UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos
Área de Nutrição Experimental

Cinética de ruptura do ferro heme em carne bovina (coxão mole - *semi membranous*) submetida a diferentes tratamentos térmicos

Liliana Perazzini Furtado Mistura

Tese para obtenção do grau de
DOUTOR

Orientadora:
Prof^a Dr^a Célia Colli

São Paulo
2006

Liliana Perazzini Furtado Mistura

Cinética de ruptura do ferro heme em carne bovina (coxão mole - *semi membranous*) submetida a diferentes tratamentos térmicos

Comissão Julgadora
da
Tese para obtenção do grau de Doutor

Profa. Dra. Célia Colli
orientador/presidente

1º. examinador

2º. examinador

3º. examinador

4º. examinador

São Paulo, _____ de _____.

À minha família

AGRADECIMENTOS

A Deus, em todo tempo e lugar, pelas bênçãos maravilhosas que sempre derramou e derrama sobre mim.

À Maria, mãe de Deus, que sempre intercede por mim, ao Pai, para que eu consiga desempenhar com força e amor meu papel de mulher neste mundo.

Ao Nelson, marido, amigo, companheiro de todas as horas, principalmente nas mais difíceis, que sempre me encorajou com seu amor incondicional.

Aos meus filhos amados, Tales e Tarso, que tiveram paciência comigo e me incentivaram.

A meus pais, Susie e Fernando, por suas orações neste momento tão importante para mim.

À profa. Célia Colli, que me acolheu, que muito me ensinou e acreditou que posso ser uma transmissora dos conhecimentos adquiridos e que sempre estará presente em minha vida.

Aos professores Fabiana Poltronieri e Alfredo Tenuta Filho, por suas contribuições na qualificação do doutorado.

Ao CAPES pela bolsa concedida no início do trabalho.

Ao Sr. István Wessel por ter cedido parte da carne utilizada nesta pesquisa.

À White Martins, na pessoa de Vanessa Alonso, onde realizamos o congelamento rápido.

Aos funcionários do restaurante do COSEAS, em especial à nutricionista Kátia Galvão.

À Marília César, que me acompanhou nesta jornada, demonstrando ser não só minha aluna, mas companheira e amiga.

Ao Homero Ferracini Gumerato que me assessorou com a estatística.

Aos amigos do laboratório: Alexandre Lobo, Aline Guimarães, Andrea Galante, Caroline Capitani, Juliana Campanholo, Luciana Setaro, Maria Lúcia Cocato, Renata Trommer.

À técnica Helena Chiebao que em muitos momentos me auxiliou.

Aos técnicos do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental, Alexandre Pimentel, Ivanir Soares, Lúcia Helena da Silva, Renato Heidor.

Aos secretários do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental, Edílson Feitosa dos Santos, Mônica Perussi e Tânia Cacheiro.

Aos secretários da pós-graduação, Elaine Ychico e Jorge Alves de Lima.

Às funcionárias Joana Santos e Maria de Lourdes Pedrosa boas colegas de bate-papo.

A todos os colegas do Bloco 14.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e que não foram aqui mencionados.

MUITO OBRIGADA.

“Uma falsa ciência gera ateus; a verdadeira ciência leva os homens a se curvarem diante da divindade.”
(Voltaire)

“Mesmo que eu tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência; mesmo que tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se não tiver amor, não sou nada.”
1 Cor 13, 2

SUMÁRIO

	PÁGINA
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xii
1- INTRODUÇÃO.....	1
Congelamento.....	5
Cocção.....	7
Ferro heme.....	7
Ferro heme e processamento térmico.....	8
Métodos de determinação de ferro heme.....	9
Cinética de degradação ou inativação.....	9
2- OBJETIVOS.....	12
3- MATERIAL E MÉTODOS.....	13
Material.....	13
Experimento 1 (cocção).....	13
Experimento 2 (congelamento).....	13
Métodos.....	13
Lavagem de Vidraria.....	13
Experimento 1 - cocção.....	13
Preparo das amostras.....	13
Índice de cocção.....	19
Preparo das amostras.....	20

Refrigeração.....	20
Congelamento.....	20
Descongelo.....	21
Armazenamento.....	23
Umidade e ferro total.....	23
Ferro total.....	23
Ferro heme.....	23
Análise estatística.....	24
Cinética de ruptura do heme.....	25
Cálculo da temperatura pseudo-infinita (T_p^∞).....	25
Relação entre umidade e temperatura programada com temperatura pseudo-infinita.....	27
Relação de E_a e k_0 com a umidade.....	28
Metodologia de interpolação dos resultados das medidas de concentração de ferro heme.....	28
Análise estatística (congelamento e armazenamento).....	29
4- RESULTADOS.....	30
5- DISCUSSÃO.....	52
6- CONCLUSÕES.....	63
ANEXO A.....	64
ANEXO B.....	71
ANEXO C.....	79
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES (TABELAS)

		PÁGINA
TABELA 1	-Ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em forno combinado, com temperatura de 150, 240 e 300°C e umidade de 10%.	33
TABELA 2	-Temperatura pseudo-infinita ($T_{p\infty}$), velocidade de reação e correlação (R^2) entre tempo de cocção e temperatura para coxão mole processado em forno combinado com 10% de umidade.	34
TABELA 3	-Parâmetros de cinética do ferro heme em coxão mole processado em forno combinado, com 10% de umidade.	34
TABELA 4	-Ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em forno combinado, com temperatura de 150, 240 e 300°C e umidade de 60%.	35
TABELA 5	-Temperatura pseudo-infinita, velocidade de reação e correlação (R^2) entre tempo de cocção e temperatura para coxão mole processado em forno combinado com 60% de umidade.	36
TABELA 6	-Parâmetros de cinética do ferro heme em coxão mole processado em forno combinado, com 60% de umidade.	36
TABELA 7	-Ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em forno combinado, com temperatura de 150, 240 e 300°C e umidade de 100%.	37
TABELA 8	-Temperatura pseudo-infinita, velocidade de reação e correlação (R^2) entre tempo de cocção e temperatura para coxão mole processado em forno combinado a 100% umidade.	38
TABELA 9	-Parâmetros de cinética do ferro heme em coxão mole processado em forno combinado, com 100% de umidade.	38
TABELA 10	-Ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em chapa elétrica, com temperatura de 200°C.	39
TABELA 11	-Temperatura pseudo-infinita, velocidade de reação para coxão mole processado em chapa elétrica.	40
TABELA 12	-Parâmetros de cinética do ferro heme em coxão mole	40

processado em chapa elétrica.

TABELA 13	-Ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em forno elétrico, com temperatura de 150, 200 e 280°C.	41
TABELA 14	-Temperatura pseudo-infinita, velocidade de reação e correlação entre tempo de cocção e temperatura (R^2) para coxão mole processado em forno elétrico em diferentes temperaturas.	42
TABELA 15	-Parâmetros de cinética do ferro heme em coxão mole processado em forno elétrico em diferentes temperaturas.	42
TABELA 16	- Fe heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado no forno combinado em diversas condições, análises laboratoriais, e cálculos com equações.	43
TABELA 17	- Fe heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado em chapa elétrica, análises laboratoriais, e cálculos com equações.	44
TABELA 18	- Fe heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) de coxão mole preparado no forno elétrico em diversas condições , análises laboratoriais, e cálculos com equações.	45
TABELA 19	-Índice de cocção das amostras preparadas em diversas condições em forno combinado.	46
TABELA 20	-Índice de cocção das amostras preparadas em diversas condições em chapa elétrica.	47
TABELA 21	-Índice de cocção das amostras preparadas em diversas condições em forno elétrico.	47
TABELA 22	-Concentração de Fe heme (base seca) em coxão mole submetido a congelamento rápido (CR) e a congelamento lento (CL).	50
TABELA 23	-Concentração de Fe heme (base seca) em coxão mole armazenado por 3 meses após congelamento rápido (CR) e a congelamento lento (CL).	50
TABELA 24	-Concentração de ferro heme em base seca ($\mu\text{g/g}$) preservados após armazenagem de três meses em temperatura de -18°C .	51

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES (GRÁFICOS)

		PÁGINA
GRÁFICO 1	-Relação dos valores das médias das concentrações de ferro heme obtidas pela análise das amostras de coxão mole preparado em forno combinado, e as concentrações calculadas pelas equações propostas.	44
GRÁFICO 2	-Relação dos valores das médias das concentrações de ferro heme obtidas pela análise das amostras de coxão mole preparado em chapa elétrica, e as concentrações calculadas pelas equações propostas.	44
GRÁFICO 3	-Relação dos valores das médias das concentrações de ferro heme obtidas pela análise das amostras de coxão mole preparado em forno elétrico, e as concentrações calculadas pelas equações propostas.	45
GRÁFICO 4	-Correlação da porcentagem de Fe heme em relação ao Fe total e a média das temperaturas internas do coxão mole durante o processamento no forno combinado.	48
GRÁFICO 5	Correlação da porcentagem de Fe heme em relação ao Fe total e as temperaturas internas do coxão mole durante o processamento no forno elétrico.	48
GRÁFICO 6	-Correlação da concentração de Fe heme o índice de cocção (IC) das amostras de coxão mole, preparadas em forno combinado.	49
GRÁFICO 7	-Correlação da concentração de Fe heme o índice de cocção (IC) das amostras de coxão mole, preparadas em forno elétrico.	49

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES (FIGURAS)

		PÁGINA
FIGURA 1	-Delineamento dos ensaios de coxão mole em forno combinado, forno elétrico e chapa elétrica.	15
FIGURA 2	- Forno combinado	17
FIGURA 3	- Chapa elétrica	18
FIGURA 4	- Forno elétrico	19
FIGURA 5	-Fluxograma dos ensaios de Fe heme em carnes refrigeradas e congeladas.	22
FIGURA 6	-História térmica em coxão mole, cocção a 150°C, com 10, 60 e 100% de umidade em forno combinado.	30
FIGURA 7	-História térmica em coxão mole, cocção a 240°C, com 10, 60 e 100% de umidade em forno combinado.	31
FIGURA 8	-História térmica em coxão mole, cocção a 300°C, com 10, 60 e 100% de umidade em forno combinado.	31
FIGURA 9	-História térmica em coxão mole, cocção a 200°C, em chapa elétrica.	32
FIGURA 10	- História térmica em coxão mole, cocção a 150, 200 e 280°C, em forno elétrico.	32

RESUMO

Cinética de ruptura do ferro heme em carne bovina (coxão mole - *semi membranous*) submetida a diferentes tratamentos térmicos

A concentração de ferro heme é um parâmetro de qualidade da carne, daí a importância de ser avaliado em carnes processadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a preservação do heme na cocção e no congelamento. Foram realizados dois experimentos com cortes de coxão mole (*m. semi membranous*) moído, de origem bovina e em formato de hambúrgueres. Experimento 1: a carne foi preparada em forno combinado a 150, 240 e 300°C por 3, 5 e 10 minutos com umidade no forno de 10, 60 e 100%; em forno elétrico, a 150, 200 e 280°C, por 6, 12 e 24 minutos e em chapa elétrica (200°C) por 45, 120 e 240 segundos. Experimento 2: a carne foi congelada de forma lenta e rápida e armazenada por três meses. Foram determinadas as concentrações de ferro heme (FeH) pelo método de Hornsey, (1956) e modificado por Carpenter e Clark (1995), e avaliados parâmetros cinéticos da ruptura do heme. Esse efeito na carne cozida em todos os equipamentos mostrou ser bastante dependente da concentração. A redução da concentração de ferro heme durante a cocção seguiu cinética de segunda ordem. A partir da concentração de ferro heme inicial e das condições de cocção, as equações obtidas permitiram calcular as concentrações finais de ferro heme após preparação do coxão mole em forno combinado, chapa elétrica e forno elétrico com erros de 3,9; 5,7 e 17,9%, respectivamente. O congelamento, tanto rápido, como lento, não alterou a concentração do FeH. Com este estudo foi possível identificar as condições de preparo mais indicadas para a preservação do FeH em coxão mole, e os resultados poderão conferir um refinamento aos dados de tabelas de composição de alimentos, bem como servir como ferramenta de trabalho para profissionais que estão à frente de Unidades de Alimentação e Nutrição.

SUMMARY

Heme iron rupture kinetics in bovine meat (round beef - semi membranous muscle) submitted to different heat treatments

Heme iron concentration is a meat quality parameter, hence its importance when evaluating processed meat. The aim of this work was to evaluate the preservation of heme iron during cooking and freezing. Two experiments with *semi membranous* muscle hamburgers were carried out. Experiment 1 – the meat was cooked in a combined oven (with humidity levels of 10, 60 and 100%) at 150, 240 and 300°C for 3, 5 and 10 minutes; in an electric oven at 150, 200 and 280°C for 6, 12 and 24 minutes and on an electric fryer (200°C) for 45, 120 and 240 seconds. Experiment 2- two meat groups (one slowly frozen and another rapidly frozen) were stored for 3 months. The concentrations of heme iron were determined by the Hornsey method (1956) and modified by Carpenter and Clark (1995), and the kinetic parameters regarding heme breakage were evaluated. This effect on meat in all equipment depended largely on the concentration. The decrease in iron concentration during cooking followed a second-order kinetics. From the initial concentrations of heme iron and cooking conditions, the equations that were obtained allowed to calculate the final concentration of heme iron, after cooking the meat in combined oven, on electric fryer and in electric oven, with an error of 3.9, 5.7 and 17.9%, respectively. Both rapid and slow freezing did not alter the concentration of heme iron. This study allowed identifying the most appropriate cooking conditions to preserve heme iron in meat, and the results may contribute to the quality of data in food composition tables and also serve as a tool for professionals in charge of Food and Nutrition Units.

1- INTRODUÇÃO

A identificação de alimentos consumidos pela população e, principalmente em se tratando de micronutrientes, a determinação de sua concentração, tem preocupado os pesquisadores da área de Nutrição (RONCADA *et al.*, 1984; LERNER *et al.*, 2000; GERALDO *et al.*, 2003; BARBOSA *et al.*, 2005). Temas como validação de metodologia analítica e de avaliação de consumo alimentar, amostragem relacionada à representatividade dos alimentos visam construir tabelas de composição e outros instrumentos com alcance suficiente para a obtenção de dados fidedignos que permitam o acompanhamento, por exemplo, de toda ação governamental orientada à saúde da população. (KONGKACHUICHA *et al.*, 2002; LOMBARDI-BOCCIA *et al.*, 2004).

O Brasil hoje compete internacionalmente no mercado de carnes e já superou, em volume de exportação, os Estados Unidos e a Austrália. Dados preliminares de 2004 mostram que o Brasil exportou (em milhares de toneladas de carne bovina) 1470, enquanto que a Austrália, 1300 e os Estados Unidos, 202 (SILVA, *et al.*, 2005).

No entanto, a maior parte da produção de carne bovina no Brasil é direcionada ao mercado interno, cerca de 81% do total produzido, enquanto que para o mercado internacional, são destinados apenas 19% da produção (SILVA *et al.*, 2005).

O consumo de proteínas de origem animal é utilizado como indicativo do desenvolvimento de um país ou região, ou seja, quanto maior o desenvolvimento do país maior será o consumo de proteínas de origem animal em relação ao de proteínas de origem vegetal (FEIJÓ, 2006).

A carne bovina é a mais consumida (41%) dentre todos os outros tipos e em todas as classes sociais no Brasil, dados na Tabela 1C em anexo (IBGE, 2006).

A carne bovina é um alimento muito apreciado e seus consumidores buscam sua satisfação nos seus atributos sensoriais como cor, capacidade de retenção de água e de certos odores (nela crua) e ainda a suculência, textura, maciez e odores característicos na carne (nela cozida).

É um alimento muito versátil porque pode ser preparado de maneiras variadas e tanto é consumida crua como preparada por cocção a vapor, por calor misto ou seco (PHILIPPI, 2003).

O valor nutricional da carne pode ser alterado quando a mesma é processada, no caso de descongelamento incorreto e na cocção. A diminuição do seu peso, ou rendimento também está associada ao aumento da temperatura, tempo e equipamento utilizado para seu preparo.

Essa redução de peso tem uma relação direta com o custo da refeição, uma vez que a carne é um dos itens do cardápio mais caros. Daí a importância de se conhecer as melhores condições de preparo da carne, para que se retenham o máximo de seu valor nutritivo e de peso.

Quase todos os tipos de restaurantes, com exceção dos vegetarianos ou hindus oferecem carne bovina em seus cardápios.

Vale lembrar que o número de redes *de fast food* tem aumentado muito nos últimos tempos e que o carro chefe destes estabelecimentos normalmente são os hambúrgueres, preparados com carne bovina moída (ORTIGOZA, 1997; BLEIL, 1998; COLAÇO, 2004). Muitas pessoas, principalmente adolescentes, trocam

qualquer prato por um sanduíche desse tipo. O consumo nacional de hambúrguer congelado tem sido superior, em volume, ao de outros produtos cárneos congelados (NASCIMENTO, *et al.*, 2005).

A carne é importante fonte de proteína de alto valor biológico, com proporções adequadas de aminoácidos essenciais. O tecido muscular em geral é boa fonte de vitaminas, principalmente as do complexo B, e de minerais, entre eles o fósforo, zinco e principalmente o ferro na forma heme.

Durante o processamento dos alimentos ocorrem alterações químicas que podem melhorar ou piorar a biodisponibilidade de certos nutrientes, pelo favorecimento ou prejuízo da sua digestão e da sua absorção, ou pela inativação de determinadas substâncias presentes no alimento. Por outro lado, durante o processamento também podem ocorrer perdas de nutrientes, alterando o valor nutricional do alimento (FENNEMA, 1996; WATZKE, 1998).

A carne fresca ou *in natura* é comercializada como tal, ou é utilizada na indústria como matéria-prima para embutidos ou derivados de carne.

Cuidados e atenção durante o transporte dos animais ainda vivos, cuidados *ante mortem*, humanização do sacrifício, evisceração, e cuidados higiênicos de ordem geral são importantes para produtos de qualidade, pois podem gerar carnes DFD - *Dark Firm Dry* - (escura, firme e seca) e PSE - *Pale Soft Exsudative* - (pálida, flácida e exsudativa) (PARDI, 2001).

A carne DFD apresenta diminuição de sabor, aroma e baixa atratividade devida à cor e textura, além de ter vida de prateleira inferior a dois dias a 0°C e menor capacidade de difusão do sal durante a cura, é um problema mais significativo na

carne bovina, onde foi inicialmente estudado, porque, na mesma, a diferença de cor é percebida de forma mais intensa (PARDI, 2001).

O DFD ocorre quando o pH muscular *post-mortem* mantém-se alto, próximo aos valores fisiológicos, em geral maiores do que 6,0 determinando aquelas características. A carne apresenta-se escura porque possui pH alto e assim absorve mais luz do que o normal; firme porque as fibras estão intumescidas pelo preenchimento por fluídos sarcoplasmáticos; e, finalmente, seca, porque a água endógena da carne está firmemente ligada às proteínas, não a deixando livre entre as fibras (MILLER, 2002).

O DFD ocorre nos animais que tenham sofrido estresse prolongado, exercícios físicos, exaustão durante o transporte, temperaturas ambientais extremas (frio ou calor), falta de alimentação, comportamento agressivo ou medo sem que tenha ocorrido recuperação da glicemia no organismo (LAWRIE, 1998).

As carnes PSE, mais freqüentes em carne de porco e de frango, suas características têm origem nos problemas de estresse no momento do abate, *ante mortem*, pois levam a um acúmulo de lactato (redução de pH) que, juntamente com a temperatura alta do músculo, compromete a qualidade funcional das matérias-primas, em face da desnaturação das proteínas cárneas provocam um estado em que a carne libera água, torna-se flácida e com coloração amena, influi nos rendimentos industriais, na qualidade final e no desempenho econômico dos produtos (OLIVO *et al.*, 2002; ODA *et al.*, 2003).

Congelamento

O congelamento de carnes tem sido muito utilizado por alimentar o processo de exportação e suprir o mercado de carne bovina no período de entressafra (ABIEC, 2006). Por empregar temperaturas mais baixas do que a refrigeração, o congelamento possibilita a conservação mais prolongada e manutenção das qualidades nutritivas, além de manter os caracteres sensoriais da carne (VARNAN e SUTHERLAND, 1998; LAWRIE, 1998; PARDI, 2001). Pode ser rápido ou lento dependendo da temperatura e do tempo empregados.

No congelamento lento, que é também denominado congelamento com ar parado, a temperatura utilizada varia de -20°C a -18°C e o calor é propagado por convecção. Já o congelamento rápido é feito geralmente em túneis ou também pelo método criogênico, que usa gases, principalmente o nitrogênio e o gás carbônico (PRÄNDL e ESAIN ESCOBAR, 1994; VARNAN e SUTHERLAND, 1998; LAWRIE, 1998; PARDI, 2001).

No congelamento lento, com a diminuição da temperatura, ocorre a cristalização da água nos tecidos e os grandes cristais que são formados causam danos mecânicos à célula, aumentando a perda de água no descongelamento, o que pode carrear nutrientes importantes. Por outro lado, no congelamento rápido há uma melhor distribuição dos pequenos cristais, sendo a água mais bem reabsorvida pelas proteínas da carne (PRÄNDL e ESAIN ESCOBAR, 1994; VARNAN e SUTHERLAND, 1998; LAWRIE, 1998; PARDI, 2001).

O tempo de congelamento é influenciado pela temperatura inicial da carne, seu calor específico e condutibilidade térmica, pelo tamanho da peça e tipo de envoltório

(caso exista). Já a velocidade do congelamento depende da velocidade do ar, da temperatura e da porcentagem de gordura da carne (PARDI, 2001).

Os pigmentos da carne congelada são os mesmos da carne fresca, sendo que a forma mais freqüente é a metamioglobina (mioglobina oxidada que tem o ferro na forma oxidada Fe^{+3}), o que faz a carne congelada ser mais escura do que a fresca (VARNAN e SUTHERLAND, 1998).

Hoje em dia muitas empresas de alimento têm utilizado o congelamento rápido em seus produtos à base de carne (PERDIGÃO, 2006; AURORA, 2006; SADIA, 2006), por levar a menor perda de peso do produto e possibilitar a redução da contagem bacteriana na superfície.

Os aspectos microbiológicos (TEMELLI, 2006) e principalmente os oxidativos (HANSEN, *et al.*, 2004; POPOVA, 2006; PEREIRA *et al.*, 2006; TRINDADE *et al.*, 2006) freqüentemente são abordados em estudos com carnes congeladas de diferentes espécies de animais, pois são fatores que interferem na vida de prateleira do alimento.

As perdas de ferro total e de ferro heme em carnes e em peixes congelados têm sido relacionadas com a perda do exsudato formado durante o descongelamento (GOMES-BASAURI e REGENSTEIN, 1992; BENJAKUL e BAUER, 2001; PURCHAS *et al.*, 2003; THURHAN *et al.*, 2006).

Por outro lado, CHAIJAN *et al.*, (2005) mostraram que após 15 dias de conservação no gelo, os pigmentos totais na carne escura diminuam em 60% em sardinha e cavala, possivelmente por causa da oxidação ou desnaturação durante o armazenamento. Assim, não só o exsudato poderia ser responsável pela redução do ferro heme em carnes.

Cocção

O processo de cocção da carne leva à coagulação, desnaturação, e solubilização de suas proteínas e como consequência altera suas características sensoriais. (PEARSON e GILLET, 1996). Estes últimos efeitos estão relacionados, como é sabido, com o tempo e temperatura de processamento. Essas transformações podem ser medidas pela capacidade de retenção de água (PARDI, 2001). Entre 57°C e 60°C ocorre o amaciamento do tecido conjuntivo sem que haja efeito sobre as proteínas miofibrilares, ou seja, sem endurecer a carne. Com base nessa observação é que se recomenda, para o amaciamento da carne, o cozimento prolongado a temperaturas baixas, para a carne rica em tecido conjuntivo, e o contrário para aquelas pobres em colágeno. (FEIJÓ, 2006).

Por outro lado, a temperatura e a duração do processo de cozimento podem influenciar a intensidade do saboroma da carne. Quanto maior o tempo de cozimento maior a degradação protéica e perda de substâncias voláteis (FEIJÓ, 2006).

Ferro heme

O Ferro heme encontrado em carnes, aves e peixes é parte das moléculas de hemoglobina e mioglobina e representa uma pequena fração, cerca de 17% do ferro total da dieta americana (RAPER, 1984). A ingestão diária *per capita* de carnes e pescados no Brasil é de aproximadamente 113g (IBGE, 2006), o que equivale a cerca de 1,5mg/dia de ferro heme.

A alta biodisponibilidade do ferro heme [cerca de 25% enquanto que a do Fe não-heme é da ordem de 10% (FAIRWEATHER-TAIT, 1992)] é pouco afetada por fatores dietéticos, à exceção do Ca, se ingerido em quantidades acima de 300mg

(HALLBERG *et al.*, 1991;1992), e tornam a carne um alimento fundamental para garantir o estado de nutrição em Fe de grupos de risco (NEUMAN *et al.*, 2000).

Desde os primeiros trabalhos que avaliaram a biodisponibilidade de ferro, houve a preocupação de se verificar as condições de preservação do heme. Pensou-se em fortificação de alimentos com o heme, mas CONRAD *et al.* (1967) demonstraram que a biodisponibilidade do heme purificado, é baixa porque no pH neutro do duodeno e na ausência de substâncias ligantes, suas moléculas tendem a formar polímeros de alto peso molecular e baixa solubilidade, com baixo potencial de absorção. Sua biodisponibilidade, porém, é maior quando permanece como hemoglobina ou seus produtos de degradação. Assim, a absorção do ferro heme não está relacionada com mudanças de sua estrutura química, mas com seu grau de polimerização. A globina também protege o heme da oxidação e essa oxidação do heme ocorre quando a proteína é desnaturada.

VON SEGGERN e colaboradores (2005) identificaram as características de trinta e nove diferentes músculos bovinos quanto à concentração de ferro heme, pH, cor, quantidade de colágeno, gordura, umidade, cinzas, e observaram que a concentração de ferro heme varia com o tipo de músculo.

Ferro heme e processamento térmico

Ao longo dos anos, pesquisadores têm demonstrado a preocupação de determinar as quantidades de ferro heme e não-heme em carnes de diversos animais em diferentes condições de preparo (IGENE *et al.*, 1979; SCHRICKER e MILLER, 1983; BUCHOWSKI *et al.*,1988; KALPALATHIKA *et al.*, 1991; HAN *et al.*, 1993; CARPENTER e CLARK, 1995; RAMOS, 1999; LOMBARDI-BOCCIA *et al.*,2002; KONGKACHUICHAI *et al.*,2002; MISTURA, 2002; TURHAN *et al.*,2004a).

Com o aumento da temperatura, há a oxidação dos anéis porfirínicos do heme, rompendo-se a molécula e liberando o ferro nela contido para o meio externo, levando ao aumento, portanto, da concentração de ferro não-heme (SCHRICKER e MILLER, 1983; GARCIA *et al.*, 1996).

Métodos de determinação de ferro heme

Não existe um método oficial para a análise do pigmento heme, mas a grande maioria dos estudos sobre ferro heme utiliza o método de HORNSEY (1956) e modificado por Carpenter e Clark (1995). Este método consiste na determinação, por espectrofotometria, da hematina extraída do alimento.

Outros métodos usando outras condições de extração e outros sistemas de detecção foram desenvolvidos para determinação do heme (KARLSSON e LUNDSTRÖM, 1991; KOJIMA e YASUI, 1993; HONG e YASUMOTO, 1996; CHEN *et al.*, 1998).

O mais específico pode ser considerado o que utiliza a cromatografia líquida de alta eficiência acoplada ao espectrofotômetro de massa indutivamente ativado - HPLC-SF-ICPMS – apresenta boa correlação com o método de HORNSEY (HARRINGTON, *et al.*, 2001, 2004).

Cinética de degradação ou inativação

Estudos sobre cinética de degradação de moléculas ou de inativação de microrganismos têm sido desenvolvidos com a finalidade de otimizar condições de processamento e aumentar a qualidade do produto.

A cinética de degradação de vitaminas (YAMASHITA *et al.*, 2003; PACHAPURKAR e BELL, 2005), de pigmentos (FERREIRA *et al.*, 1999; MELÉNDEZ-MARTINEZ *et al.*, 2004), de destruição de leveduras (BORZANI *et al.*,

1998), de inativação de *Salmonella* (MURPHY, *et al.*, 2000; ORTA-RAMIREZ, *et al.*, 2005), tem sido avaliadas por vários autores. Além de cinética de processos como de desidratação osmótica (EL-AQUAR e MURR, 2003) e de fermentação alcoólica (TORRES NETO, *et al.*, 2006).

Na prática todo alimento cozido tem uma perda nutricional, por um lado e por outro, uma melhoria de sua qualidade microbiológica, pela alta temperatura que inativa ou destrói nutrientes, microrganismos e outras substâncias.

Dentre os vários tipos de equipamentos utilizados para a cocção, o forno combinado é um equipamento onde todos os métodos de cocção podem ser aplicados, pois combina vapor e ar quente. Esse tipo de forno preserva mais as características sensoriais, como, a cor, sabor, maciez, e as características nutricionais dos alimentos do que os equipamentos convencionais. Além disso, reduz a perda de matéria prima durante o preparo, uma vez que mantém a umidade dos alimentos com perda mínima de seu peso original, reduz o tempo de preparo, porque alimentos diferentes podem ser preparados ao mesmo tempo e ocupa um menor espaço, gerando uma ótima relação custo/ benefício (COMBINAÇÃO, 1991).

Estes fornos são amplamente utilizados no exterior e no Brasil. Muitas Unidades de Alimentação e Nutrição já começaram a fazer uso dos mesmos.

SANT'ANA (1998) constatou que a estabilidade de tiamina, riboflavina e ácido nicotínico em carnes (bovina, suína e de frango) é maior para a grande maioria das preparações quando se utiliza o forno combinado em lugar de equipamentos convencionais (forno elétrico, fritadeira elétrica, fogão a gás com queimadores duplos e chapas bifeteiras e panelão americano a vapor).

Em relação ao aspecto microbiológico MARTINS (2000) demonstrou que o forno combinado é mais eficiente do que o forno seco convencional na inativação de *Salmonella* sp que eventualmente possa estar presente no alimento. MURPHY *et al.* (2005) avaliaram e validaram o processo de inativação de *Listeria monocytogenes* em frango também cozido primeiramente com vapor a 99°C por 4 minutos e imediatamente a seguir em forno combinado a 232°C, com 60% de umidade por 24 minutos.

Em 1997 foram servidas, no Brasil, 7,1 milhões de refeições/dia, e em 2005 este número passou para 10,8 milhões. Esse mercado potencial de refeições está estimado em 23 milhões/dia para empregados de empresas, e em 17 milhões nas escolas, hospitais e Forças Armadas (ABERC, 2006).

Portanto, é de fundamental importância que sejam garantidas as condições de segurança quanto à higiene, atrativos sensoriais e valor nutricional das refeições servidas.

A concentração de ferro heme pode ser considerada um parâmetro de qualidade da carne e a justificativa deste trabalho é avaliar sua integridade em diferentes condições de preparo desse alimento.

2- OBJETIVOS

Geral

- Avaliar o efeito do processamento (cocção e congelamento) na concentração de Fe heme de coxão mole moído e moldado como hambúrguer.

Específicos

- Determinar as concentrações de ferro heme em coxão mole, submetido a diferentes processamentos: refrigeração, congelamento rápido e lento; cocção em equipamentos como forno combinado, forno elétrico e chapa elétrica em diversas combinações.
- Determinar os parâmetros cinéticos de ruptura do heme nas condições de processamento.

3- MATERIAL E MÉTODOS

Material

Experimento 1 (cocção)

30kg de músculo *semi membranous* (coxão mole) moído de origem bovina, adquiridos em 3 açougues de São Paulo.

Experimento 2 (congelamento)

5kg de coxão mole bovino em 10 açougues (0,5kg/açougue).

Métodos

Lavagem da Vidraria

Para a determinação de ferro total a vidraria utilizada foi desmineralizada em banho de ácido nítrico 30%, por 12 horas e enxaguada com água desionizada (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Experimento 1 - Cocção

Preparo das amostras

A moldagem em formato de hambúrguer resultou em unidades com peso médio de 80g, com 8cm de diâmetro, e 1cm de espessura. Foi feito o delineamento estatístico considerando o processamento de coxão mole moído em forno combinado, forno elétrico e chapa elétrica (Figura 1). Nenhum ingrediente foi acrescentado às amostras.

No forno combinado as temperaturas usadas foram 150, 240 e 300°C, os tempos de cozimento 3, 5 e 10 minutos e a umidade do forno de 10, 60 e 100%, portanto

são 3 temperaturas, 3 tempos e 3 níveis de umidade, caracterizando o planejamento fatorial 3x3x3 (27 condições diferentes). Foram feitas três repetições para cada condição, ou seja, o coxão mole foi comprado em três açougues diferentes e em cada repetição as amostras foram analisadas em triplicata.

No forno elétrico as temperaturas usadas foram 150, 200 e 280°C, os tempos de cozimento 6, 12 e 24 minutos, portanto 3 temperaturas e 3 tempos, o que nos proporciona o delineamento fatorial 3x3 (9 condições diferentes), pois temos 2 fatores com 3 níveis cada fator. Neste forno também foram feitas 3 repetições.

Já na chapa elétrica a temperatura foi constante (200°C) em 3 tempos diferentes (45, 120 e 240 segundos). Como são três condições foram feitas 5 repetições para cada um dos tempos considerados.

FIGURA 1. Delineamento dos ensaios de coxão mole em forno combinado, forno elétrico e chapa elétrica.