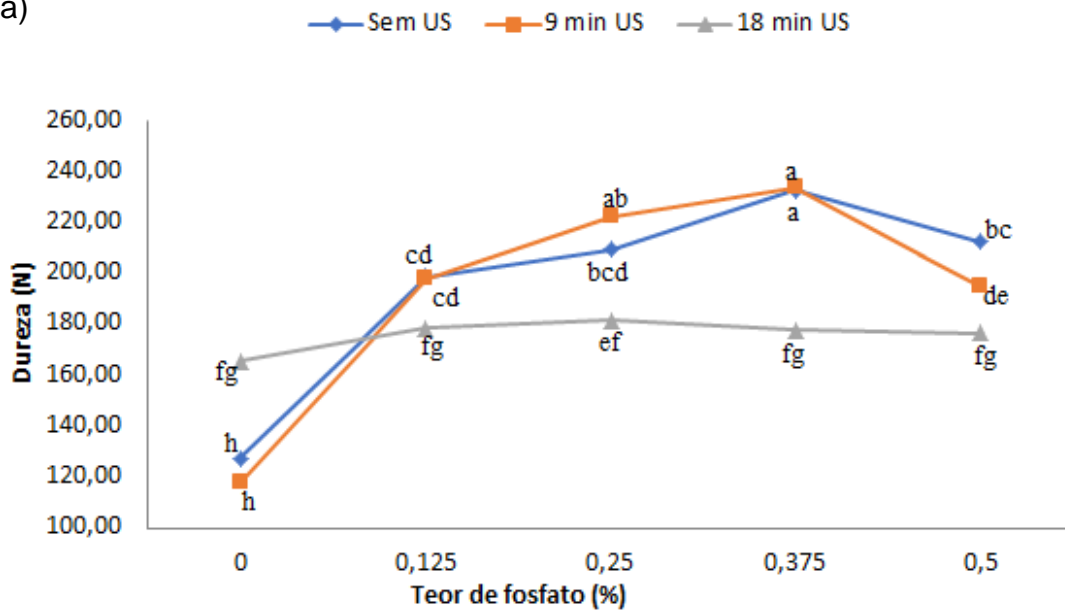
A textura é um importante atributo de qualidade dos produtos cárneos emulsionados. O efeito benéfico da adição de fosfato na textura é bem documentado (CHO, BAE e JEONG, 2017; O'FLYNN et al., 2014; SHEARD et al., 1999; SOMBOONPANYAKUL et al., 2007). Isto ocorre porque o fosfato é capaz de aumentar a quantidade de proteínas miofibrilares solubilizadas, as quais formarão um gel mais estável durante o cozimento, conferindo uma textura mais firme e coesa (WANG, XU e ZHOU, 2009). Neste estudo, a adição de fosfato influenciou significativamente os parâmetros de textura avaliados (Figura 14). Ao se comparar as amostras controle (sem US) pode-se verificar que a redução de 75 (Control<sub>PR75%</sub>) e 100% (Control<sub>PR100%</sub>) de fosfato ocasionou uma diminuição significativa nos valores de dureza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade. Os resultados também indicaram que uma redução de 50% do teor de fosfato comumente aplicado em produtos cárneos emulsionados pode ser realizada sem prejudicar a textura. Esses resultados concordam com Tamm et al. (2016) que sugeriram a adição de no mínimo 0,25% de fosfato para não ocorrer defeitos na textura de produtos cárneos emulsionados.

A aplicação de US afetou significativamente a textura das emulsões cárneas cozidas (Figura 14). Em geral, não se observou diferenças significativas na textura entre as amostras controle e aquelas tratadas com 9 minutos de US com o mesmo teor de fosfato. Apenas nas amostras tratadas com 9 minutos de US e sem redução de fosfato (US9<sub>PR0%</sub>) ocorreu uma diminuição ( $P < 0,05$ ) na dureza e na mastigabilidade em comparação com as amostras sem tratamento (Control<sub>PR0%</sub>). No entanto, a aplicação de 18 minutos de US significativamente reduziu a dureza das

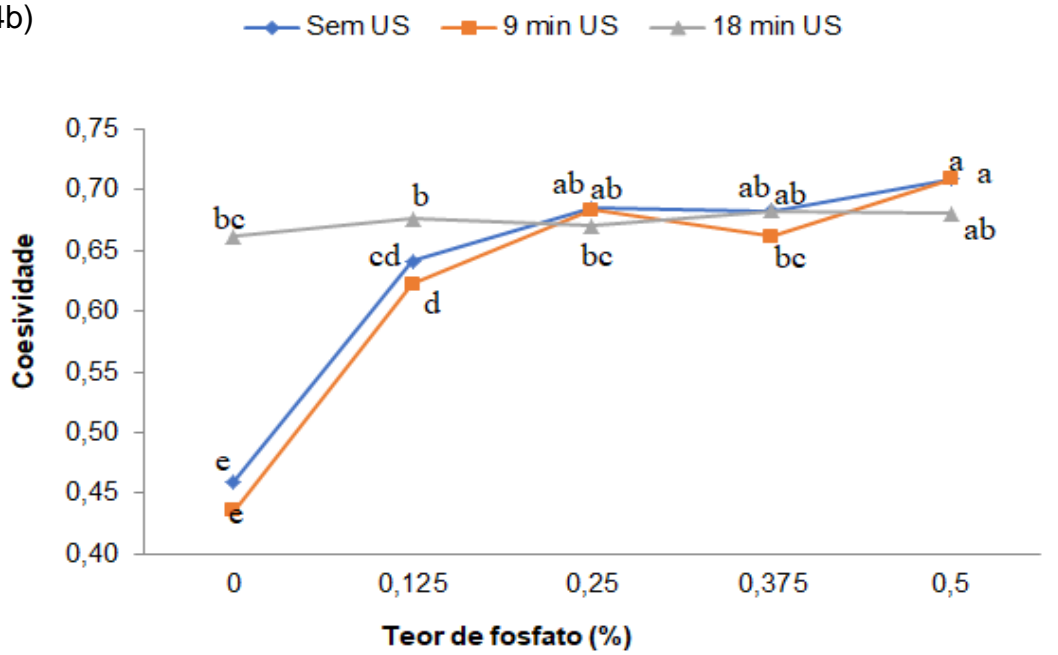
emulsões cárneas em comparação com controles correspondentes com 0, 25, 50 e 75% de redução de fosfato. Este resultado pode ser atribuído a maior retenção de água e gordura dos tratamentos tratado com 18 min de US em comparação as amostras não tratadas com o mesmo teor de fosfato (Figuras 12 e 13). A aplicação de 18 minutos de US também reduziu, em geral, a mastigabilidade. Isto é um resultado esperado visto que este atributo é um parâmetro secundário relacionado à dureza.

**Figura 14:** Análise do perfil de textura de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom. Fig. 14a: Dureza (SEM: 6,87); Fig. 14b: Coesividade (SEM: 0,01); Fig. 14c: Elasticidade (SEM: 0,01); Fig. 14d: Mastigabilidade (SEM:4,45). Letras diferentes apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P<0,05)

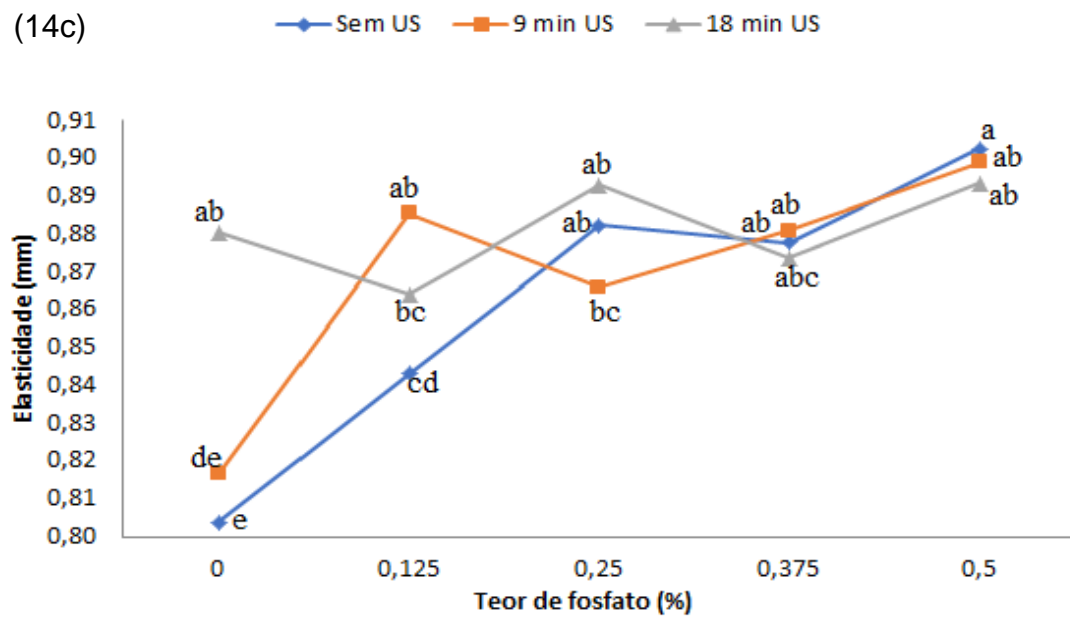
(14a)

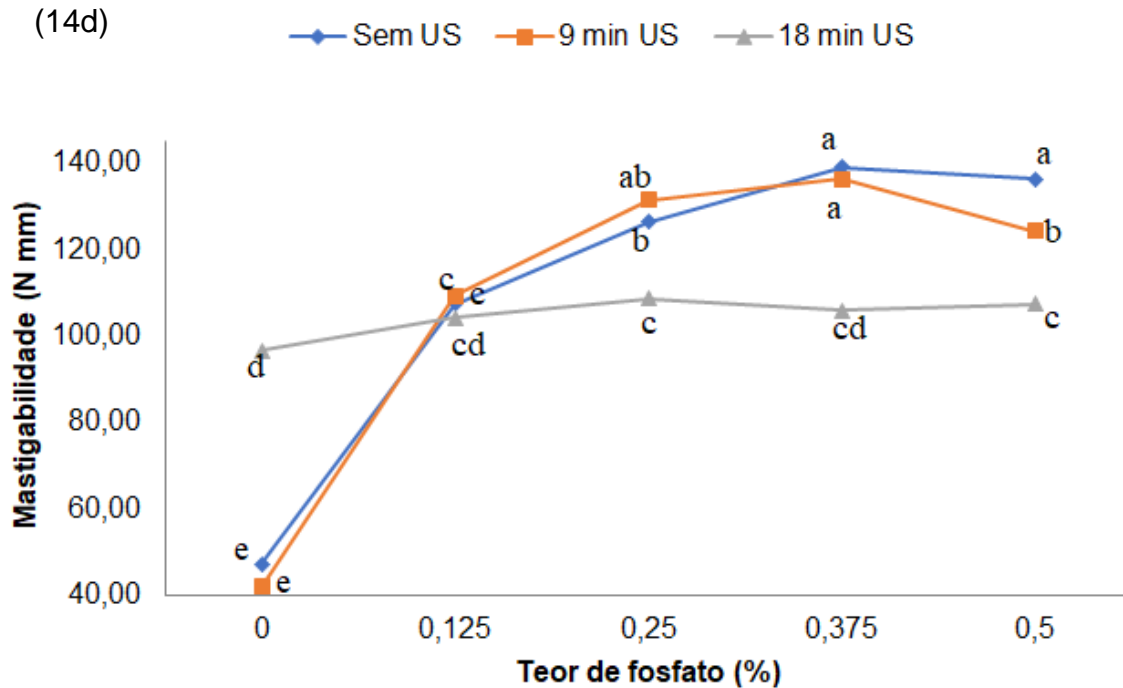


(14b)



(14c)





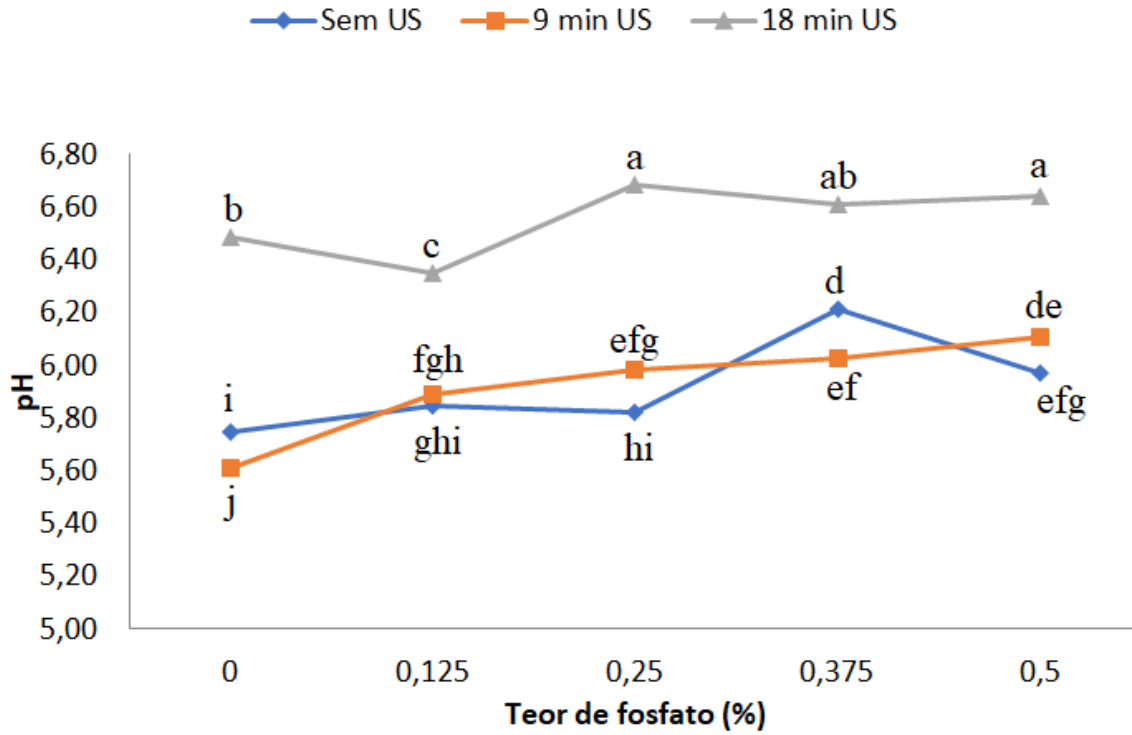
A diminuição da coesividade e da elasticidade é um grave problema que pode afetar a qualidade dos produtos cárneos emulsionados, pois estes parâmetros estão diretamente relacionados com a capacidade do produto ser fatiado. Resconi et al. (2015) reportaram que a utilização de substitutos de fosfatos aumentou a retenção de água e diminuiu a dureza resultando em produtos menos elásticos e com menor coesividade. Neste estudo, as amostras tratadas com 18 minutos de US e com 75 (US18<sub>PR75%</sub>) e 100% (US18<sub>PR100%</sub>) de redução de fosfato apresentaram uma maior coesividade que seus controles (Control<sub>PR75%</sub> e Control<sub>PR100%</sub>, respectivamente). Além disso, não diferiram neste atributo comparando aos seus controles com 0, 25 e 50% de redução de fosfato. Um comportamento similar foi observado na elasticidade. Li et al. (2015) reportaram que a aplicação de US também melhorou as propriedades de formação do gel em carne de peito de frango com baixo teor de sódio. De acordo com esses autores a cavitação gerada pelo US provoca uma mudança na conformação nativa e um eventual desdobramento das proteínas. Essas modificações podem melhorar a capacidade de formação do gel aumentando sua coesividade e elasticidade.

### 4.3. pH e Aw

A adição de fosfatos alcalinos provoca um aumento no pH da carne, o qual provoca uma repulsão eletrostática entre as proteínas da carne (GLORIEUX et al., 2017). Desta forma, a distância entre as cadeias proteicas aumenta, o que possibilita uma maior retenção de água (OFFER e TRINICK, 1983). Neste trabalho, conforme esperado, a adição de fosfato alcalino (tripolifosfato de sódio) ocasionou um aumento significativo nos valores de pH nas amostras controle (sem US) (Figura 15). A aplicação de 9 minutos de US não provocou grandes modificações nos valores de pH. No entanto, a aplicação de 18 minutos de US exerceu um grande impacto sobre o pH das emulsões cárneas (Figura 15). As amostras tratadas com 18 minutos de US apresentaram um aumento que variou entre 0,4 a 0,86 unidades de pH em comparação com seus controles ( $P < 0,05$ ). Esse aumento nos valores de pH está bem correlacionado com o maior rendimento de cozimento (Figure 12) e estabilidade da emulsão (Figure 13) encontrados nas amostras tratadas com 18 min de US e pode ser atribuído a produção pelo US de radicais livres, que reagem com cadeias laterais das proteínas reduzindo os seus grupos ácidos (AMIRI, SHARIFIAN e SOLTANIZADEH, 2018; LI et al., 2014).

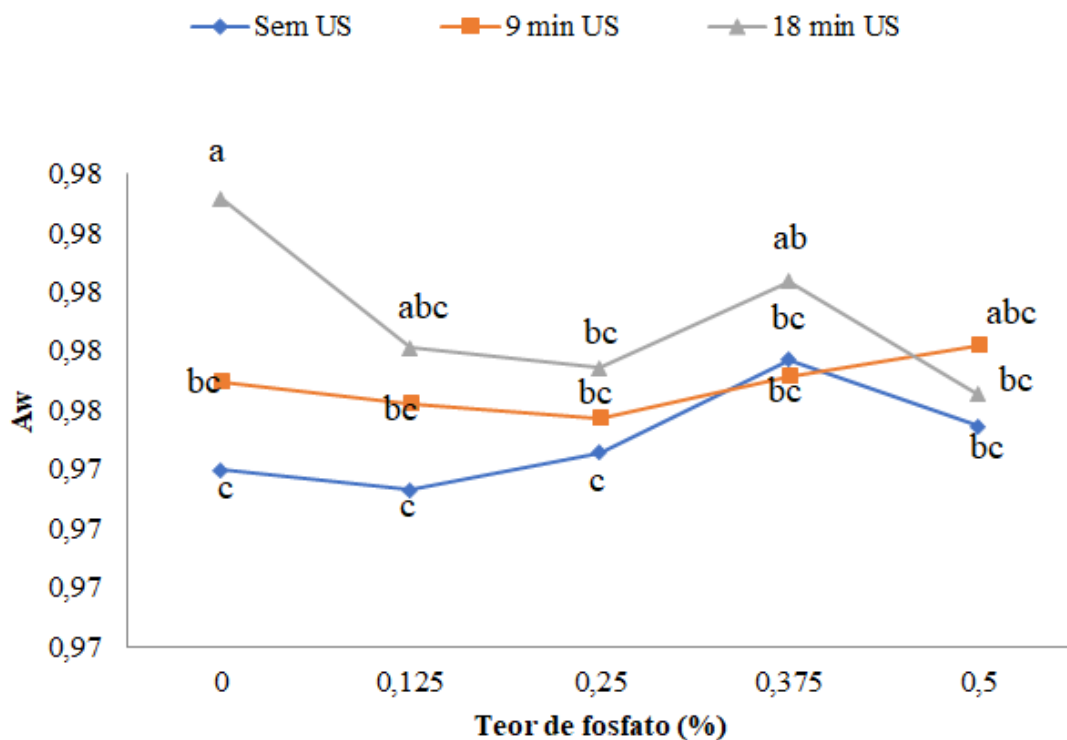


**Figura 15:** pH de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom (SEM: 0,06). Letras diferentes apresentam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )



A  $A_w$  das emulsões cárneas variou entre 0,97 a 0,98 (Figura 16). As amostras controle (sem US) apresentaram  $A_w$  semelhantes ( $P > 0,05$ ), indicando, portanto, que a redução de fosfato não interferiu neste parâmetro. Em geral, a aplicação de 9 e 18 minutos de US não provocou alterações nos valores de  $A_w$  das emulsões cárneas. Apenas as amostras sem adição de fosfato tratadas com 18 minutos de US (US18<sub>PR100%</sub>) apresentaram uma maior  $A_w$  que seu respectivo controle (Control<sub>PR100%</sub>). Esse resultado está bem correlacionado com as diferenças encontradas no rendimento do cozimento entre esses tratamentos (83,43% vs. 66,28% para US18<sub>PR100%</sub> e Control<sub>PR100%</sub>, respectivamente, Figura 12).

**Figura 16:** Atividade de água de emulsões cárneas com fosfato reduzido tratadas com ultrassom (SEM 0,002). Letras diferentes apresentam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )



#### 4.4. TBARS

Os resultados dos valores de TBARS das amostras tratadas com 18 minutos de US e dos seus respectivos controles (sem US) com 0, 25 e 50% de redução de fosfato são apresentados na Tabela 2. Ao se comparar as amostras sem aplicação de US (Control<sub>PR0%</sub>, Control<sub>PR25%</sub> e Control<sub>PR50%</sub>) pode-se observar que a redução de 50% de fosfato provocou um aumento ( $P < 0,001$ ) nos valores de TBARS após 7, 14 e 21 dias de armazenamento. Esse é um resultado esperado, visto que os fosfatos alcalinos tem a capacidade de sequestrar metais reduzindo a rancidez oxidativa (FEINER, 2006). Concordando com esses resultados, Lee, Hendricks e Cornforth (1998) reportaram que a adição de fosfatos alcalinos reduziu a oxidação lipídica de carne reestruturada.

Alguns pesquisadores reportaram que a aplicação de US em alimentos lipídicos pode provocar a formação de radicais livres e, conseqüentemente, aumentar a velocidade das reações de oxidação lipídica (KUIJPERS et al., 2002). No entanto, ao se comparar as amostras tratadas com US com seus respectivos controles, pode-se observar que as condições de US empregadas neste estudo não ocasionaram um aumento na oxidação lipídica das emulsões cárneas cozidas dos tratamentos com reduções de 50% de fosfato após 7 dias de armazenamento. Tendência semelhante também foi relatada por McDonnell, Lyng e Allen (2014) ao aplicarem US em carne suína.

**Tabela 2:** Conteúdo de malonaldeído [MDA] (mg/ Kg) de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato.

|               | <b>CONTROL<sub>PR0%</sub></b> | <b>CONTROL<sub>PR25%</sub></b> | <b>CONTROL<sub>PR50%</sub></b> | <b>US18<sub>PR0%</sub></b> | <b>US18<sub>PR25%</sub></b> | <b>US18<sub>PR50%</sub></b> | <b>SEM</b> | <b>Sig.</b> |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-------------|
| <b>DIA 1</b>  | 0,0555 <sup>b</sup>           | 0,0618 <sup>b</sup>            | 0,0634 <sup>b</sup>            | 0,0260 <sup>c</sup>        | 0,0571 <sup>b</sup>         | 0,0964 <sup>a</sup>         | 0,003      | *           |
| <b>DIA 7</b>  | 0,0603 <sup>d</sup>           | 0,0579 <sup>d</sup>            | 0,1163 <sup>a</sup>            | 0,0574 <sup>d</sup>        | 0,0694 <sup>c</sup>         | 0,0803 <sup>b</sup>         | 0,001      | *           |
| <b>DIA 14</b> | 0,0506 <sup>c</sup>           | 0,0621 <sup>b</sup>            | 0,1690 <sup>a</sup>            | 0,0545 <sup>c</sup>        | 0,0573 <sup>c</sup>         | 0,1351 <sup>a</sup>         | 0,009      | *           |
| <b>DIA 21</b> | 0,0994 <sup>c</sup>           | 0,1161 <sup>bc</sup>           | 0,1973 <sup>a</sup>            | 0,0905 <sup>c</sup>        | 0,0943 <sup>c</sup>         | 0,1369 <sup>b</sup>         | 0,01       | *           |

Diferentes letras entre tratamentos, no mesmo período de armazenamento, diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de Tukey.

SEM: Erro padrão da média

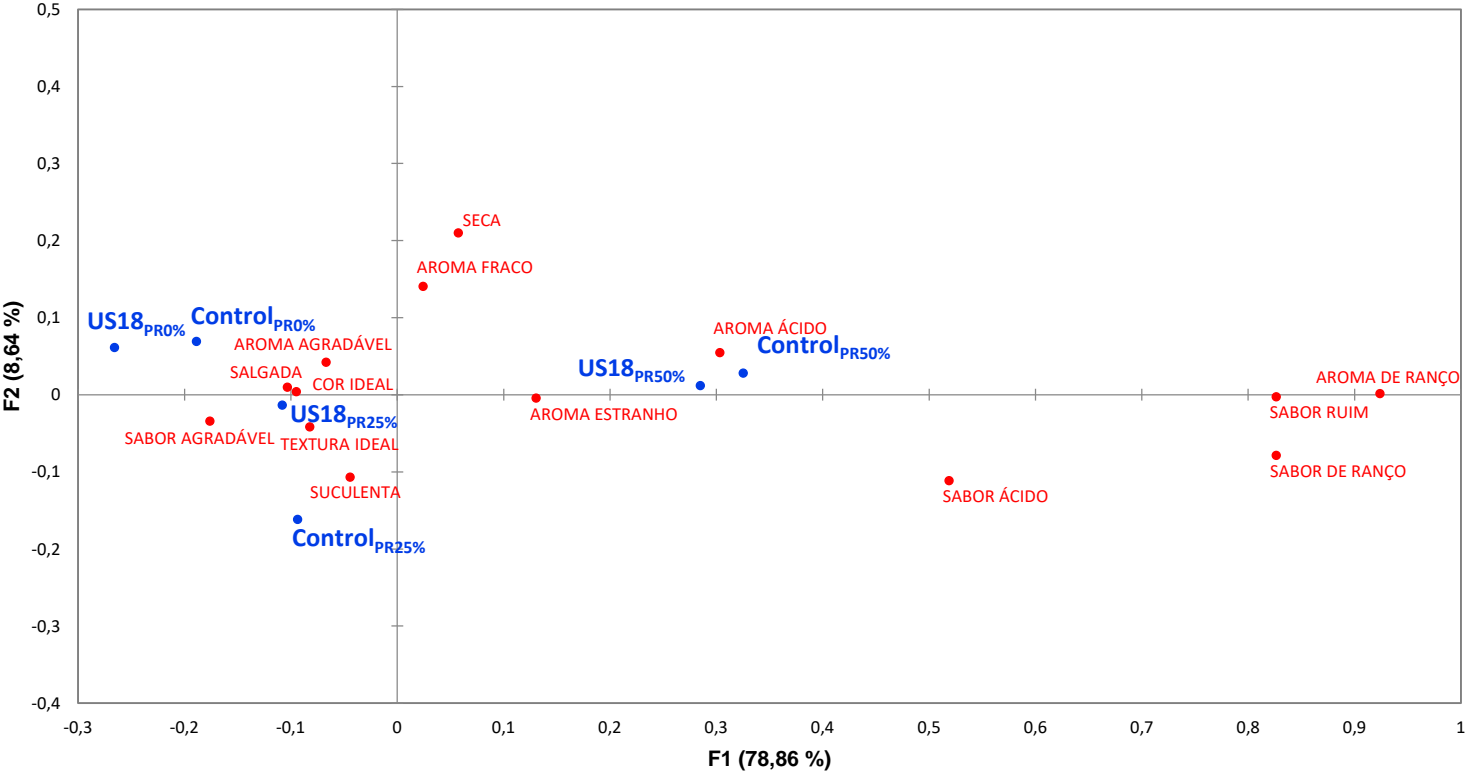
Sig.:significância \*(0,05).

#### 4.5. ANÁLISE SENSORIAL

A análise de correspondência (AC) utilizada para avaliar os descritores gerados pelo questionário CATA é apresentada na Figura 17. A AC explicou 87,5% da variação total dos dados, sendo 78,86% na primeira e 8,64% na segunda dimensão. Para este mapa sensorial, os tratamentos foram separados em três grupos distintos, sendo que os consumidores não detectaram diferença entre os tratamentos com aplicação de US e seus respectivos controles. Os tratamentos Control<sub>PR50%</sub> e US18<sub>PR50%</sub> foram agrupados no quadrante superior direito; os tratamentos Control<sub>PR0%</sub> e US18<sub>PR0%</sub> foram agrupados no quadrante superior esquerdo e os tratamentos Control<sub>PR25%</sub> e US18<sub>PR25%</sub> no quadrante inferior esquerdo.

Os tratamentos sem redução de fosfato (Control<sub>PR0%</sub> e US18<sub>PR0%</sub>) foram descritos como salgados. Este descritor pode estar relacionado com a maior quantidade de sódio destes tratamentos visto que o fosfato utilizado (tripolifosfato de sódio) tinha cerca de 30% de sódio em sua constituição. Control<sub>PR0%</sub> e US18<sub>PR0%</sub> também foram caracterizados pelos descritores aroma agradável e cor ideal, o que está bem correlacionado com a baixa oxidação lipídica destes tratamentos (Tabela 2). Já os tratamentos com redução de 25% de fosfato (Control<sub>PR25%</sub> e US18<sub>PR25%</sub>) foram caracterizados pelos descritores sabor agradável, textura ideal e suculento. Por outro lado, uma profunda modificação no perfil sensorial das mortadelas foi observada nos tratamentos com redução de 50% de fosfato (Control<sub>PR50%</sub> e US18<sub>PR50%</sub>). Esses tratamentos foram caracterizados principalmente por atributos negativos, como por exemplo, seco, aroma fraco e aroma ácido.

**Figura 17:** Representação das amostras e dos atributos sensoriais da análise de correspondência realizada nos dados do teste CATA (*check-all-that-apply*)



Os resultados do estudo do consumidor são apresentados na Tabela 3. Ao se comparar os tratamentos controles pode-se observar que a redução de 25% de fosfato não afetou a aceitação sensorial das mortadelas. No entanto, o controle com 50% de redução de fosfato (Control<sub>PR50%</sub>) apresentou menores ( $P < 0,05$ ) notas que o controle sem redução de fosfato (Control<sub>PR0%</sub>) nos atributos de aroma, textura e aceitação global. Ao se comparar as amostras tratadas com US contendo 0 e 25% de redução de fosfato com seus respectivos controles pode-se observar que a aplicação de 18 minutos de US não afetou a aceitação sensorial. No entanto, US18<sub>PR50%</sub> apresentou notas maiores ( $P < 0,05$ ) que seu respectivo controle (Control<sub>PR50%</sub>) no atributo textura. Além disso, US18<sub>PR50%</sub> não diferiu significativamente dos controles com 0 (Control<sub>PR0%</sub>) e 25% (Control<sub>PR25%</sub>) de redução de fosfato nos atributos de cor, aroma, textura e aceitação global.

Em suma, os resultados do teste CATA e do estudo do consumidor sugerem, portanto, que a redução de 25% do teor comumente utilizado de fosfato pela indústria pode ser realizada sem prejuízo a qualidade sensorial deste tipo de produto cárneo. Por outro lado, a redução de 50% de fosfato deve ser realizada com cautela, pois pode prejudicar importantes atributos sensoriais. Os resultados também sugerem que a aplicação de 18 minutos de US pode reduzir a maioria desses defeitos sensoriais causados pela redução de 50% de fosfato.

**Tabela 3:** Resultado do estudo do consumidor das mortadelas com reduzido teor de fosfato e com aplicação de ultrassom.

|                         | <b>CONTROL<sub>PR0%</sub></b> | <b>CONTROL<sub>PR25%</sub></b> | <b>CONTROL<sub>PR50%</sub></b> | <b>US18<sub>PR0%</sub></b> | <b>US18<sub>PR25%</sub></b> | <b>US18<sub>PR50%</sub></b> | <b>SEM</b> | <b>Sig.</b> |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-------------|
| <b>Cor</b>              | 7,1863 <sup>a</sup>           | 6,9216 <sup>a</sup>            | 6,7843 <sup>a</sup>            | 7,0588 <sup>a</sup>        | 6,9902 <sup>a</sup>         | 6,9510 <sup>a</sup>         | 0,22       | *           |
| <b>Aroma</b>            | 6,6275 <sup>a</sup>           | 6,5490 <sup>a</sup>            | 6,0196 <sup>b</sup>            | 6,5490 <sup>a</sup>        | 6,5294 <sup>a</sup>         | 6,2375 <sup>ab</sup>        | 0,25       | *           |
| <b>Sabor</b>            | 6,8235 <sup>ab</sup>          | 6,9608 <sup>a</sup>            | 6,0882 <sup>b</sup>            | 7,1078 <sup>a</sup>        | 6,7843 <sup>ab</sup>        | 6,1569 <sup>b</sup>         | 0,27       | *           |
| <b>Textura</b>          | 6,3627 <sup>a</sup>           | 6,1863 <sup>a</sup>            | 5,8333 <sup>b</sup>            | 6,3824 <sup>a</sup>        | 6,1373 <sup>a</sup>         | 6,3431 <sup>a</sup>         | 0,27       | *           |
| <b>Aceitação global</b> | 6,7647 <sup>a</sup>           | 6,7451 <sup>a</sup>            | 6,0294 <sup>b</sup>            | 6,7745 <sup>a</sup>        | 6,6078 <sup>ab</sup>        | 6,3235 <sup>ab</sup>        | 0,24       | *           |

Diferentes letras entre tratamentos, no mesmo período de armazenamento, diferem significativamente ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

SEM: Erro padrão da média

Sig.: significância \* ( $P < 0,05$ ).



## **5. CONCLUSÃO**

Pela primeira vez, o efeito da aplicação de ultrassom na qualidade tecnológica, oxidativa e sensorial de emulsões cárneas com reduzido teor de fosfato foi avaliado. Os resultados mostraram que a aplicação de 18 minutos de US na massa cárnea foi eficiente para compensar os defeitos no rendimento do cozimento e na estabilidade da emulsão causada pela redução de fosfato. Além disso, a aplicação de 18 minutos de US tornou os produtos mais coesos e com pouca alteração na oxidação lipídica. Essa condição também foi útil para reduzir a maioria dos defeitos sensoriais causados pela redução de 50% de fosfato. Desta forma, pode-se concluir que o US pode ser considerado uma tecnologia promissora para produzir produtos cárneos mais saudáveis, sensorialmente aceitáveis e economicamente viáveis.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AADIL, R. M.; ZENG, X. A.; HAN, Z.; SUN, D. W. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, v. 141, p. 3201 – 3206, 2013.
- ADEKUNDE, A. O.; TIWATI, B. K.; CULLEN, P. J.; SCANNEL, A. G. M.; O'DONNELL, C. P. O. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, v. 122, p. 500 – 507, 2010.
- ADENEY, K. L.; SISCOVICK, D. S.; IX, J. H.; SELIGER, S. L.; SHLIPAK, S. G.; JENNY, N. S.; KESTENBAUM, B. R. Association of serum phosphate with vascular and valvular calcification in moderate CKD. *Journal of the American Society of Nephrology*, v. 20, p. 381 – 387, 2009.
- ALLAIS, I. Emulsification, In:\_\_\_\_\_Handbook of Meat Processing, Edited by Fidel Toldrá, Backwell Publishing, 2010, Chapted 07, p. 143 – 168.
- ALLEN, K.; CORNFORTH, D. Comparison of spice-derived antioxidants and metal chelators on fresh beef color stability. *Meat Science*, v. 85, p. 613 – 619, 2010.
- ALLEN, V. M.; WHYTE, R. T.; BURTON, C. H.; HARRIS, J. A.; LOVELL, R. D. L.; ATTERBURY, R. J.; TINKER, D. B. Effect of ultrasonic treatment during cleaning on the microbiological condition of poltry transport crates. *British Poltry Science*, v. 49, n. 04, p. 423 – 428, 2008.
- ALVES, L. L.; RAMPELOTTO, C.; SILVA, M. S.; DURANTE, C. E.; MELLO, R; O.; MENEZES, C. R.; CAMPAGNOL, P. C. B.; CICHOSKI, A. J. The effect of cold storage on physicochemical and microbiological properties of beef Semitendinosus muscle subjected to ultrasonic treatment in different systems (bath or probe). *International Food Research Journal*, v. 25, n. 2, p. 504 – 514, 2018.
- AMIRI, A.; SHARIFIAN, P.; SOLTANIZADEH, N. Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 111, p. 139 – 147, 2018.
- ANG, C. Y. W.; YOUNG, L. L. Factors relating to oxidative stability of cooked broiler breast patties treated with sodium tripolyphosphate. *Journal of food Science*, v. 54, n. 5, 1989.
- ARES, G.; DAUBER, C.; FERNÁNDEZ, E.; GIMÉNEZ, A.; VARELA, P. Penalty analysis based on CATA questions to identify drivers of liking and directions for product reformulation. *Food Quality and Preference*, v. 32, p. 65 – 76, 2014.

ARZENI, A.; PÉREZ, O.E.; PILOSOFF, A.M.R. Functionality of egg White proteins as affected by high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, v. 29, n. 2, p. 308 – 316, 2012.

ARZENI, C.; MARTÍNEZ, K.; ZEMA, P.; ARIAS, A.; PÉREZ, O.E.; PILOSOFF, A.M.R. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, v.108, n. 3, p. 463 – 472, 2012.

BARBUT, S.; SOMBOONPANYAKULT, P. Effect of crude malva nut gum and phosphate on yield, texture, color, and microstructure of emulsified chicken meat batter. *Poultry Science*, v. 86, p. 1440 – 1444, 2007.

BAUBLITS, R. T.; POHLMAN, F. W.; BROWN JR, A. H.; JOHNSON, Z. B. Effects of sodium chloride, phosphate type and concentration, and pump rate on beef *biceps femoris* quality and sensory characteristics. *Meat Science*, v. 70, p. 205 – 214, 2005.

BEVILACQUA, A.; SINIGAGLIA, M.; CORBO, M. R. Ultrasound and antimicrobial compounds: a suitable way to control *Fusarium oxysporum* in Juices. *Food Bioprocess Technol*, v. 6, n. 5, p. 1153 – 1163, 2013.

BRASIL. Portaria n. 1004, de 11 de dezembro de 1998. Diário Oficial da União – Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária, Brasília, DF, 14 dez, 1998. Disponível em: < <http://charcutaria.org/wp-content/plugins/pdf-viewer/stable/web/viewer.html?file=http://charcutaria.org/wp-content/uploads/2016/08/anvisa-portaria-1004-11-12-1998-aditivos-carneos.pdf> > . Acesso em: 21 mai. 2018.

BRUNA, J. M.; ORDONEZ, J. A.; FERNÁNDEZ, M.; HERRANZ, B.; HOZ, L. 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, n.1, p. 87–96, 2001.

BRYHNI, E. A.; BYRNE, D. V.; RØDBOTTEN, M.; MØLLER, S.; CLAUDI-MAGNUSSEN, C.; KARLSSON, A.; AGERHEM, H.; JOHANSSON, M.; MARTENS, M. Consumer and sensory investigations in relation to physical/chemical aspects of cooked pork in Scandinavia. *Meat Science*, v. 65, p. 737 – 748, 2003.

BURCKHARDT, P.; MICHEL, C. The peak bone mass concept. *Clinical rheumatology*, v. 8, n. 2, p. 16 – 21, 1989.

CALLIS, C. F.; VAN WAZER, J. R.; ARVAN, P. G. The inorganic phosphates as polyelectrolytes, In: \_\_\_\_\_Inorganic Chemicals Division, Monsanto Chemical Company, Dayton 07, Ohio, 1954, p. 777 – 796.

CÁRCEL, J. A.; BENEDITO, J.; BON, J.; MULET, A. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, v. 76, p. 611 – 619, 2007.

ÇARKCIOĞLU, E.; ROSENTHAL, A. J.; CANDOĞAN, K. Rheological and textural properties of sodium reduced salt soluble myofibrillar protein gels

containing sodium tri-polyphosphate. *Journal of Texture Studies*, v. 47, p. 181 – 187, 2015.

CHANG, H. J.; WANG, Q.; TANG, C. H.; ZHOU, G. H. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle. *Journal of Food Quality*, v. 38, p. 256 – 267, 2015.

CHEMAT, F.; HUMA, Z.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Socochimistry*, v. 18, p. 813 – 835, 2011.

CHO, C.; BAE, S. M.; JEONG, J. Y. Egg shell and oyster shell powder as alternatives for synthetic phosphate: Effects on the quality of cooked ground pork products. *Food Science of Animal Resources*, v. 37, n.4, p. 571 – 578, 2017..

CHOE, J.; LEE, J.; JO, K.; JO, C.; SONG, M.; JUNG, S. Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages. *Meat Science*, v. 143, p. 114 – 118, 2018.

CHOI, J. S.; LEE, H. J.; JIN, S. K.; LEE, H. L.; CHOI, Y. Effect of oyster shell calcium powder on the quality of restructured pork ham. *Korean Journal of Food Science*, v. 34, n. 3, p. 372 – 377, 2014.

CICHOSKI, A. J.; RAMPELOTTO, C.; SILVA, M. S.; MOURA, H. C.; TERRA, N. N.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R.; FLORES, E. M. M.; BARIN, J. S. Ultrasound-assisted post-packaging pasteurization of sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 30, p. 132 – 133, 2015.

CICHOSKI, A. J.; SILVA, M. S.; LEÃES, Y. S. V.; BRASIL, C. C. B.; MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; WAGNER, R.; CAMPAGNOL, P. C. B. Ultrasound: A promising technology to improve the technological quality of meat emulsions. *Meat Science*, v.149, p. 150 – 155, 2019.

COATES, P. M.; BLACKMAN, M. R.; CRAGG, G. M.; LEVINE, M.; MOSS, J. *Encyclopedia of Dietary Supplements*. New York: Marcel Dekker, 2005.

COMENERO, 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, p. 781-788, 2005.

DE CASTRO, M. D. L.; CAPOTE, F. P. Analytical applications of ultrasound. Elsevier, 2007.

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

DIAS, D. R. C.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; HONORATO, F. A.; GUERRA, N. B.; AZOUBEL, P. M. Effect of sonication on sourop juice quality. *LWT Food Science and Technology*, v. 62, p. 883 – 889, 2015.

DOLATOWSKI, Z.; STADINIK, J.; STASIAK, D. Applications of ultrasound in food technology. *Food Science and Human Nutrition*, v. 6, n. 3, p. 89 – 99, 2007.

DUSEK, M.; KVASNICKA, F.; LUKÁSKOVÁ, L.; KRÁTKÁ, J. Isotachophoretic determination of added phosphate in meat products. *Meat Science*, v. 65, p. 765 – 769, 2003.

FEINER, G. Meat products handbook, practical science and technology, Woodhear publishing limited, Cambridge, England, 2006.

FENG, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; WEISS, J. Ultrasound Technologies for food and bioprocessing. Springer, 2011.

FENG, H.; YANG, W. Ultrasonic processing, In:\_\_\_\_Nonthermal Processing Technologies for Food, Wiley-Blackwell, 2011, Chapter 10, p. 135 – 154.

FENG, J.; XIONG, Y. L.; MIKEL, W. B. Textural properties of pork frankfurters containing thermally/enzymatically modified soy proteins. *Food Chemistry and Toxicology*, v. 68, n. 4, p. 1220 – 1224, 2003.

FLORES, D.R.M.; BRASIL, C.C.B.; CAMPAGNOL, P.C.B.; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; FLORES, E.M.M.; CICHOSKI, A.J. Application of ultrasound in chicken breast during chilling by immersion promotes a fast and uniform cooling, *Food Research International*, 109, 59-64, 2018.

FOLEY, R. N.; COLLINS, A. J.; HERZOG, C. A.; ISHANI, A.; KALRA, P. A. Serum phosphorus levels associate with coronary atherosclerosis in Young adults. *Clinical epidemiology*, v. 20, p. 397 – 404, 2009.

FRENTZ, J. C. L'Enciclopedia de la charcuterie. Paris: Sousanna, Jambon Cuit, 1982.

GLORIEUX, S.; GOEMAERE, O.; STEEN, L.; FRAEYE, I. Phosphate reduction in emulsified meat products: Impact of phosphate type and dosage on quality characteristics. *Food Technol. Biotechnol.* v. 55, n. 3, p. 390-397, 2017.

GORDON, A.; BARBUT, S. Mechanisms of meat batter stabilization: A review. *Food Science and Nutrition*, v. 32, n. 4, p. 299 – 332, 1992.

GUERRERO, S.; LÓPEZ-MALO, A.; ALZAMORA, S. M. Effect of ultrasound on the survival of *Saccharomyces cerevisiae*: influence of temperature, pH and amplitude. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 2, p. 31 – 39, 2001.

HAMM, R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements, In:\_\_\_\_*Muscle as Food*, Urbana, Illinois, 1986, cap 4, p.135 – 1999.

HAUGHTON, P. N.; LYNG, J. G.; MORGAN, D. J.; CRONIN, D. A.; NOCI, F.; FANNING, S.; WHYTE, P. Na evaluation of the potential of high-intensity

ultrasound for improving the microbial safety of poultry. *Food Bioprocess Technology*, v. 5, p. 992 – 998, 2012.

HEGARTY, G. R.; BRATZLER, L. J.; PEARSON, A. M. Studies on the emulsifying properties of some intracellular beef muscle proteins. *Journal of Food Science*, v. 26, p. 663 – 668, 1963.

HORŽIĆ, D.; JAMBRAK, A. R.; BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; KOMES, D.; LELAS, V. Comparison of conventional and ultrasound assisted extraction techniques of yellow tea and bioactive composition of obtained extracts. *Food and bioprocess technology*, v. 5. n. 7, p. 2858 – 2870, 2012.

HU, H.; FAN, X.; ZHOU, Z.; XU, X.; FAN, G.; WANG, L.; HUANG, X.; PAN, S.; ZHU, L. Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with high intensity ultrasonic pre-treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 20, p.187 – 195, 2013.

INGUGLIA, E.S.; ZHANG, Z.; TIWARI, B.K.; KERRY, J.P.; BURGESS, C.M. Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 59, p. 70 – 78, 2017.

JAMBRAK, A. R.; MANSON, T. J.; LELAS, V.; HERCEG, Z.; HERCEG, I. L. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, v. 86, n. 2, p. 281 – 287, 2008.

JAMBRAK, A. R.; MANSON, T. J.; LELAS, V.; PANIWNYK, L.; HERCEG, Z. Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, v. 121, p. 15 – 23, 2014.

JARVIS, N. O'BRYAN, C. A.; RICKE S. C.; CRANDALL, P. G. The functionality of plum ingredients in meat products: A review. *Meat Science*, v. 102, p. 41 – 48, 2015.

JARVIS, N.; CLEMENT, A. R.; O'BRYAN, C. A.; BABU, D.; GRANDALL, P. G.; OWENS, C. M.; MEULLENET, J. F.; RICKE, S. C. Dried plum products as a substitute for phosphate in chicken marinade. *Journal of Food Science*, v. 77, n. 6, p. 253 – 257, 2012.

JAYASOORIYA, S. D.; TORLEY, P. J.; D'ARCY, B.R.; BHANDARI, B.R. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine *Semitendinosus* and *Longissimus* muscles. *Meat Science*, v. 75, p. 628 – 639, 2007.

JOACHIM, H. I.; ANDERSON, C. A. M.; SMITS, G.; PERSKY, M. S.; BLOCK, G. A. Effect of dietary phosphate intake on the circadian rhythm of serum phosphate concentrations in chronic kidney disease: a crossover study. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 100, p. 1392 – 1397, 2014.

JONES, K. W.; MANDIGO, R. W. Effects of chopping temperature on the microstructure of meat emulsions. *Journal of Food Science*, v. 47, p. 1930 – 1935, 1982.

- KENTISH, S.; FENG, H. Applications of power ultrasound in food processing. *Food Science and Technology*, v. 5, p. 263 – 284, 2014.
- KIM, J. S.; SCHNEE, R.; PARK, J. W. Chemical and functional properties of various blends of phosphates. *Journal of Food Quality*, v. 32, p. 504 – 521, 2009.
- KODA, S.; MIYAMOTO, M.; TOMA, M.; MATSUOKA, T.; MAEBAYASHI, M. Inactivation of *Escherichia coli* and *Streptococcus mutans* by ultrasound at 500 kHz. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 16, p. 655 – 659, 2003.
- KUIJPERS M. W. A.; KEMMERE M. F.; KEURENTJES J. T. F. Calorimetric study of the energy efficiency for ultrasound induced radical formation. *Ultrasonics*, 40, 675- 678, 2002.
- KULAEV, I. S.; VAGABOV, V. M.; KULAKOVSKAYA, T. V. The biochemistry of inorganic polyphosphates. Second edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- KUTTRUFF, H. Ultrasonics fundamentals and applications. Elsevier Science Publishers LTD, 1991.
- LEE, B. J.; HENDRICKS, D. G.; CORNFORTH, D.P. Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripolyphosphate on physico-chemical characteristics of restructured beef. *Meat Science*, v. 50. n. 3, p. 273 – 283, 1998.
- LI, K.; KANG, Z. L.; ZHAO, Y. Y.; XU, X. L.; ZHOU, G. H. Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE-like chicken breast meat. *Food Bioprocess Technologies*, v. 7, p. 3466-3477, 2014.
- LI, K.; KANG, Z. L.; ZOU, Y. F.; XU, X. L.; ZHOU, F. H. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter. *Journal Food Science Technologies*, v. 52, n. 5, p. 2622-2633, 2015.
- LI.CHAN, E. C. Y.; LACROIX, I. M. E. Properties of proteins in food systems: An introduction, In:\_\_\_\_\_Proteins in Food Processing, Elsevier, 2018, p.1 – 25.
- LINDEN, G.; LORIENT, D. New ingredients in food processing, biochemistry and agriculture. Woodhead publishing limited, Cambridge England, 1999.
- LIU, X.; LONG, Z; HE, J.; LI, B.; LIU, X.; ZHAO, J.; LU, J.; NI, X. Experimental study of temperature effect on the growth and collapse of cavitation bubbles near a rigid boundary. *Optoelectronics Letters*, v. 9, n. 4, p. 317 – 320, 2013.
- LONG, N. H. B. S.; BUŇKA, F. Use of phosphates in meat products. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 86, p. 19874 – 19882, 2011.
- LUCHERK, L. W.; O'QUINN, T. G.; LEGAKO, J. F.; RATHMANN, R. J.; BROOKS, J. C.; MILLER, M. F. Assessment of objective measures of beef steak juiciness and their relationships to sensory panel juiciness ratings. *Journal of Animal Science*, v. 95, n. 6, p. 2421 – 2437, 2017.

MALLUCHE, H. H.; MAWAD, H. Management of hyperphosphataemia of chronic kidney disease: lessons from the past and future directions. *Nephrology Dialysis Transplantation*, v. 17, n. 7, p. 1170 – 1175, 2002.

MANSON, T. J.; LORIMER, J. P. Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing. Copyright, 2002.

MASUYAMA, R.; NAKAYA, Y.; KATSUMATA, S.; KAJITA, Y.; UEHARA, M.; TANAKA, S.; SAKAI, A.; NAKAMURA, T.; SUZUKI, K. Dietary calcium and phosphorus ratio regulates bone mineralization and turnover in vitamin D receptor knockout mice by affecting intestinal calcium and phosphorus absorption. *Journal of bone and mineral research*, v. 18, p. 1217 – 1226, 2003.

MATLOCK, R. G.; TERREL, R. N.; SAVELL, J. W.; RHEE, K. S.; DUTSON, T. R. Factors affecting properties of precooked-frozen pork sausage patties made with various NaCl/Phosphate combinations. *Journal of Food Science*, v. 49, p. 1372 – 1375, 1984.

MCDONNELL, C. K.; LYNG, J. G.; ALLEN, P. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Science*, v. 98, p. 142-149, 2014.

MCGARTLAND, C.; ROBSON, P. J.; MURRAY, L.; CRAN, G.; WATKINS, D.; ROONEY, M.; BOREHAM, C. Carbonated soft drink consumption and bone mineral density in adolescence: the northern Ireland young hearts project. *Journal of Bone and Mineral Research*, v. 18, p. 9, p. 1563 – 1569, 2003.

MEILGAARD M. C.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. Sensory evaluation techniques, 2<sup>nd</sup> ed, Boca Raton, FL: CRC Press, 1991.

MOLINS, R. A. Phosphates in food. CRC Press, 1991.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 6<sup>a</sup> ed., Artmed, 2014.

O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B. K.; BOURKE, P.; CULLEN, P. J. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Food Science e Technology*, v. 21, p. 358 – 367, 2010.

O'FLYNN, C. C.; CRUZ-ROMERO, C.; TROY D.; MULLEN, A. M.; KERRY, J. P. The application of high-pressure treatment in the reduction of salt levels in reduced-phosphate breakfast sausages. *Meat Science*, v. 96, p. 1266 – 1274, 2014.

O'FLYNN, C. C.; CRUZ-ROMERO, M. C.; TROY, D. J.; MULLEN, A. M.; MERRY, J. P. The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages. *Meat Science*, v. 96, p. 633-639, 2014.

OFFER, G.; TRINICH, J. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, v. 8, p. 245 – 281, 1983.

OLIVO, R. O mundo do frango, cadeia produtiva da carne de frango. Criciúma, SC: Copyright, 2006.



ORDÓÑEZ, J. A. Produtos cárneos, In:\_\_\_\_\_ Tecnologia de alimentos. Porto Alegre: Artmed, 2005, Cap. 10, p. 187 – 213.

PALMA, S.; ZHOU, B.; FENG, H. Fresh produce treated by power ultrasound, In:\_\_\_\_\_, Ultrasound advances in food processing and preservation. Elsevier, London, 2017, cap. 08, p. 201 – 211.

PARKS, L. L.; CARPENTER, J. A. Functionality of six nonmeat proteins in meat emulsion systems. *Journal of Food Science*, v. 52, n. 2, p. 271 – 274, 1987.

PIYASENA, P; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, v. 87,n. 3, p. 207 – 216, 2003.

POHLMAN, F. W.; STIVARIUS, M. R.; MCELYEA, K. S.; JOHNSON, Z. B.; JOHNSON, M. G. The effects of ozone, chlorine dioxide, cetylpyridinium chloride and trisodium phosphate as multiple antimicrobial interventions on microbiological, instrumental color, and sensory color and odor characteristics of ground beef. *Meat Science*, v. 61, n. 3, p. 307 – 313, 2002.

POVEY, J. W.; MASON, T. J. Ultrasound in Food Processing. Oxford: Springer, 1998.

PUOLLANE, E.; HALONEN, M. Theoretical aspects of water-holding in meat. *Meat Science*, v. 86, p. 151 – 165, 2010.

RAHABI-LAYACHI, H.; ISABELLE, S.; KAMEL, S. L'excès de phosphate peut-il s'avérer aussi dangereux pour le système cardiovasculaire que l'excès de cholestérol? *Revue Francophone des Laboratoires*, v. 476, p. 27 – 34, 2015.

RASTOGI, N. K. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Food Science and Nutrition*, v. 51, n. 8, p. 705 – 722, 2011.

RESCONI, V. C.; KEENAN, D. F.; GARCÍA, E.; ALLEN, P.; KERRY, J. P.; HAMILL, R. M. The effects of potato and rice starch as substitutes for phosphate in and degree of comminution on the technological, instrumental and sensory characteristics of restructured ham. *Meat Science*, v. 121, p. 127 – 134, 2016.

RESCONI, V. C.; KEENAN, D. F.; GOUGH, S.; DORAN, L.; ALLEN, P.; KERRY, J. P.; HAMILL, R. M. Response surface methodology analysis of rice starch and fructo-oligosaccharides as substitutes for phosphate and dextrose in whole muscle cooked hams. *LWT – Food Science and Technology*, v. 64, p. 946 – 958, 2015.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. Física 2. Rio de Janeiro. LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 1996.

RIBEIRO, S.; RAMOS, A.; BRANDÃO, A.; REBELO, JR.; GUERRA, A.; RESINA, C.; VILA-LOBOS, A.; CARVALHO, F.; REMÉDIO, F.; RIBEIRO, F. Cardiac valve calcification in haemodialysis patients: role of calcium-phosphate

metabolism. *Nephrology Dialysis Transplantation*, v. 13, n. 8, p. 2037 – 2040, 1998.

RITTER, C. S.; SLATOPOLSKY, E. Phosphate toxicity in CKD: The killer among Us. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, v. 11, p. 1088 – 1100, 2016.

RITZ, E.; HAHN, K.; KETTELER, M.; KUHLMANN, M. K.; MANN, J. Phosphate additives in food – a health risk. *Deutsches Ärzteblatt International*, v. 109, n. 4, p. 49 – 55, 2012.

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

RUUSUNEN, M.; VAINIONPÄÄ, J.; PUOLANNE, E.; LYLÄ, M.; LÄHTEENMÄKI, L.; NIEMISTÖ, M.; AHVENAINEN R. Physical and sensory properties of low-salt phosphate-free frankfurters composed with various ingredients. *Meat Science*, v. 63, p. 9 – 16, 2003.

SAMS, A. R.; FERIA, R. Microbial effects of ultrasonication of broiler drumstick skin. *Journal of food Science*, v. 56, n. 1, p. 247 – 248, 1991.

SANTOS, H. M.; LONDERO, C.; CAPELO-MARTÍNEZ, J. C. The power of ultrasound, In:\_\_\_\_Ultrasound in Chemistry, Analytical Applications, Portugal, Wiley-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, 2009, cap. 01, p. 01 – 15.

SEBRANEK, J. G. Basic curing ingredients, In:\_\_\_\_Ingredients in meat products. New York, NY: Springer Science, 2009, chapter 01, p. 01 – 24.

SHEARD, P. R.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I.; PERRY, A.; TAYLOR, A. A. Injection of water and polyphosphate into pork to improve juiciness and tenderness after cooking. *Meat Science*, v. 51, p. 371 – 376, 1999.

SOMBOONPANYAKULT, P.; BARBUT, S.; JANTAWAT, P.; CHINPRAHAST, N. Textural and sensory quality of poultry meat batter containing malva nut gum, salt and phosphate. *LWT – Food Science and Technology*, v. 40, p. 498 – 505, 2007.

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

STADINIK, J.; DOLATOWSKI, J. Z. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (*m. semimembranosus*). *Eur. Food Res. Technol*, v. 233, p. 553-559, 2011.

STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. *Sensory evaluation practices*. New York: Academic Press, 4<sup>th</sup> ed, 2012.

SUN, X. D.; HOLLEY, R. A. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. *Comprehensive reviews, In Food Science and Food Safety*, v. 10, p. 33 – 51, 2010.

TAMM, A.; BOLUMAR, T.; BAJOVIC, B.; TOEPFL, S. Salt (NaCl) reduction in cooked ham by a combined approach of high pressure treatment and the salt replacer KCl. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 36, p. 294-302, 2016.

TENTORI, F.; BLAYNER, M. J.; ALBERT, J. M.; KERR, P. G.; BOMMER, J.; YOUNG, E. W.; AKIZAWA, T.; PISONI, R. L.; ROBINSON, B. M.; PORT, F. K. Mortality risk for dialysis patients with different levels of serum calcium, phosphorus, and PTH: the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS). *American Journal of Kidney Diseases*, v. 52, n. 3, p. 519 – 530, 2008.

TORLEY, P. J.; BHANDARI, B. R. Ultrasound in food processing and preservation, In:\_\_\_\_\_Handbook of food preservation, CRC Press, 2007, cap 29, p. 713 – 740.

TOTOSAUS, A.; PÉREZ-CHABELA, M. L. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. *LWT – Food Science and Technology*, v. 42, p. 563 – 569, 2009.

TOUSSAINT, N. D.; HOLT, S. G. Is serum phosphate a useful target in patients with chronic kidney disease and what is the role for dietary phosphate restriction? *Nephrology*, v. 22, n. 2, p. 36 – 40, 2017.

TROUT, G. R.; SCHMIDT, G. R. Effects of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. *Journal of Food Science*, v. 49, p. 687 – 694, 1984.

TURANTAŞ, F.; KILIÇ, G. B.; KILIÇ, B. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *International Journal of Food Microbiology*, v. 198, p. 59 – 69, 2015.

VISSA, A.; CORNFORTH, D. Comparison of milk mineral, sodium tripolyphosphate, and vitamin E as antioxidants in ground beef in 80% oxygen modified atmosphere packaging. *Food Chemistry and Toxicology*, v.71, n. 2, p. 66 – 68, 2006.

WANG, P.; XU, X.; ZHOU, G. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. *Agricultural Sciences in China*, v. 8, n.12, p. 1475 – 1481, 2009.

WYSHAK, G.; FRISCH, R. E. Carbonated beverages, dietary calcium, the dietary calcium/phosphorus ratio, and bone fractures in girls and boys. *Journal of Adolescent Health*, v. 15, n. 3, p. 210 – 215, 1994.

XIONG, Y. L.; LOU, X.; WANG, C.; MOODY, W. G.; HARMON, R. J. Protein extraction from chicken myofibrils irrigated with various polyphosphate and NaCl solution. *Food Chemistry and Toxicology*, v. 65, n. 1, p. 96 – 100, 2000.

XU, S. Q.; ZHOU, G. H.; PENG, Z. Q.; ZHAO, L. Y.; YAO, R. The influence of polyphosphate marination on simmental beef shear value and ultrastructure. *Journal of Muscle Foods*, v. 20, p. 101 – 116, 2009.

YANG, R. F.; GENG, L. L.; LU, H. Q.; FAN, Z. D. Ultrasound-synergized electrostatic field extraction of total flavonoids from *Hemerocallis citrina baroni*. *Ultrasonic Sonochemistry*, v. 34, p. 571 – 579, 2017.

YAPAR, A.; ATAY, S.; KAYACIER, A.; YETIM, H. Effects of different levels of salt and phosphate on some emulsion attributes of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Food Hydrocolloids*, v.20, p. 825 – 830, 2006.

ZAIKA, L. L.; SCULLEN, O. J.; FANELLI, J. S. Growth inhibition of *Listeria monocytogenes* by sodium polyphosphate as affected by polyvalent metal ions. *Journal of Food Science*, v. 62, b. 4, p. 867 – 870, 1997.