



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

CINTIA MIDORI KAMINISHIKAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE  
FILÉS DE FRANGO ANÁLOGO AO PFN (*PALE, FIRM,  
NON-EXUDATIVE*) E PSE (*PALE, SOFT,  
EXUDATIVE*)**

CINTIA MIDORI KAMINISHIKAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE  
FILÉS DE FRANGO ANÁLOGO AO PFN (*PALE, FIRM,  
NON-EXUDATIVE*) E PSE (*PALE, SOFT,  
EXUDATIVE*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Lourenço Soares Russo

Londrina  
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da  
Universidade Estadual de Londrina**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

K15a Kaminishikawahara, Cintia Midori.  
Caracterização bioquímica e estrutural de filés de frango análogo ao  
PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*) e PSE (*Pale, Soft, Exudative*) /  
Cintia Midori Kaminishikawahara. - Londrina, 2014.  
76 f. : il.

Orientador: Adriana Lourenço Soares Russo.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade  
Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência de Alimentos, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Carne de ave - Qualidade - Teses. 2. Carne - Cor - Teses. 3.  
Oxidação lipídica - Teses. 4. Enzimas lipolíticas - Teses. I. Russo,  
Adriana Lourenço Soares. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro  
de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de  
Alimentos. III. Título.

CDU 664.91

CINTIA MIDORI KAMINISHIKAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE FILÉS DE  
FRANGO ANÁLOGO AO PFN (*PALE, FIRM, NON-EXUDATIVE*)  
E PSE (*PALE, SOFT, EXUDATIVE*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Adriana Lourenço Soares Russo  
UEL – Londrina – PR

---

Profº Dr. Alexandre Oba  
UEL – Londrina – PR

---

Profº Dr. Massami Shimokomaki  
UTFPR – Londrina – PR

Londrina, 28 de março de 2014.

*"A grandeza de uma nação pode ser julgada pelo modo que seus animais são tratados."*

Mahatma Gandhi

***Dedico a minha família que sempre acreditou em mim, mais do que eu mesma. E a todos os animais que passaram pela minha vida, em especial a Heia...***

## **AGRADECIMENTOS**

À Prof<sup>â</sup>. Orientadora Dra. Adriana Lourenço Soares Russo, pela orientação e amizade durante todo o trajeto. Por estar de portas abertas para socorrer-me em todos os momentos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa e auxílio financeiro deste trabalho.

À Prof<sup>â</sup> Ana Paula Frederico Rodrigues Loureiro Bracarense do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva da UEL pela ajuda dispensada. À Prof<sup>â</sup>. Inês Cristina de Batista Fonseca do Departamento de Agronomia da UEL pelo auxílio na análise dos resultados.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos e aos docentes do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos pelo suporte e por fornecer condições para a realização do trabalho.

Aos Funcionários do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo auxílio diário na realização das atividades, em especial a Elza e a Patrícia.

A todos os funcionários do frigorífico, em especial ao Moisés Grespan, pela doação das amostras e auxílio durante os períodos passados no frigorífico.

Aos alunos e funcionários do Laboratório de Patologia Animal do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva da UEL pelo auxílio na análise microscópica das minhas amostras.

Aos estagiários Fernanda Jéssica Mendonça, Alyson Akira Takabayashi e Janaina Pereira Santos, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho. Aos alunos de mestrado do Grupo de Carnes, Marcela Colombo dos Santos e Paulo Barbeta pelo apoio e auxílio durante todo o tempo.

Ao alunos de Doutorado do Grupo de Carnes, Talita Kato e Danielle Honorato pela ajuda, companhia e pelos momentos engraçados, principalmente naqueles dias intermináveis...

Aos colegas do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos, pelas horas divididas no laboratório, pela troca de experiências, pela amizade.

Aos amigos novos e antigos pelo apoio e pela simples amizade.

Aos meus pais por todo o encorajamento e confiança depositados em mim. Por serem os melhores exemplos que eu poderia ter.

A minha irmã, por todas as brigas, por sempre estar por perto. A todos os animais de estimação que passaram pela minha vida, que me ensinaram tanto sobre o amor incondicional. Em especial a Heidi (*In memoriam*), o Dog Alemão mais doce e esperto que já existiu, nunca me esquecerei de todas as vezes que você tentou ser mais inteligente que eu...

KAMINISHIKAWAHARA, Cintia Midori. **Caracterização Bioquímica e Estrutural de Filés de Frango Análogo ao PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*) e PSE (*Pale, Soft, Exudative*)**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

## RESUMO

Os filés de frango apresentam uma ampla variação de cor e podem ser classificados em três grupos: Normal, PSE (*Pale, Soft, Exudative*) e DFD (*Dark, Firm, Dry*) baseados nos valores de  $L^*$  e pH. Entretanto, em frangos ainda não foram observadas outras categorias de carne como a RSE (*Red, Soft, Exudative*) e a PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*), que são estabelecidas em suínos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características bioquímicas, enzimáticas e estruturais de filés de frango PSE e Pálidos em um abatedouro comercial. Os filés de frangos (n=1045) foram classificados de acordo com o pH e o valor de  $L^*$  em: PSE (pH < 5,8,  $L^*$  > 53,0), Pálidos (pH > 5,8 e  $L^*$  > 53,0) e Normal (pH > 5,8 e  $L^*$  < 53,0). Um total de 30 amostras de cada grupo foram analisados quanto a capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento *in natura* e cozida, oxidação lipídica (TBARS), atividade de fosfolipase  $A_2$  (PLA<sub>2</sub>) e perfil de ácidos graxos. O diâmetro das fibras e a frequência de lesões foram avaliados por microscopia ótica. Os valores de pH variaram entre 5,61 a 6,38 e os valores de  $L^*$  variaram entre 48,67 a 67,53. Obteve-se uma incidência de 9,1% de filés PSE, 85,7% de filés Pálidos e 5,2% de filés Normais. Os três grupos diferiram significativamente quanto aos valores de pH e  $L^*$ . Filés de frango PSE apresentaram valores de  $a^*$  e de  $b^*$  menores ( $P < 0,05$ ) quando comparadas aos filés Pálidos e Normal. Os filés PSE apresentaram valores de CRA menores ( $P < 0,05$ ) seguidos pelos filés Pálidos e pelos Normais. Porém, não foram encontradas diferenças significativas nos valores de PPC, força de cisalhamento das amostras cozidas e atividade de PLA<sub>2</sub> entre os três tipos de carne. A força de cisalhamento *in natura* dos filés PSE foi menor quando comparada aos filés Pálidos e Normais. As amostras PSE e Pálidas apresentaram-se 48% mais oxidadas que as Normais ( $P < 0,05$ ). Os ácidos graxos: araquidônico, palmitoléico e adrênico foram diferentes entre os três grupos de filés. O diâmetro das células foram 10% menor para carnes PSE quando comparadas com as Pálidas e Normais. A frequência relativa de edema foi maior ( $P < 0,08$ ) nos filés PSE e Pálido. Estes resultados sugerem que filés Pálidos sejam classificados como análogos a PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*).

**Palavras-chave:** Fosfolipase  $A_2$ . Propriedades funcionais. Microscopia ótica.

KAMINISHIKAWAHARA, Cintia Midori. **Biochemical and Structural Characterization of PFN-like (Pale, Firm, Non-exudative) and PSE (Pale, Soft, Exudative) Broiler Breast Meat.** 2014. 76 p. Dissertation (Master of Science in Food Science) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

## ABSTRACT

The broiler breast meat presented a considerable variation of color and it can be classified into three groups: Normal, PSE (*Pale, Soft, Exudative*) and DFD (*Dark, Firm, Dry*) based on L\* and pH values. However, in poultry have not been observed others meat categories as RSE (*Red, Soft, Exudative*) and PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*) that are established in pork. The objective of this work was to evaluate biochemical, enzymatic and structural characteristics of PSE and Pale breast meat in a commercial plant. The breast meat fillets (n=1045) were classified into PSE (pH < 5.8, L\* > 53.0), Pale (pH > 5.8 and L\* > 53.0) and Normal (pH > 5.8 and L\* < 53.0), based on pH values and L\* values. A total of 30 samples of each group were analyzed for the water holding capacity (WHC), cooking loss (CL), shear force of *in natura* and cooked samples, lipid oxidation (TBARS), phospholipase A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>) activity, fatty acid profile. Cell diameter and injuries frequency were evaluated for light microscopy. The pH values ranged from 5.61 to 6.38 and L\* values ranged from 48.67 to a 67.53. The incidence was 9.1% for PSE meat, 85.7% for Pale meat and 5.2% for Normal meat. The three groups differed significantly on pH values and L\* values. PSE fillets presented a\* and b\* values lower (P < 0.05) than Pale and Normal meat. The PSE meat presented lower values of WHC (P < 0.05) followed by Pale fillets and Normal samples. But, no significant differences were observed on CL values, shear force of cooked samples and PLA<sub>2</sub> activity among three types of meat. The shear force of PSE meat in nature was lower (P < 0.05) than Pale and Normal samples. The PSE and Pale samples presented 48% more oxidation than Normal samples (P < 0.05). The fatty acid arachidonic, palmitoleic and adhenic were different among three groups. The cell diameter was 10% lower in PSE meat when compared to Pale and Normal meat. The frequency of edema was higher (P < 0.08) in PSE and Pale fillets. These results suggested that Pales meat were classified as PFN-like (*Pale, Firm, Non-exudative*).

**Key words:** Phospholipase A<sub>2</sub>. Functional properties. Light microscopy.

## LISTA DE FIGURAS

### 3 REVISÃO

<b>Figura 1</b> – Organização estrutural da fibra muscular.....	18
<b>Figura 2</b> – Estrutura do sarcômero do músculo esquelético.....	19
<b>Figura 3</b> – Estrutura de um filamento de miosina .....	21
<b>Figura 4</b> – Estrutura de um filamento de actina.....	21

### 5 ARTIGO CIENTÍFICO

<b>Figura 1</b> – Histograma dos valores de L* de filés de frango (n=1045).....	61
<b>Figura 2</b> – Histograma dos valores de pH de filés de frango (n=1045) .....	62
<b>Figura 3</b> – Fotomicrografia de corte transversal de músculo <i>pectoralis major</i> de amostras PSE (A), Pálido (B) e Normal (C).....	65
<b>Figura 4</b> – Fotomicrografia de corte longitudinal de músculo <i>pectoralis major</i> sem edema (A) e com edema (B).....	69

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADP	Adenosina Difosfato
ATP	Adenosina Trifosfato
CAF	Enzimasfatoradas pelo cálcio
CRA	Capacidade de Retenção de Água
DFD	<i>Dark, Firm, Dry</i>
pi	ponto isoelétrico
PLA <sub>2</sub>	Enzima fosfolipase A <sub>2</sub>
PPC	Perda de Peso por Cozimento
PSE	<i>Pale, Soft, Exudative</i>
RFN	<i>Red, Firm, Non-exudative</i>
RSE	<i>Red, Soft, Exudative</i>
PFN	<i>Pale, Firm, Non-exsudative</i>
TBA	Ácido 2-tiobarbitúrico
TBARS	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
3.1	ESTRUTURA MUSCULAR.....	17
3.2	TRANSFORMAÇÃO DO MÚSCULO EM CARNE .....	24
3.3	ATRIBUTOS DE QUALIDADE .....	26
3.3.1	Cor .....	27
3.3.2	Capacidade de Retenção de Água e pH.....	30
3.3.3	Textura .....	33
3.4	PSE .....	35
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	40
4.1	MATÉRIA-PRIMA .....	40
4.2	MÉTODOS .....	40
4.2.1	Medida de pH.....	40
4.2.2	Medida de Cor.....	40
4.2.3	Classificação dos Filés.....	41
4.2.4	Capacidade de Retenção de Água.....	41
4.2.5	Perda de Peso por Cozimento .....	41
4.2.6	Análise de Força de Cisalhamento.....	42
4.2.7	Determinação da Atividade de Fosfolipase A <sub>2</sub> (PLA <sub>2</sub> ) .....	42
4.2.8	Medida de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico- TBARS .....	42
4.2.9	Perfil de Ácidos Graxos.....	43
4.2.10	Microscopia Óptica.....	44
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	45
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	46

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>55</b>
5.1	ARTIGO CIENTÍFICO	55
	Resumo	55
	Abstract	56
	Introdução	56
	Material e Métodos	57
	Experimento 1: incidência de filés PSE e pálidos	57
	Matéria-prima	57
	Medidas de pH e cor	57
	Classificação dos filés	58
	Experimento 2: alterações bioquímicas, enzimáticas e estruturais dos filés	58
	Matéria-prima	58
	Capacidade de retenção de água	58
	Perda de peso por cozimento	58
	Força de cisalhamento	58
	Determinação da atividade de fosfolipase A <sub>2</sub> (PLA <sub>2</sub> )	59
	Medida de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS	59
	Perfil de ácidos graxos	59
	Microscopia óptica	60
	Análise estatística	60
	Resultados e Discussão	61
	Experimento 1: incidência de filés PSE e pálidos	61
	Experimento 2: alterações bioquímicas, enzimáticas e estruturais dos filés	63
	CONCLUSÃO	69
	AGRADECIMENTO	69
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>70</b>
	<b>COSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das aviculturas mais desenvolvidas do mundo, posição alcançada graças à implementação de programas de qualidade em todos os elos da cadeia, com destaque para a genética, nutrição, manejo, biossegurança, boas práticas de produção, rastreabilidade, programas de bem-estar animal e de preservação do meio ambiente (União Brasileira de Avicultura, 2008).

O Brasil, desde 2004 é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango e é o maior exportador desse produto (Associação Brasileira de exportadores de Frango - ABEF, 2008). Segundo a UBABEF (2013) a produção de carne de frango em 2012 foi de 12,645 milhões de toneladas, o que representa um decréscimo de 3,17% em relação a 2011, porém o Brasil mantém-se como maior exportador mundial e terceiro maior produtor de carne de frango, atrás dos Estados Unidos e da China.

O maior consumidor desta carne é o próprio brasileiro, responsável pela compra de 69% da produção interna, sendo o restante exportado principalmente para o Oriente Médio. O consumo *per capita* da carne de frango no país em 2012 foi de 45 quilos (UBABEF, 2013). A expressividade do consumo de carne de frango no Brasil deve-se tanto aos fatores citados acima, como também ao menor valor do produto quando comparado a outras proteínas de origem animal, como a bovina (ABEF, 2011).

Entre os estados que mais produzem carne de frango, tem-se o Paraná, à frente, com uma produção de 2,799 milhões ton/ano em 2011, seguido de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Representa também o maior exportador de carne de frango entre os estados brasileiros (AGROSTAT/MAPA, 2011).

A venda da carne de frango no exterior encontra amplo mercado, pois a carne apresenta atributos desejáveis, como o fato do país estar livre de doenças como a Influenza aviária, a variedade de cortes ofertadas de acordo com as rigorosas especificações de cada importador e a qualidade reconhecida (BARBOSA, 2008).

A qualidade de um produto abrange uma série de aspectos, como a composição nutricional, características higiênico-sanitários, físicas, apresentação, embalagem, facilidade de uso, entre outras (VIEIRA, 1999).

A qualidade da carne de frango pode ser percebida por atributos sensoriais (cor, textura, suculência, sabor, odor, maciez), tecnológicos (pH, capacidade de retenção de água), nutricionais (quantidade de gordura, perfil de ácidos graxos, oxidação lipídica, teor de proteínas, vitaminas e minerais), sanitários (controle de tuberculose, salmonelose), ausência de resíduos químicos e físicos (antibióticos, dioxina), éticos (bem-estar do homem e do animal) e preservação ambiental (respeito ao ambiente em que o sistema de produção está inserido). As exigências pela qualidade da carne estão cada vez maiores tanto no mercado internacional como no nacional (SANTOS, 2012).

A produção de carnes de frango de qualidade apresenta como um dos graves entraves à questão da carne PSE (*Pale, Soft e Exudative*), resultado do estresse *antemortem*, que é caracterizada por uma carne de cor pálida, macia e exsudativa na superfície, reflexo da acidez muscular, o que compromete a qualidade funcional das matérias-primas, em face da desnaturação das proteínas miofibrilares, prejudicando o rendimento industrial, a qualidade final e o desempenho econômico dos produtos (OLIVO et al., 2006).

A classificação dos filés de frango em Normais e PSE é realizado através dos valores de pH e  $L^*$ . Zhang e Barbut (2005) utilizaram  $L^* > 53$  e  $pH < 5,7$  para carnes PSE,  $46 < L^* < 53$  e  $5,7 < pH < 6,1$  para normais e para DFD  $L^* < 46$  e  $pH > 6,1$ , enquanto Petracci et al. (2004) propuseram  $L^* > 56$  para carnes PSE e Lésiow et al. (2007)  $L^* > 53$ . Zhuang e Savage (2010) consideraram valores ainda mais altos de  $L^*$  para classificar suas carcaças: pálidas com  $L^* > 60$  e  $5,38 < pH < 5,82$ , normais  $55 < L^* < 59$  e  $5,59 < pH < 6$  e escuras  $L^* < 55$  e  $5,49 < pH < 6,29$ .

Em carnes suínas, a classificação é dividida em cinco categorias: PSE (*Pale, Soft, Exudative*), RFN (*Red, Firm, Non-exudative*), RSE (*Red, Soft, Exudative*), PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*) e DFD (*Dark, Firm, Dry*) (CASSENS, et al., 1992; VAN LAACK et al., 1994) de acordo com os parâmetros de cor ( $L^*$ ) e de capacidade de retenção de água.

Nos últimos anos, tem se observado que os filés de frango apresentam-se mais pálidos, com valores de  $L^*$  altos e nem sempre estão com o pH alterado característico de carne PSE e até o presente momento nenhuma avaliação ou caracterização deste tipo de filé foi realizada. Assim, pretendeu-se investigar

estes filés, a fim de analisar possíveis causas e alterações bioquímicas, enzimática e estrutural.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as características bioquímicas, enzimáticas e estruturais de filés de frango PSE e Pálidos com pH normal.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Classificar e determinar a incidência dos filés PSE, Pálido e Normal através dos valores de luminosidade e pH.
- ❖ Avaliar as propriedades funcionais de capacidade de retenção de água e perda de peso por cozimento de filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal.
- ❖ Analisar a atividade da fosfolipase  $A_2$  em filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal.
- ❖ Investigar a textura nas amostras *in natura* e cozidas dos filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal.
- ❖ Determinar o perfil de ácidos graxos e a oxidação lipídica dos filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal.
- ❖ Avaliar o diâmetro das fibras musculares e a morfologia geral do tecido através de microscopia ótica dos filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ESTRUTURA MUSCULAR

O tecido muscular representa de 30 a 40% do peso vivo do animal, e é este que a partir de uma série de reações bioquímicas originará a carne (PEARSON e YOUNG, 1989). Ele é composto por 16-22% de proteínas, 1-13% de gorduras, 7585% de água, 1,5% de substâncias nitrogenadas não-protéicas (nucleosídeos, creatina etc.), 1% de carboidratos e 1% de minerais (PARDI et al., 1995).

O tecido muscular dos mamíferos pode ser dividido em três tipos de acordo com suas características morfológicas e funcionais. Tal classificação é importante, pois a qualidade da carne dependerá do tipo de fibra que a originou (MADEIRA, 2008).

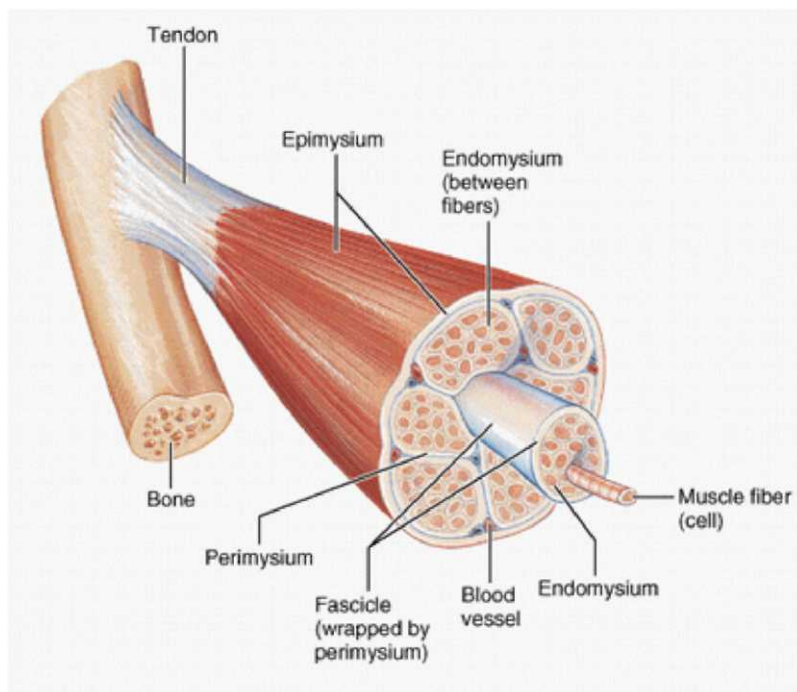
Um dos tipos é o músculo estriado cardíaco, que apresenta contração involuntária, vigorosa e rítmica e as fibras são menores que a do músculo esquelético (GUIMARÃES, 1995). O músculo esquelético é formado por feixes de células cilíndricas muito longas e multinucleadas, que apresentam estrias transversais; contração rápida e vigorosa e estão sujeitas ao controle voluntário (ROÇA, 2004). E por fim o músculo liso, formado por aglomerados de células fusiformes, ausente de estrias transversais; com contração lenta e sem controle voluntário. Constitui a parede do trato digestivo e das vias respiratórias, dos ductos urinários e genitais, das paredes das artérias, veias e grandes vasos linfáticos e da pele (GUIMARÃES, 1995).

Devido às características especiais apresentadas pelas células musculares, os seus componentes recebem nomes diferenciados. Por exemplo, a membrana citoplasmática é denominada de sarcolema, ela é bastante elástica para suportar as distorções que ocorrem nas fases de contração, relaxamento e estiramento do músculo, além de formar invaginações ao longo de toda a superfície da fibra, formando uma rede de túbulos, chamados de túbulos transversais. O citoplasma é denominado de sarcoplasma, é constituído de uma típica matriz citoplasmática com 75 a 85% de água, gotículas de gordura e grânulos de glicogênio, e de organelas, assim como de miofibrilas peculiares ao músculo; o

retículo endoplasmático é denominado de retículo sarcoplasmático e as mitocôndrias de sarcossomos (GUIMARÃES, 1995).

O tecido muscular é formado pela união de vários feixes de fibras musculares envoltas por tecido conjuntivo. A unidade básica é a fibra muscular, a qual está envolta por um tecido conjuntivo denominado endomísio, esta une-se a outras fibras formando os feixes musculares, também envolvidas por tecido conjuntivo, o perimísio. A união de vários feixes de fibras musculares recobertas por tecido conjuntivo, o epímísio, formam o músculo (Figura 1) (ABERLE et al.,2001).

**Figura 1** – Organização estrutural da fibra muscular



**Fonte:** MedicalLook, 2013.

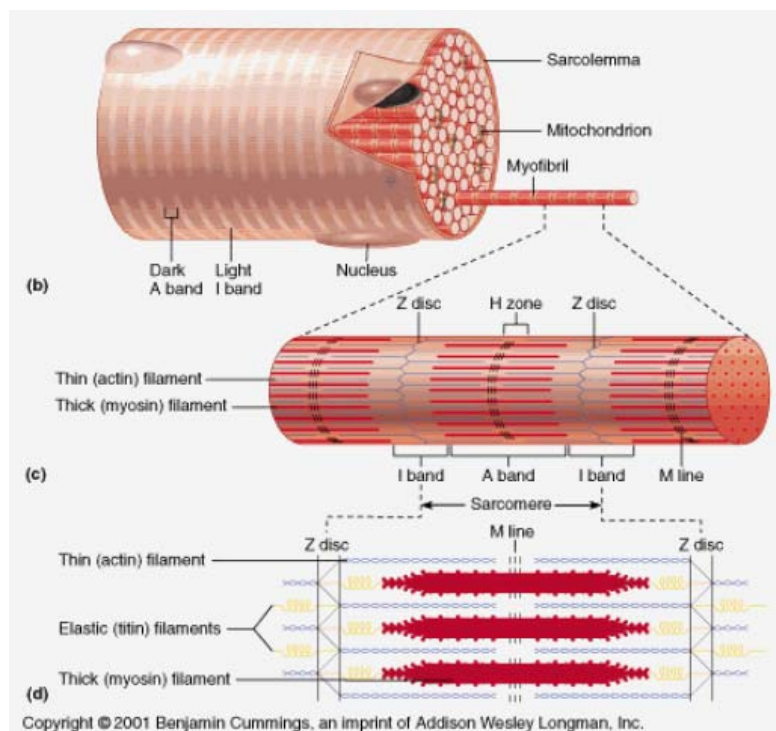
As fibras musculares são células cilíndricas ou prismáticas, com comprimento variando de 3 a 12 centímetros e diâmetro de 10 a 100 micrômetros. Junto ao sarcoplasma existem muitos núcleos, o que faz com que pareça que a estrutura é formada por várias células fundidas (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2004). O diâmetro varia de acordo com a raça, espécie, sexo, idade, dieta, exercício físico e a velocidade de crescimento pós-natal (PEARSON e GILLET, 1996).

As fibras musculares contráteis são constituídas por filamentos compostos por dois tipos de proteína, a actina e a miosina. Estes filamentos estão dispostos regularmente, originando um padrão bem definido de estrias (faixas)

transversais alternadas, claras e escuras. Essas estruturas existem somente nas fibras que constituem os músculos estriados (SANTOS, 2007).

As fibras musculares são constituídas por unidades que se repetem ao longo de seu comprimento, denominadas sarcômeros (Figura 2). As faixas mais extremas e mais claras do sarcômero, chamadas banda I, contêm apenas filamentos de actina. Dentro da banda I existe uma linha que se cora mais intensamente, denominada linha Z, que corresponde a várias uniões entre dois filamentos de actina, com grande presença de alfa actinina. A faixa central, mais escura, é chamada banda A, cujas extremidades são formadas por filamentos de actina e miosina sobrepostos. Dentro da banda A existe uma região mediana mais clara - a banda H - que contém apenas miosina. Um sarcômero compreende o segmento entre duas linhas Z consecutivas e é a unidade contrátil da fibra muscular, pois é a menor porção da fibra muscular com capacidade de contração e distensão (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2004).

**Figura 2** – Estrutura do sarcômero do músculo esquelético



**Fonte:** <http://legacy.owensboro.kctcs.edu/>.

As proteínas que compõem o músculo esquelético podem ser divididas de acordo com a sua solubilidade (Quadro 1). As proteínas sarcoplasmáticas são solúveis em água ou em soluções salinas diluídas, já as

proteínas miofibrilares apresentam solubilidade apenas em soluções salinas concentradas e outras como as do tecido conjuntivo são insolúveis em soluções salinas concentradas, pelo menos a baixa temperatura (LAWRIE, 2005).

**Quadro 1** – Proteínas do tecido muscular (g/100g)

<b>Proteínas miofibrilares:</b>	<b>10,0</b>
filamentos grossos:	
miosina	5,0
proteína C	0,2
proteína M	0,3
filamentos finos:	
actina	2,5
tropomiosina	0,8
troponina	0,8
p-actinina	0,1
linha Z:	
a-actinina	0,2
desmina	0,1
<b>Proteínas sarcoplasmáticas</b>	<b>7,0</b>
enzimas sarcoplasmáticas e mitocondriais	6,0
mioglobina	0,6
hemoglobina	0,2
citocromo e flavo proteínas	0,2
<b>Proteínas do estroma</b>	<b>3,0</b>
colágeno e reticulina	1,5
elastina	0,1
outras proteínas insolúveis	1,4
<b>Total de proteínas</b>	<b>20,0</b>

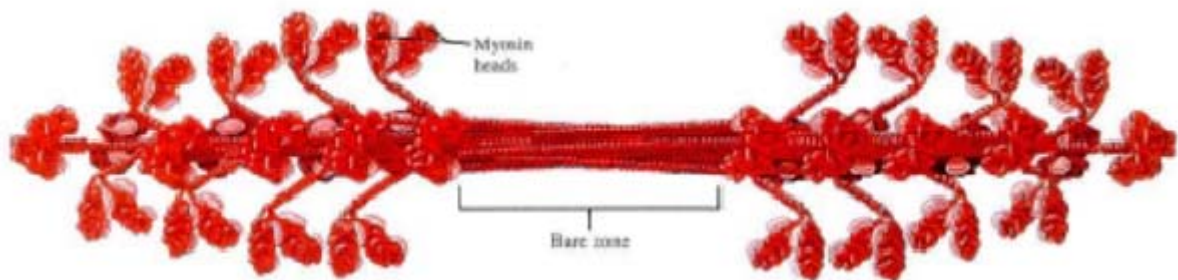
Fonte: FLORES e BÉRMÉLL, 1984 apud ROÇA, 2004.

Como observado no Quadro 1, a miosina é a mais abundante das proteínas miofibrilares. Ela é uma proteína altamente carregada, devido ao alto conteúdo em ácido glutâmico, ácido aspártico e aminoácidos dibásicos (LAWRIE, 2005). Ela apresenta a forma de um bastão com cerca de 150 nm de comprimento, com uma projeção globular dupla (chamada cabeça da miosina) em uma das extremidades. É formada por um arranjo antiparalelo de moléculas de miosina, de tal modo que a porção central é lisa e formada apenas pela região em bastão das moléculas (esta porção central corresponde à pseudo-zona H, localizada no centro da banda A), com as cabeças globulares se projetando para fora, próximas às extremidades das fibrilas (Figura 3) (GUIMARÃES, 1995).

Em seguida, tem-se a actina, presente sob duas formas, e a actina F, na qual as unidades globulares estão agregadas pela extremidade para formar uma cadeia dupla e a actina G, que consiste em unidades globulares relativamente

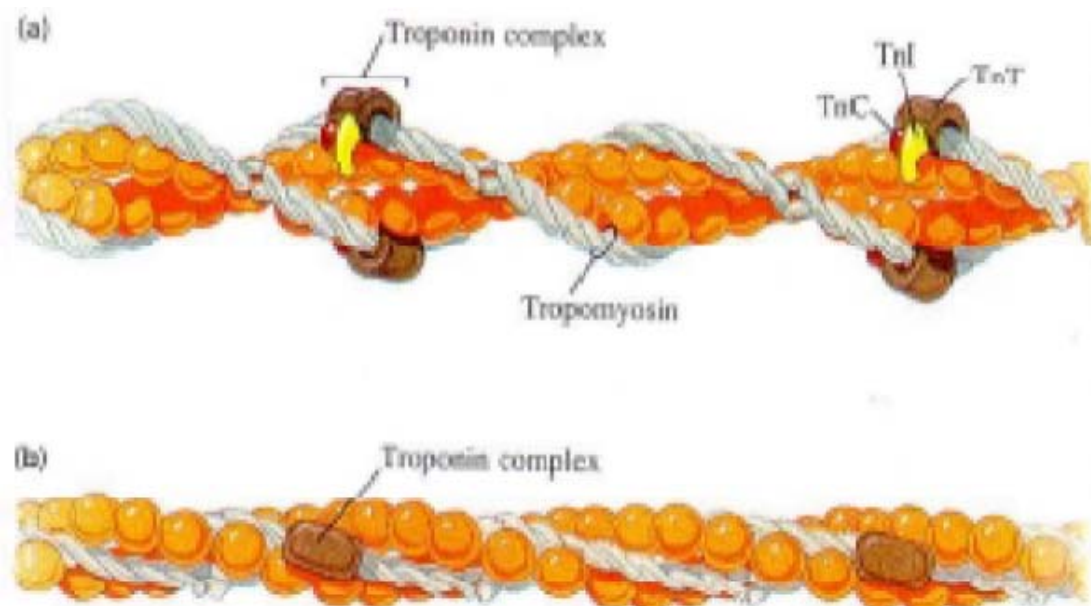
pequenas, e se polimerizam na presença de sais e pequenas quantidades de ATP em actina F, que se entrelaçam duas a duas em hélice (Figura 4). Durante o *rigor mortis*, é a actina F que irá se combinar com a miosina para formar a actomiosina. Dentre as proteínas do tecido conjuntivo destacam-se em maior proporção o colágeno e a elastina, sendo que o colágeno tem influencia significativa no amaciamento da carne (LAWRIE, 2005).

**Figura 3** – Estrutura de um filamento de miosina



Fonte: RAWN, 1989 apud GUIMARÃES, 1995.

**Figura 4** – Estrutura de um filamento de actina



Fonte: RAWN, 1989 apud GUIMARÃES, 1995.

O processo de contração muscular inicia-se através de impulsos nervosos na junção mioneural, o que provoca a despolarização do sarcolema e a liberação de  $Ca^{2+}$  no retículo sarcoplasmático. Esses íons livres associam-se a troponina C, formando um complexo, que sofre uma alteração conformacional, deslocando a molécula de tropomiosina, que se localiza entre duas cadeias do

filamento de actina, liberando os sítios ativos deste filamento. Na contração muscular há o atrito entre os filamentos de actina e miosina, movidos pelas cabeças de miosina dos filamentos ligadas aos sítios de ligação com a actina, há a sobreposição com o encurtamento do sarcômero, já que as duas linhas Z aproximam-se (HUFF-LONERGAN e LONERGAN, 2005). A fase de rigor instala-se quando a maior parte das cabeças de miosina permanece aderida aos sítios de ligação da actina, pois não há energia para sua liberação. Durante a contração os filamentos deslizam-se, sobrepondo-se, o músculo pode diminuir em até um terço do seu tamanho original, porém, os filamentos finos e espessos mantêm-se os mesmos, o que diminui é o sarcômero (ORDÓÑEZ et al., 2005)

No *rigor mortis*, ocorre processo semelhante à contração muscular, porém o número de pontes actomiosina formadas é bem maior do que na contração muscular; e o relaxamento no caso do rigor não ocorre, já que não há energia suficiente para quebrar as ligações actomiosina.

Os músculos podem ser classificados também de acordo com a intensidade de sua coloração em brancos ou vermelhos, o que por sua vez depende da proporção de fibras vermelhas e brancas existentes. As fibras vermelhas apresentam tal cor devido à alta quantidade de citocromo e mioglobina e como realizam oxidação fosforilativa, tem alto teor de mitocôndrias. A contração é lenta e são encontradas na coxa e asa das aves e nas membranas dos mamíferos. As fibras brancas contêm quantidades pequenas de citocromo, mioglobina e de mitocôndria. A obtenção de energia ocorre por meio da glicólise, e apresentam contração rápida, estão presentes nos músculos peitorais das aves. E por fim, as fibras intermediárias, que apresentam características intermediárias entre os dois tipos acima citados (ROÇA, 2004; GRASHORN, 2010). O quadro 2 discrimina os tipos de fibras musculares.

**Quadro 2** – Características das fibras musculares

Característica	fibras vermelhas	fibras intermediárias	fibras brancas
Cor	vermelha	vermelha	branca
Conteúdo de Mioglobina	alto	alto	baixo
Diâmetro da fibra	pequeno	peq-interm.	grande
Velocidade de contração	lenta	rápida	rápida
Tipo de contração	tônica	tônica	tásica
Números de mitocôndrias	alto	intermediário	baixo
Tamanho de mitocôndrias	grande	intermediário	pequeno
Densidade capilar	grande	intermediária	pouca
Metabolismo oxidativo	abundante	intermediário	escasso
Metabolismo glicolítico	escasso	intermediário	abundante
Conteúdo lipídico	alto	intermediário	baixo
Conteúdo glicogênio	baixo	alto	alto

(Fonte: FORREST et al., 1979 apud ROÇA, 2004).

Após o nascimento dos animais, o crescimento muscular ocorre somente por hipertrofia, isto é, pelo aumento no tamanho das células, por meio do acréscimo de proteínas e de núcleos originados da proliferação e fusão das células satélites na célula muscular. O aumento do tamanho da célula ocorre inicialmente no sentido longitudinal, pelo aumento no número de sarcômeros e, posteriormente, ocorre aumento no diâmetro pela deposição de proteínas miofibrilares (SCHEUERMANN, 2004). A hipertrofia depende tanto de fatores intrínsecos como: genética, fatores reguladores de crescimento, ativadores de transcrição, status endócrino, proteinases musculares e inervação; quanto de fatores ambientais, como dieta e temperatura, além da atividade motora, agentes repartidores de nutrientes, idade, sexo, doenças, tipo de músculo e localização das fibras no músculo (DAUNCEY e GILMOUR, 1996).

O corte mais valorizado do frango é o peito, por isso foi realizada seleção fenotípica com o intuito de priorizar o rápido e maior ganho de peso e de rendimento do peito, mas não houve alteração do tipo de fibra que ele apresenta. Contudo, pode ser observado um aumento no número de fibras musculares e

incremento na área transversal destas fibras. Este aumento na espessura das fibras pode influenciar negativamente a qualidade da carne, pois estas aves são mais susceptíveis ao estresse e sua musculatura apresenta maior velocidade de glicólise, com rápida produção de ácido lático e queda brusca de pH, o que pode favorecer o aparecimento de carnes mais pálidas (SCHEUERMANN, 2004).

### 3.2 TRANSFORMAÇÃO DO MÚSCULO EM CARNE

Com a morte do animal, ocorre uma série de modificações bioquímicas e estruturais, denominada de "conversão do músculo em carne". Elas ocorrem simultaneamente e são dependentes dos tratamentos *antemortem*, do processo de abate e das técnicas de armazenamento da carne.

O processo de *rigor mortis* pode ser dividido em 3 fases: numa primeira fase, denominada de pré-rigor, o músculo ainda apresenta a capacidade de se estender, pois os níveis de glicogênio muscular e ATP estão elevados, já na fase de rigor, ocorre aumento gradativo da rigidez muscular, decorrente da diminuição das reservas energéticas; e na fase de pós-rigor, a dureza da carne diminui para valores próximos aos encontrados antes do abate (PRATES, 2000).

O fim do fluxo sanguíneo produzido pela morte do animal faz com que o aporte de nutrientes e a retirada de catabólitos cessem, porém as células continuam com suas atividades a fim de manter a homeostasia. O músculo, recém abatido e após um período de repouso, apresenta ATP (adenosina trifosfato), fosfocreatinina e pH em torno de 6,9 a 7,2 (ROÇA, 2004).

No animal vivo, a produção de energia ocorre por duas vias, a aeróbia e a anaeróbia (glicólise). O fim do suprimento de oxigênio leva a produção de ATP através da via anaeróbica, no qual o ácido pirúvico é reduzido a ácido lático, ao invés de entrar no ciclo de Krebs-Johnson e na cadeia citocrômica para formar ATP. Apenas 8% do ATP que seria formado na via aeróbia é produzido durante a glicólise. Tal fato leva a exaustão mais rápida das reservas energéticas. Inicialmente, esgotam-se as reservas de fosfocreatina (utilizada na conversão de ADP em ATP), depois de glicogênio e outros carboidratos e por fim de ATP, rico em energia. Os prótons que são produzidos durante a glicólise e durante a hidrólise de ATP a ADP causam diminuição significativa do pH intracelular (ROÇA, 2004).

Em um primeiro momento após a morte do animal, o músculo ainda é elástico, pois ainda há ATP e os miofilamentos conseguem deslizar, mas com o esgotamento das reservas de glicogênio, a glicólise cessa e o músculo perde a capacidade de relaxamento, criando enlaces ou pontes permanentes entre a actina e a miosina, formando o complexo actomiosina, o que inicia a fase de *rigor mortis* propriamente dita (GAYA e FERRAZ, 2006).

No animal vivo, a síntese e a quebra do glicogênio são reguladas pela insulina e pela adrenalina e glucagon, respectivamente. Mas no *postmortem*, as primeiras enzimas que regulam a glicólise, são a fosforilase b e a fosfofrutoquinase. A ativação da glicólise abaixo de 5°C parece ser devido ao grande acúmulo de AMP (adenosina monofosfato) que estimula a fosforilase b (ROÇA, 2004).

Nos músculos que apresentam quantidades maiores de fibras brancas há alta atividade anaeróbica, portanto a glicólise e a degradação do ATP são mais rápidas do que a das fibras vermelhas (ORDONHEZ et al., 2005). Em frangos, por exemplo, a instalação do *rigor mortis* leva em torno de 1 hora, entretanto a velocidade de queda do pH pode variar entre linhagens, indivíduos e a temperatura. De acordo com Dransfield e Sosnicki (1999), quando mensurado o pH após 15 minutos do abate, os valores encontrados variam entre 6,2 a 6,6 em aves.

A velocidade com que ocorre a diminuição do pH e o valor final atingido dependem de uma série de fatores, como espécie, tipo de músculo, variação entre animais, manejo pré-abate e temperatura. Sendo os mais importantes, a reserva de glicogênio muscular *antemortem* e a temperatura externa. A interferência de tais fatores leva a diminuição do intervalo de tempo entre o abate do animal e a instalação do *rigor mortis*, provocando alterações na qualidade da carne, como a carne PSE e DFD (*Dark, Firm, Dry*) (VASECHI, 2000).

A concentração de glicogênio muscular momentos antes da morte do animal determinará o pH final, e o teor de ácido láctico pré-abate determinará a velocidade de instalação do *rigor mortis* e o pH final da carne (OLIVO e SHIMOKOMAKI, 2006).

Após determinado período de tempo, inicia-se a resolução do *rigor mortis*, conhecido como o processo de maturação (amaciamento) da carne. Esse processo resulta da atividade de enzimas proteolíticas presentes no músculo,

denominado calpaínas ou CAF (enzimas fatoradas pelo cálcio), levando a fragmentação e ao enfraquecimento da miofibrila, com o conseqüente amaciamento da carne. As principais enzimas proteolíticas responsáveis pela degradação das proteínas miofibrilares são as calpaínas, a  $\mu$ -calpaína, que necessita de 5 a 50  $\mu$  M de íons cálcio para sua atividade, e a m-calpaína, que requer de 300 a 1000  $\mu$  M do íon para sua atividade, além de proteases lisossômicas como as catepsinas D, B, H e L (SHIMOKOMAKI et al., 2006).

### 3.3 ATRIBUTOS DE QUALIDADE DA CARNE

A qualidade da matéria-prima tem ganhado cada vez mais destaque, pois se consome cada vez mais cortes de carne e produtos processados em detrimento das aves vivas ou carcaças inteiras que eram comercializadas no passado. Desta forma, evidenciam-se atributos como capacidade de retenção de água, cor e textura. Porém, a maioria dos sistemas de classificação de aves em todo mundo ainda baseiam-se mais na estética do que em outras características (BARBUT, 2009).

Para a carne de frango, atributos como cor, textura e a capacidade de retenção de água (CRA) têm sido avaliados a fim de proporcionar produtos melhores e mais competitivos. Tal fato ocorre devido a mudanças no mercado atual, como o aumento de produtos processados de frango, a competição com outras carnes e também com outras fontes de proteína que não são de origem animal (ZHANG e BARBUT, 2005). Torna-se necessário a aplicação de esforços com vistas a produzir matérias primas de melhor qualidade, e assim reduzir as perdas econômicas, mas que ao mesmo tempo atendam as expectativas do consumidor (SCHNEIDER et al., 2006).

A qualidade da carne é influenciada por diversos fatores, a maioria dos quais é passível de controle durante as etapas de produção. A composição da carne é estabelecida no decorrer da vida do animal, contudo outras características são influenciadas por condições antes, durante e após o abate. Fatores como idade, sexo, nutrição, localização e funcionamento do músculo, apanha dos animais, transporte, temperatura ambiente, tempo de jejum, entre outros afetam a composição da carcaça dos animais. Porém, alterações da qualidade da carcaça e das vísceras podem ser resultantes do emprego de diferentes tecnologias de abate

e pós-abate, como tempo de resfriamento, tempo e temperatura de maturação e estimulação elétrica (KAUFFMAN e MARSH, 1987).

De acordo com OLIVO (2002), tanto as propriedades funcionais quanto as físico-químicas determinam as características dos alimentos e a sua utilização, tendo aplicações econômicas e que influenciam nos aspectos econômicos do produto. Em se tratando de carnes, as propriedades são influenciadas pela proteína, umidade e gordura. Características como CRA, cor, pH, capacidade emulsificante, capacidade de geleificação, textura são dependentes dessas propriedades (SOUZA, 2006).

O consumidor, no momento da compra, decide com base em critérios como segurança alimentar, aparência, textura, suculência e sabor (ANADÓN, 2002), os quais podem agregar valor aos produtos cárneos. Tais características podem ser afetadas por defeitos como a carne PSE e a DFD. Na primeira observa-se uma cor clara, textura flácida, diminuição da CRA e do rendimento no cozimento e alteração de outras propriedades sensoriais, acarretadas pela perda da funcionalidade da proteína, o que afeta a industrialização de produtos. Já a carne DFD é o resultado do estresse prolongado, da falta de alimentação, do comportamento agressivo ou do medo que causarão depleção das reservas de glicogênio, o que impedirá a formação de uma quantidade adequada de ácido láctico *postmortem*. O pH final será mais elevado, o que fará com que o tecido absorva mais luz do que o normal, mais firme porque as fibras estarão intumescidas pelo preenchimento por fluidos sarcoplasmáticos e finalmente seca, porque a água endógena da carne estará firmemente ligada às proteínas, não a deixando escorrer para a superfície (SWATLAND, 1995).

### 3.3.1 Cor

Um dos atributos mais destacados pelo consumidor no momento da compra é a cor do frango *in natura* (ALLEN et al., 1998), pois é visto como um indicador do frescor e da boa qualidade do produto (SOUZA, 2006). É também uma característica importante para os cortes destinados ao processamento, já que pode indicar alterações das propriedades funcionais (QIAO et al., 2001).

A cor percebida visualmente é o resultado da absorção seletiva da luz pela mioglobina, fibras musculares e suas proteínas, além do líquido livre

presente na carne (OLIVO et al., 2001). Há dois pigmentos principais que conferem a cor da carne, a hemoglobina, presente no sangue e responsável pelo transporte de oxigênio pela corrente sanguínea e a mioglobina, que constitui de 80 a 90% do total de pigmento muscular, e retém o oxigênio no músculo. Outros pigmentos também estão presentes, mas sua contribuição na cor observada é menor, como a catalase e as citocromo-enzimas (ROÇA, 2000).

A mioglobina é uma cromoproteína formada por um grupo protéico, e outro prostético, composto de um átomo de ferro em que se fixa o oxigênio e uma protoporfirina. Apresenta-se sob três formas na carne fresca: a mioglobina reduzida ou desoximioglobina (ferro ferroso,  $Fe^{++}$ ), de cor vermelha púrpura, a qual resiste mesmo após a morte do animal, devido à atividade redutora do músculo; a oximioglobina ou mioglobina oxigenada (ferro ferroso,  $Fe^{++}$ ) de cor vermelha brilhante, produzida quando a mioglobina entra em contato com o oxigênio, sendo a coloração desejada pelo consumidor, e a metamioglobina ou mioglobina oxidada (ferro férrico,  $Fe^{+++}$ ), formada pela exposição prolongada da oximioglobina ao oxigênio ou quando a mioglobina é submetida a baixas pressões de oxigênio, como pode ocorrer de acordo com o tipo de embalagem. É de cor marrom pardo e sugere ao consumidor que a carne não é de boa qualidade (OSÓRIO et al., 2009).

A quantidade de mioglobina presente no músculo varia conforme a espécie, sexo, idade, localização anatômica do músculo e atividade física. Por exemplo, bovinos e ovinos apresentam maior quantidade de mioglobina que suínos, pescados e aves (ROÇA, 2000). Sendo que, quanto maior for a presença de pigmento heme, mais intensa será a tonalidade vermelha da carne (RANKEN, 2000). O pigmento heme é muito instável quimicamente, o que possibilita uma vasta possibilidade de tonalidades de cores nas carnes e em seus derivados (OLIVO, 2006).

A mensuração da cor é baseado no sistema colorimétrico denominado CIELab, sigla composta pelas iniciais da comissão que estabeleceu o sistema (The Commission Internationale de L'Eclairage, em 1976). Nesta classificação, o espectro de refletância ou transmitância do objeto é emitido nas cores primárias: vermelho, amarelo e azul, sendo que L corresponde a luminosidade, a ao teor de vermelho e b ao teor de amarelo. Através da utilização de colorímetros ou espectrofotômetros, qualquer cor pode ser localizada (MACDOUGALL, 1994).

A partir deste sistema, foram introduzidas transformações lineares e não lineares das variáveis, dando origem aos espaços aproximadamente uniformes de Hunter (1958) e os denominados CIELUV, recomendado para avaliar luzes com grande diferença de cor e CIELAB, recomendado para avaliar objetos com pequena diferença de cor (ROBERTSON, 1977 apud PRAXEDES, 2007). Nesses sistemas, as coordenadas x, y e z sofrem transformações quadráticas (no espaço Hunter) ou cúbicas (nos espaços CIELUV e CIELAB), dando origem às variáveis L, a e b. Para distinguir as correções matemáticas adotadas nos espaços CIELUV e CIELAB, nota-se um asterisco à direita da variável ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) (MACDOUGALL, 1994). A razão  $a^*/b^*$  pode ser utilizada para estimar a proporção de oximioglobina e metamioglobina em carnes (OLIVO, 2001).

De acordo com SHIMOKOMAKI et al. (2006), a palidez da carne PSE é o resultado da diminuição do pH, da desnaturação protéica e da expulsão da água, o que aumenta a interação proteína-proteína e conseqüentemente aumenta a birrefringência, com menos luz sendo transmitida através das fibras e mais luz sendo dispersa. A análise da cor é um método confiável e não destrutivo para distinguir carne PSE da normal. O valor de  $L^*$  e de pH são utilizados para classificar as carnes em PSE, normal e DFD por diversos autores. Foi estabelecido que caracteristicamente carnes PSE apresentam pH mais baixos que de amostras normais e  $L^*$  mais alto, em contrapartida, carnes DFD tem pH mais elevados e  $L^*$  menores.

Não há consenso entre os diferentes autores sobre os valores de pH e  $L^*$  que devem ser utilizados para a classificação dos filés de frango. Zhang e Barbut (2005) utilizaram  $L^* > 53$  e  $\text{pH} < 5,7$  para carnes PSE,  $46 < L^* < 53$  e  $5,7 < \text{pH} < 6,1$  para carnes normais e para DFD  $L^* < 46$  e  $\text{pH} > 6,1$ , enquanto Soares et al. (2002) consideraram carnes normais com  $44 < L^* < 53$  e  $\text{pH} > 5,8$ , carnes PSE com  $L^* > 53$  e  $\text{pH} < 5,8$  e DFD com  $L^* < 44$ . Zhuang e Savage (2010) citam  $L^*$  para classificar suas carcaças: pálidas com  $L^* > 60$  e  $5,38 < \text{pH} < 5,82$ , normais  $55 < L^* < 59$  e  $5,59 < \text{pH} < 6$  e escuras  $L^* < 55$  e  $5,49 < \text{pH} < 6,29$ .

A determinação da cor em frangos é realizada no músculo *pectoralis major*, isto é, no peito do frango. Esse corte é propício para tal análise, pois além de compreender uma porção representativa do peso inteiro da ave (aproximadamente 10%), é o mais sensível aos fatores fisiológicos e bioquímicos que contribuem para a descoloração. Sua coloração, naturalmente mais clara,

também faz com que pequenas alterações na cor tornem-se mais visíveis (SAMS, 2001).

Os filés de frango apresentam uma ampla variedade de tonalidades, o que torna a cor do produto uma forma de separar os filés com propriedades funcionais alteradas, contribuindo para maior uniformidade dos produtos (QIAO et al., 2001). De acordo com Qiao et al. (2001) as variações de cor de filés, variando de muito claros ou muito escuros, estão relacionados com propriedades funcionais como umidade, capacidade de retenção de água, capacidade de emulsão, marinação, cocção, força de cisalhamento e composição química, como proteínas e cinzas.

A fonte de tamanha variedade da cor dos filés ainda não está totalmente elucidada, condições de manejo pré-abate, como nutrição, transporte e bioquímica da carne *postmortem* parecem afetar a coloração das carcaças. A classificação distingue apenas os extremos de coloração, classificando-as em carnes muito pálidas (PSE) e muito escuras (DFD), mas as classes intermediárias não são bem definidas (WILKINS et al., 2000).

### 3.3.2 Capacidade de Retenção de Água e pH

A água é o principal constituinte do tecido muscular, representando em torno de 65 a 80% do total. De forma geral, todas as propriedades funcionais sofrem influência por interações da proteína com a água. A maior parte é encontrada intracelularmente, fortemente ligada a diversas proteínas, mas uma porção, de cerca de 24%, apresenta-se retida por forças capilares e podem exsudar sob pressão (OLIVO, 2006). Por estar presente de forma tão significativa na massa muscular, diminuições na quantidade de água alteram negativamente o rendimento, maciez, textura, sabor e valores nutricionais (OLIVO, 2002).

A CRA é definida como a capacidade do músculo e dos produtos cárneos em manter a água ligada a si (FENNEMA, 2010), durante a aplicação de forças externas, tais como cortes, aquecimento, trituração e prensagem (ABERLE et al., 2001). A CRA influencia diretamente na qualidade da carne, sendo um parâmetro importante tanto para cortes destinados ao consumo direto, quanto àqueles destinados a industrialização. Tal fato decorre da sua capacidade de afetar diversas características essenciais à carne de frango, por isso é considerada um

indicador relevante como forma de prever o rendimento, o resultado econômico e a qualidade final de um produto (OLIVO, 2002). Por exemplo, se durante o armazenamento, os tecidos apresentarem baixa CRA, a perda de umidade e, conseqüentemente, a perda de peso durante seu armazenamento será alta (VENTURINI et al., 2007).

Depois da morte do animal observa-se a redução do pH, o que por conseqüência resulta na diminuição da capacidade de retenção de água. Tal processo envolve vários fatores, como o genótipo, os diferentes métodos de atordoamento e o estresse pré-abate (ROQUE-SPECHT et al., 2009).

Em condições *antemortem* inadequadas, como calor excessivo, há consumo das reservas energéticas a fim de manter a homeostasia, aumentando assim a quantidade de ácido láctico produzido e a rigidez muscular (LESIÓW e KIJOWSKI, 2003).

Em carnes PSE, a queda rápida do pH associada a alta temperatura levam a desnaturação e perda da solubilidade das proteínas musculares, resultando no aumento na perda de peso por gotejamento, perda de peso por cozimento e diminuição da capacidade de retenção de água (VAN LAAK et al, 2000).

Roque-Specht et al. (2009) observaram que a maior perda de água e conseqüentemente de peso, ocorreram em valores de pH entre 5,2 - 5,54; e as menores perdas em pH próximo a 6,0. Tal comportamento decorre da hidrólise das proteínas miofibrilares que, em situações de aquecimento e pH ácido, promove a desnaturação protéica e perda das propriedades funcionais da carne, diminuindo a capacidade de retenção de água (MCKEE e SAMS, 1998).

A água presente nos tecidos pode apresentar-se sob 3 formas: ligada, a qual está fortemente conectada aos grupos hidrofílicos das proteínas e apresenta baixa mobilidade e sofre poucas alterações após o início do rigor; a imobilizada, alvo da indústria, pois é a mais afetada durante o rigor, encontra-se presa por atração às demais moléculas de água ligada e a livre, localizada superficialmente (FORREST et al. 1979 apud ROÇA 2004). Devido à distribuição de elétrons, as moléculas de água possuem carga neutra, mas são polares e podem associar-se a grupos reativos das proteínas musculares carregadas eletricamente. Do total de água no músculo, 4 a 5% se apresenta ligada.

Segundo Souza (2006), mesmo após o abate, reações bioquímicas da carne continuam transformando as reservas energéticas do músculo em ácido

lático sob a ação de enzimas relacionada à glicólise. Com a formação do ácido láctico, o pH da carne diminui para 5,7 - 5,9 em carnes normais. De acordo com Dransfield e Sosnicki (1999), a instalação do *rigor mortis* em frangos leva cerca de uma hora; entretanto, a velocidade de queda do pH pode variar entre linhagens e indivíduos. Mas há divergências quanto ao pH final do peito de frango, Sams e Mills (1993) descreveram variações médias de pH para carne de peito entre 5,7 e 5,8, já Souza (2006) encontrou valores de pH entre 5,7 - 5,9.

O decréscimo do pH durante o período *postmortem* leva a diminuição da CRA da carne. Este é um processo complexo, influenciado por diversos fatores, como o genótipo, os diferentes métodos de atordoamento e o estresse pré-abate. Este último está relacionado com a temperatura, umidade, pressão, luminosidade, nível sonoro, conteúdo de oxigênio, de anidrido carbônico e de nitrogênio, e cada animal apresenta uma resposta diferente a estas variáveis (LAWSON, 2004). O efeito do pH na CRA é denominado de efeito de carga neutra. A CRA é menor em pH 5,2-5,3, ou seja, no ponto isoelétrico (pI) da maior parte das proteínas musculares. Mas se o pH estiver acima do pI, as cargas positivas desaparecem, ficando um excesso de cargas negativas que determinam a repulsão dos filamentos, deixando mais espaço para as moléculas de água (ROÇA, 2000).

Animais submetidos a condições estressantes têm seu metabolismo acelerado, devido à liberação desordenada de cálcio, levando a um aumento na temperatura corporal (LESIÓW, KIJOWSKI, 2003). Quando submetidos a ambientes desfavoráveis, por exemplo, a temperaturas muito elevadas, as aves utilizam-se de processos metabólicos para realizar compensações fisiológicas, para garantir que a temperatura interna mantenha-se relativamente constante. Esses ajustes promovem o consumo de nutrientes para produzir ou dissipar calor, ao invés de utilizá-lo para a síntese de novas moléculas (TINOCO, 2001). Tais alterações metabólicas aumentam a produção de ácido láctico e a rigidez muscular (LESIÓW; KIJOWSKI, 2003).

Em amostras de carne normal, somente um terço da perda da CRA se deve à queda do pH. A queda do ATP e as interações protéicas associadas ao *rigor mortis* são responsáveis pela formação de uma rede espessa das proteínas contrácteis. Certos íons, especialmente cátions divalentes como o cálcio e o magnésio tem a propriedade de combinar-se com os grupos relativos das proteínas carregados negativamente, aproximando as cadeias protéicas entre si, impedindo

que os grupos hidrofílicos liguem água. A falta de espaço para as moléculas de água na estrutura protéica é conhecida como efeito estérico da retenção de água. As proteínas musculares produzem efeitos elétricos em proporção direta com a degradação do ATP no *postmortem* (ROÇA, 2000).

Durante a maturação da carne, ocorre um leve aumento da CRA, decorrente da discreta elevação do pH, da degradação enzimática da estrutura miofibrilar e da substituição de íons divalentes por íons monovalentes. Componentes como o cloreto de sódio e polifosfatos aumentam o pH da carne, aumentando sua propriedade de retenção de água (ROÇA, 2000).

### 3.3.3 Textura

A textura é um fator bastante importante na percepção do consumidor quanto à qualidade da carne (BRESSAN, 1998). Ela está intimamente relacionada à quantidade de água intramuscular e, portanto, à CRA da carne, de modo que quanto maior o conteúdo de água fixada no músculo, maior a maciez da carne (ANADÓN, 2002). A medida da textura da carne é determinada através de sua força de cisalhamento (BRESSAN, 1998). Porém, há grande variação a respeito da força de cisalhamento para considerar a carne de frango macia. Autores como Simpson e Goodwin (1974) consideram  $8 \text{ kgf.g}^{-1}$ , enquanto Lyon et al. (1985) utilizaram como referência  $7,5 \text{ kgf.g}^{-1}$ .

Vários fatores *antemortem* podem provocar alterações na textura, como espécie, fatores genéticos, idade, estado de nutrição, estresse, entre outros. Já o *rigor mortis*, a estimulação elétrica, a velocidade do resfriamento e o pH são fatores *postmortem* que também irão influenciar na textura da carne de frango (VENTURINI et al., 2007).

A textura dos alimentos é um parâmetro sensorial que possui os atributos primários: maciez, coesividade, viscosidade e elasticidade; secundários como gomosidade, mastigabilidade, suculência, fraturabilidade e adesividade; e residuais como velocidade de quebra, absorção de umidade e sensação de frio na boca (ROÇA, 2000). Entre os fatores que mais contribuem para a textura da carne de frango tem-se a maturidade do tecido conectivo, o qual envolve as ligações cruzadas de colágeno no músculo e o estado contráctil das proteínas miofibrilares,

que é a função primária da severidade do desenvolvimento do *rigor mortis* (FLETCHER, 2002).

Os atributos mais importantes para a textura da carne são a maciez, suculência e mastigabilidade. A maciez é uma das características mais importantes para o consumidor, sendo afetada por uma série de fatores, como idade, sexo, nutrição, exercício, estresse antes do abate, presença de tecido conjuntivo, espessura e comprimento do sarcômero, estimulação elétrica, *rigor mortis*, esfriamento da carcaça, maturação, método e temperatura de cozimento e pH final.

A variação na maciez é um dos problemas em maior destaque em relação a carne de peito de frango. Está relacionado com as alterações bioquímicas ocasionadas pela rápida instalação do *rigor mortis* em aves submetidas a condições de estresse pré-abate. Por exemplo, aves que sofrem estresse antes do abate esgotam mais rápido suas reservas de glicogênio, o que acelera a instalação do *rigor mortis*, tornando a textura em geral mais dura. Atordoamento, tempo e temperatura de escaldamento inadequados, corte dos músculos na fase de pré-rigor podem também resultar em maior dureza da carne de frango (CASTILLO, 2001).

De acordo com Fletcher (2002), a maciez da carne de frango é dependente principalmente da maturidade do tecido conjuntivo (ligações químicas do colágeno que aumentam com a idade do animal) e o estado de contração das proteínas miofibrilares (tempo e severidade do desenvolvimento do *rigor mortis*).

Por meio do tratamento térmico, há alterações do colágeno e das proteínas miofibrilares. Quando aquecido a 45°C, o comprimento do sarcômero não se altera, entre temperaturas de 45-55°C, ocorre um leve aumento do sarcômero, devido ao relaxamento e intumescimento do tecido conjuntivo, mas quando se aumenta a temperatura para valores maiores que 55°C observa-se o contrário, os sarcômeros encurtam, podendo chegar até 25% da estrutura original. A desnaturação das proteínas miofibrilares varia de acordo com a proteína. As proteínas solúveis e a miosina são termolábeis e sua desnaturação começa a 45-50°C, já as proteínas do tecido conjuntivo desnaturam a temperaturas de 60-70°C, dependendo do grau de ligações cruzadas do colágeno (ROÇA, 2000).

Nas carnes PSE há maior atividade proteolítica decorrente da ativação precoce do sistema calpaína provocada pelo excesso de cálcio sarcoplasmático, o que se traduz por maior índice de fragmentação miofibrilar e menor força de cisalhamento (WILHELM et al., 2010).

### 3.4 PSE

Um importante redutor da qualidade da carne de aves é o PSE, sigla que tem como origem as iniciais das palavras inglesas *Pale*, *Soft* e *Exudative*, que significam pálida, flácida e exsudativa (DIRINCK et al., 1996). Carnes PSE caracterizam-se por apresentar um rápido declínio do pH *postmortem*, em geral menor do que 5,8 com temperatura muscular acima de 35°C, após 45 minutos do abate. A queda do pH aliada a alta temperatura leva a desnaturação das proteínas, resultando em uma carne amaciada, sem aderência e descolorida, com propriedades funcionais comprometidas (TAKAHASHI, 2004). Segundo Dransfield e Sosnicki (1999) quando ocorre um aumento de 10°C na temperatura da carcaça durante a queda do pH, há um aumento da desnaturação das proteínas musculares na ordem de 20 vezes.

Esse tipo de alteração na carne foi observado inicialmente em suínos. Ludvigsen (1953) descreveu uma condição degenerativa em suínos que resultava na diminuição da qualidade da carne, pois ela tornava-se pálida, macia e com uma superfície exsudada. Topel et al. (1968) descreveu a Síndrome do Estresse Suíno, condição neuromuscular que resulta em carne PSE. Posteriormente, condição similar foi relatada em aves, na qual o estresse pré-abate resultava em um acelerador do metabolismo tanto de frangos quanto perus, com acúmulo de ácido láctico no músculo *pectoralis major*, imediatamente após o abate para um nível comparável ou até maior que o descrito para PSE em suínos (MA e ADDIS, 1973).

A Síndrome do Estresse Suíno é desencadeado por fatores de estresse ambientais ou fisiológicos que antecedem o abate, como o calor, o transporte, o manejo, a umidade relativa do ambiente, entre outros, os quais podem até mesmo levar a morte dos animais (SIMÕES et al., 2009). Foi identificado também que nestes animais há uma mutação no gene que codifica a proteína rianodina (RYR1), a qual controla a liberação de  $\text{Ca}^{2+}$  pelo retículo sarcoplasmático no processo de excitação/contração muscular no tecido muscular esquelético (MICKELSON e LOUIS, 1996). A mutação provoca alteração na sequência de aminoácidos da proteína o que interfere na homeostase do  $\text{Ca}^{2+}$  e aumenta a velocidade com que a glicólise se processa, aumentando a produção de ácido láctico e conseqüentemente o desenvolvimento de carne PSE (MICKELSON e LOUIS,

1996). Nestes animais, observa-se que ao anestesiá-los com halotano, eles apresentam rigidez dos membros anteriores e posteriores.

Já em aves ainda não foi determinado se há um gene que determina a ocorrência de PSE. Marchi et al. (2009) tentaram correlacionar a incidência de PSE com a sensibilidade ao halotano, característico de animais homozigotos recessivos, que em suínos apresentam PSE. Neste trabalho, das aves fêmeas testadas que foram sensíveis ao halotano, apenas 2,5% apresentaram carne PSE e das negativas, 12,7% eram carnes PSE, demonstrando que frangos da linhagem fêmea mostraram pouquíssima sensibilidade ao halotano, o que indica que a ocorrência de carnes PSE está mais associada a fatores ambientais.

Vários estudos têm sido desenvolvidos para estabelecer as causas que levam a carne PSE, duas direções diferentes são seguidas: uma que tenta estabelecer o papel exercido pela seleção genética e outra que busca determinar os fatores ambientais responsáveis pelas alterações na carne (PETRACCI et al., 2004).

A seleção para crescimento rápido e eficiente conversão alimentar mudaram a fisiologia das aves significativamente (PAVLIDIS et al., 2007). Frangos selecionados desta forma são geralmente mais propensos a desenvolver PSE, embora o mecanismo envolvido no desencadeamento do gene PSE em aves não está totalmente elucidado (CAVITT et al., 2004).

Sandercock et al. (2006) evidenciaram que as linhagens modernas, selecionadas para um rápido crescimento, apresentam maior incidência de miopatia idiopática ou espontânea e aumento da suscetibilidade a miopatia induzida por estresse. Tais enfermidades estão relacionadas a alterações na homeostase do cálcio intracelular e conseqüente alteração na integridade do sarcolema, o que pode resultar em hipertrofia fibromuscular excessiva e inadequado desenvolvimento de tecidos de suporte e fornecimento vascular (MACRAE et al., 2006). Essas miopatias podem ter profundas implicações na qualidade da carne e na incidência de condições específicas, como a carne PSE.

Dentre os fatores ambientais, o estresse pelo calor no momento pré-abate é um dos mais importantes. Petracci et al. (2004) observaram maior incidência de PSE em épocas mais quentes do ano. Durante o verão, os filés de frango apresentaram significativamente maior luminosidade (53,1) em relação com aqueles obtidos durante o outono (52,8) e inverno (51,3). Considerando um valor L \* de corte

de 56, a ocorrência de PSE foi de 15,5, 11,3 e 2,7% no verão, outono e inverno, respectivamente.

Um dos maiores prejuízos acarretados pelo PSE é a alta perda de exsudado, o que torna o produto inadequado para o processamento. Esses prejuízos aumentam com a comercialização de produtos industrializados, pois a ocorrência da carne PSE compromete as propriedades funcionais que são importantes durante a industrialização. Entretanto, seu valor nutricional não é prejudicado e não representa um risco para a saúde do consumidor (SHIMOKOMAKI et al., 2006; KOMIYAMA et al., 2009).

O fenômeno PSE é identificado pela combinação das análises de pH e de cor, mensurados nos músculos do peito, sendo que a cor das carnes é inversamente proporcional ao pH (SWATLAND, 1995). Segundo Anadón (2002), a dispersão de luz de uma superfície muscular é diretamente proporcional à desnaturação protéica que ela apresenta, isto interferirá na aparência física da carne, influenciando a quantidade de luz refletida (LE BIHAN-DUVAL et al, 2003). Segundo Olivo et al. (2001), quanto maior o grau de desnaturação protéica, menos luz será transmitida através das fibras e mais luz acabará dispersa, o que torna a carne pálida. O pH também influencia a CRA da carne, pois o declínio de pH *postmortem* altera a composição celular e extracelular das fibras musculares, resultando em redução de grupos reativos disponíveis para reter água nas proteínas (OFFER e KNIGHT, 1988).

A diminuição do pH em carnes PSE é inicialmente rápida, porém depois a queda torna-se menos acentuada, o que indica a depleção do glicogênio muscular residual. Em filés de peito de frango normais, a queda do pH tende a ser gradual (WILHELM et al., 2010). Músculos que exibem características PSE possuem uma rápida taxa de declínio de pH, o qual é cerca de duas vezes mais rápida que a do músculo normal, sendo que o declínio do pH *postmortem* de músculos PSE é de 1,04 unidades/hora enquanto que músculos normais apresentam declínio do pH de 0,65 unidades/hora (OFFER, 1991).

O valor  $L^*$  é o principal parâmetro determinante da análise da cor em filés de aves. Qiao et al. (2001) observaram em seus estudos que a seleção de filés baseada no valor de  $L^*$  resultou em diferenciação clara e consistente de filés pálidos, normais e escuros com zero e 24 horas *postmortem*. O parâmetro de cor  $L^*$  têm sido usado para classificar as carnes de frango em pálidas ( $L^* > 50,0$ ) e

escuras ( $L^* < 45,0$ ) (ALLEN et al., 1998) ou em pálida ( $L^* > 53$ ), escura ( $L^* < 46$ ) e normal ( $46 < L^* < 53$ ) (QIAO et al., 2001), ou em pálida ( $L^* > 53$ ), normal ( $44 < L^* < 53$ ) e escuras ( $L^* < 44$ ) (SOARES et al., 2002).

Estudos conduzidos por diferentes autores demonstram a ampla variedade de cor encontrada em filés de frango. Por exemplo, Wilkins et al. (2000) analisaram 7538 peitos de frango advindos de 23 granjas, e conseguiram constatar uma ampla variedade de valores de  $L^*$ , que variaram de 45 (escuro) a 67 (claro). Esta grande variação pode ter ocorrido devido a diferenças na produção, como genótipo, alimentação, ambiente, fatores *antemortem* e técnicas de processamento. Mas esta variação pode também ter como fonte diferenças nas condições de amostragem e de medição da cor. Além disso, tanto a espessura da carne (BIANCHI e FLETCHER, 2002), quanto a posição de medição de cor no filé (GOSHAW et al., 2000) podem alterar os valores encontrados de cor, levando a uma classificação e funcionalidade inadequados. Portanto, a cor não pode ser usada como único indicador de PSE, pois pode não exibir uma condição real de PSE (SMITH e NORTHCUTT, 2009).

O pH do músculo tem sido associado com numerosos outros atributos de qualidade da carne incluindo maciez, CRA, perdas por cozimento, suculência e estabilidade microbiana. Allen et al. (1998) mostraram que as variações na cor dos filés de peito de frango podem ocorrer devido ao pH, o que irá afetar a vida útil da carne do peito de frango, o desenvolvimento de odor, a umidade durante a marinação, as perdas de exsudato, a CRA e as perdas por cozimento. Wynveen et al. (1999) observaram que carcaças com baixo pH ( $< 5,70$ ) tiveram maiores perdas por gotejamento que carcaças com pH mediano a alto.

O comprometimento da qualidade da carne provocado pelo PSE leva a diminuição da aceitabilidade de produtos, já que leva a um menor rendimento final, produzido pela liberação de exsudato, o que interfere na padronização durante a industrialização (BARBUT, 1997). A CRA da carne, por sua vez, exerce grande influência na maciez da carne (BRESSAN, 1998), já que na carne PSE a CRA é menor, e quanto menor a quantidade de água no músculo, menor a maciez da carne (ANADÓN, 2002). De acordo com DRANSFIELD e SOSNICKI (1999), a carne PSE possui também menor potencial proteolítico *postmortem*, o que contribui para a diminuição da maciez da carne. Segundo estes autores, o rápido declínio de pH e a alta temperatura da carcaça, inativam o sistema calpaína e reduzem o amaciamento

*postmortem* da carne. Wilhelm et al. (2010) ao analisar amostras de carne PSE e Normal por meio de microscopia eletrônica observou que o sistema calpaína tem início e autólise prematuras na carne PSE, o que influencia negativamente na degradação das proteínas miofibrilares 72h *postmortem*.

De acordo com Barbut (2009), a indústria de processamento da carne suína tem trabalhado extensivamente nas últimas 3 décadas a fim de solucionar o problema da carne PSE. Medidas como redução do estresse, seleção genética e condições de manejo pré-abate tem auxiliado no controle dessa condição. Como ainda não foi determinado um marcador genético para a condição em aves, como foi feito em suínos, métodos mais convencionais como redução do estresse antes do abate são utilizados pelas indústrias para tentar diminuir a ocorrência de tal defeito. Condições de manejo, como forma de apanhar o frango no momento do carregamento, o cuidado com o estresse pelo calor, o transporte, o intervalo de jejum e dieta hídrica e temperaturas ambientais, são itens que devem ser levado em conta para melhorar a qualidade do produto no abatedouro (SANTOS, 2012).

Tem-se estudado também a suplementação de rações a fim de reduzir a incidência e as alterações produzidas. De acordo com Olivo et al. (2001), ao suplementar-se as aves com vitamina E há redução da formação de carnes PSE e aumento da atividade da enzima fosfolipase A2 (SOARES et al., 2003a), o qual pode reduzir a oxidação lipídica em carnes PSE (SOARES et al., 2009b). A vitamina E incorpora-se a membrana plasmática e estabiliza os ácidos graxos insaturados e o colesterol no músculo contra a deterioração oxidativa. (OLIVO et al., 2003).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATÉRIA-PRIMA

Foram utilizados 1045 filés de frangos (*Pectoralis major m.*) de linhagem comercial abatidos com 42 dias de idade em um frigorífico localizado na região oeste do Paraná. Os frangos foram abatidos seguindo as etapas de pendura, insensibilização elétrica, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração e resfriamento em *chiller* por  $1h12 \pm 2min$ . Os filés foram armazenados a 4°C por 24h para as análises de pH e cor.

Para análise das propriedades bioquímicas, enzimáticas e estruturais foram analisados 30 filés de frango de cada grupo: PSE, Pálido e Normal após classificação baseado no pH e L\*. Os filés de frango foram coletados no mesmo frigorífico e armazenados a 4°C por 24h para análises de pH, cor, CRA, perda de peso por cozimento e textura e armazenados a -18°C para as análises de atividade de fosfolipase A2, oxidação lipídica e perfil de ácidos graxos. Para análise histológica, os filés foram cortados 24 horas após o abate e fixados em Bouin.

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Medida de pH

As medidas de pH foram realizadas diretamente no filé com auxílio de potenciômetro de contato Testo 205 24h *postmortem*. O ponto de incisão do eletrodo foi na parte cranial ventral do filé conforme descrito por Boulianne e King (1995).

#### 4.2.2 Medida de Cor

As medidas de cor foram realizadas 24h *postmortem* na face ventral do filé em três pontos diferentes de leitura por amostra. A medida de cor foi realizada utilizando um colorímetro Minolta® CR 400 com iluminante D65 e ângulo de visão de 10°. Os valores de L\* (luminosidade), a\* (componente vermelho-verde) e b\* (componente amarelo-azul) foram expressos no sistema de cor CIELab.

#### 4.2.3 Classificação dos Filés

Os filés de frango foram classificados em três grupos: PSE, Pálidos e Normais baseados nos valores de pH e L\*: filés com valores de pH < 5,80 e de L\* > 53,00 como PSE, filés com pH > 5,80 e L\* > 53,00 como Pálidos e filés com valores de pH > 5,80 e de L\* < 53,00 como Normal.

#### 4.2.4 Capacidade de Retenção de Água (CRA)

A avaliação da CRA foi realizada em duplicata, conforme procedimento descrito por Hamm (1960). Nesta análise, a amostra foi coletada da parte cranial do filé e cortada em cubos de 2,0g ( $\pm 0,10$ ). Em seguida, a amostra foi colocada entre 2 papéis filtro e posteriormente entre 2 placas de acrílico. Este sistema foi colocado sob um peso de 10kg por 5 min. Em seguida, a carne foi pesada novamente. A CRA foi determinada pela porcentagem de água retida por meio da fórmula:

$$CRA = 100 - \frac{(P_{inicial} - P_{final}) \times 100}{(P_{inicial})}$$

Onde:  $P_{inicial}$  e  $P_{final}$  são os pesos inicial e final da carne, respectivamente.

#### 4.2.5 Perda de Peso por Cozimento (PPC)

Para análise de PPC as amostras foram pesadas, acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e, em seguida, cozidas em banho-maria a 80°C até atingirem temperatura interna de 75°C. Após o cozimento, a água exsudada foi desprezada, e as amostras foram resfriadas até a temperatura ambiente e novamente pesadas. O resultado foi expresso em % de água perdida, considerando o peso inicial e final da amostra.

#### 4.2.6 Análise de Força de Cisalhamento

A medida de força de cisalhamento foi realizada nas amostras *in natura* e também nas mesmas amostras da PPC, após o cozimento. Ambas as amostras foram cortadas no sentido das fibras da carne em pedaços de  $1 \times 1 \times 2 \text{ cm}^3$  (altura, largura, comprimento) e foram submetidas ao teste de cisalhamento com lâmina Warner Bratzler, acoplada ao Texturômetro TA-XT2i, no qual as fibras foram cortadas transversalmente, na velocidade de 5mm/seg. Os resultados foram expressos em Newton correspondendo à força máxima necessária para o corte das amostras.

#### 4.2.7 Determinação da Atividade da Fosfolipase A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>)

O extrato enzimático foi preparado a partir de 5,0g de amostra de peito que foram homogeneizadas com 25mL de tampão pH 7,4 contendo 50mM de fosfato, 1mM de EDTA e centrifugados por 15 minutos a 10.000g a 4°C, conforme procedimento descrito por Chen et al. (2010). A determinação da atividade da PLA<sub>2</sub> foi realizada em kit produzido pela Cayman Chemical Company, acompanhada pela hidrólise do arachidonoyl Thio-PC, que é detectada por DTNB (5,5-dithio-bis (2-Nitrobenzoic Acid). A atividade de PLA<sub>2</sub> foi expressa em  $1 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$  de proteína, sendo 1U definido como  $1 \mu\text{mol}$  de arachidonoylThio-PC hidrolisado. $\text{min}^{-1}$  a 25°C. A determinação de proteína foi realizada conforme metodologia descrita por Lowry et al. (1951). A atividade assim determinada correspondeu a PLA<sub>2</sub> total (tPLA<sub>2</sub>), para determinação da PLA<sub>2</sub> citossólica dependente de cálcio (cPLA<sub>2</sub>), antes do procedimento 1mL do extrato enzimático foi incubado por 15 minutos a 25°C com 5 $\mu$ .L de bromoenollactona. A PLA<sub>2</sub> independente de cálcio (iPLA<sub>2</sub>) foi calculada por diferença entre a tPLA<sub>2</sub> e a cPLA<sub>2</sub>.

#### 4.2.8 Medida de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico-TBARS

A oxidação lipídica dos filés de frango foi determinada após 45 dias de armazenamento a -18°C segundo o método de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de acordo com o descrito por Tarladgis; Pearson; Dugan (1964). Assim, 20g de filé de frango foram homogeneizados com 98mL de água

destilada, 2,5mL de ácido clorídrico 4N, 2 gotas de anti-espumante e algumas pérolas de vidro. A solução foi destilada durante 10 minutos e 50mL do destilado foi coletado. A uma alíquota de 5mL do destilado foi adicionado 5mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,02M, após a homogeneização, foi colocado em banho-maria fervente, durante 35 minutos. Foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 530nm da amostra já em temperatura ambiente. Foi feita uma curva padrão utilizando solução de 1,1,3,3-tetraetoxipropano em água destilada e fervida, nas concentrações de 0,7 a 2,0M. Os resultados foram expressos em mg de TBARS.kg<sup>-1</sup> de amostra.

#### 4.2.9 Perfil de Ácidos Graxos

Para a realização da extração dos lipídios foi feita a metodologia de Bligh e Dyer (1959). A uma quantidade de 40g de filé de frango triturado foi adicionado 120mL de clorofórmio e metanol (2:1 v/v), esta foi mantida em agitação durante uma hora. Em seguida, adicionou-se 40mL de clorofórmio e 40mL de água destilada, submetendo a amostra a nova agitação por 20 minutos. O homogenato foi filtrado em funil de buchner com papel filtro, sob vácuo. O filtrado foi transferido para um funil de separação e acrescentado solução aquosa de NaCl 0,9%, equivalente a 1/5 do volume filtrado. Após a separação de fases, recolheu-se a fase contendo clorofórmio e a matéria graxa total em um balão volumétrico de fundo chato, para que o solvente fosse evaporado em um rotavapor com temperatura controlada de 33-34°C.

A hidrólise e transesterificação dos ácidos graxos seguiu o método 5509 da ISO (1978). Em 200mg da matéria graxa adicionou-se 2mL de n-heptano e feita uma rigorosa agitação até completa solubilização dos lipídios. Em seguida, adicionou-se 2mL de solução de NaOH/metanol 2M e novamente submetido a agitação. A solução permaneceu em repouso até completa separação das fases. A fase superior, contendo n-heptano e ésteres metílicos de ácidos graxos, foi extraída com auxílio de um pipetador automático e transferida para um vial âmbar e armazenado a -18°C até o momento da análise.

Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram analisados utilizando cromatógrafo Shimadzu modelo 17A Gas Chromatograph, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar (100m x 0,25 mm) com 0,25µm de

cianopropilpolisiloxano CP SII 88. A rampa de temperatura da coluna foi programada para: 65°C por 15 minutos; 10°C.min<sup>-1</sup> até 165°C e mantido por 2 minutos; 4°C.min<sup>-1</sup> até 185°C e mantido por 8 minutos; 4°C.min<sup>-1</sup> até 235°C e mantido por 5 minutos. O detector e o injetor foram mantidos a 260°C, foi utilizado Split de 1/100. O fluxo de gases foi de 1,2 mL .min<sup>-1</sup> para o gás de arraste (H<sub>2</sub>), 30 mL.min<sup>-1</sup> para o gás auxiliar (N<sub>2</sub>), 30 e 300 mL. min<sup>-1</sup> para os gases da chama, H<sub>2</sub> e ar sintético, respectivamente. A identificação dos ácidos graxos foi baseada em padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos (Sigma). A área dos picos foi determinada por integrador acoplado ao cromatógrafo gasoso. Os resultados foram expressos como percentagens relativas dos ácidos graxos identificados.

#### 4.2.10 Microscopia Óptica

As amostras de filé de frangos foram coletadas após a classificação e cortadas transversalmente e fixadas em mistura de Bouin, consistindo de 75 mL de solução aquosa de ácido pícrico saturado, 25 mL de formaldeído 40% e 5mL de ácido acético glacial (BEÇAK e PAULETE, 1976) durante 18h. Posteriormente, as amostras foram desidratadas em uma série de etanol com concentrações crescentes, diafanizadas em xilol, incluídas em parafina e cortadas em micrótomo com espessura de 5µm. Os cortes foram submetidos à técnica de coloração Hematoxilina e Eosina (HE) (LILLIE, 1954) e avaliados quanto à morfologia geral do tecido e presença de lesões (edema, inflamação, ondulação, fibrose, degeneração e necrose), sendo avaliadas 10 lâminas em aumento de 40x, correspondente a 10 animais de cada grupo. O grau de encolhimento das células foi analisado através da mensuração do menor diâmetro das células conforme DUBOWITZ e BROOKE (1973), utilizando o programa MOTIC Image Plus 2.0 ML<sup>®</sup> (MOTIC Image Plus MoticInstruments Richmond, Canada), para isso foram mensurados 30 células aleatórias de cada lâmina no aumento de 40x, totalizando 300 células por grupo de filés.

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram analisados utilizando o programa STATISTICA versão 10.0 *for Windows*. O teste de médias Tukey a 5% de probabilidade foi aplicado para comparação dos resultados obtidos entre os filés de frango classificados como PSE, Pálidos e Normal. Para comparação das frequências das lesões observadas por microscopia ótica entre as amostras PSE, Pálido e Normal foi aplicado o teste de Fisher a 5% de probabilidade utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS) 9.1.3.

## REFERÊNCIAS

- ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; GERRARD, D.E.; MILLS, E.W. **Principles of meat science**. 4<sup>ª</sup> ed. Londres: Kendal/Hunt, 2001. 354p.
- AGROSTAT/MAPA. **Números da pecuária paranaense**. 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/nppr.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2012.
- ALLEN, C. D.; FLETCHER, D.L., NORTHCUTT J.K., RUSSELL, S.M. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf life. **Poultry Science**, Savoy, v. 77, n. 2, p. 361-366, 1998.
- ANADÓN H.L.S. **Biological, nutritional and processing factors affecting breast meat quality of broilers**. 2002. Tese (Doutorado). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO -ABEF. **Relatório anual 2007/2008**. Disponível em: <[www.abef.com.br](http://www.abef.com.br)>. Acesso em 09 jul. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO -ABEF. **Relatório anual 2010/2011**. Disponível em: <[www.abef.com.br](http://www.abef.com.br)>. Acesso em 09 jul. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO -ABEF. **Relatório anual 2013**. Disponível em: <[www.abef.com.br](http://www.abef.com.br)>. Acesso em 09 jan. 2014.
- BARBOSA, S. B. P. **Zootecnia: a ciência do novo século**. 2008. Disponível em: <[http://www.ufrpe.br/artigo\\_ver.php?idConteudo=1257](http://www.ufrpe.br/artigo_ver.php?idConteudo=1257)>. Acesso em: 10 jul. 2012.
- BARBUT, S. Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. **Journal of Muscle Foods**, v. 9, n. 1, p.35-49, jan. 1998.
- BARBUT, S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. **British Poultry Science**, v.38, p.355-358, 1997.
- BARBUT, S. Pale, soft, and exudative poultry meat—Reviewing ways to manage at the processing plant. **Poultry Science**, v. 88, p.1506-1512, 2009.
- BEÇAK, W., PAULETE, J. **Técnicas de citologia e histologia**. Vol. 1 e 2. Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A, 1976, 574 p.
- BERRI, C., N. WACRENIER, N. MILLET, LE BIHAN - DUVAL, E. Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. **Poultry Science**, v. 80, n. 7, p.833-838, jul. 2001.

- BIANCHI, M., PETRACCI, M., CAVANI, C. The influence of genotype, market live weight, transportation and holding conditions prior to slaughter on broiler breast meat color. **Poultry Science**, v. 85, n.1, p.123-128, jan. 2006.
- BIANCHI, M., FLETCHER, D. L. Effects of broiler breast meat thickness and background on color measurements. *Poultry Science*, v.81, p.1766-1769, 2007.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal of Biochemistry Physiology**, v.31, p.911-917, 1959.
- BOULIANNE, M.; KING, J.A. Biochemical and color characteristics of skinless boneless pale chicken breast. **Poultry Science**, v.74, p.1693-1698, 1995.
- BRESSAN, M. C. **Efeito dos fatores pré e pós-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango**. 1998. 201p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.
- CASTILLO, C.J.C. Qualidade de carcaça e carne de aves. **Congresso brasileiro de ciência e tecnologia de carnes**, 2001, São Pedro. Anais... São Pedro: ITAL, p.79 - 99. 2001.
- CAVITT, L.C., HARGIS, B.M., OWENS, C.M. The use of halothane and succinylcholine to identify broilers prone to developing pale, soft, exudate meat. **Poultry Science**, v. 83, n. 8, p.1440-1444, 2004.
- CHEN, T.; ZHOU, G.X.; XU, X.L.; ZHAO, G.M.; LI, C.B. Phospholipase A2 and antioxidant enzyme activities in normal and PSE pork. **Meat Science**, v. 84, p. 143-146, 2010.
- CULLER, R. D., PARRISH, F. C., Jr., SMITH, G. C., CROSS, H. R. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical, and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science**, v.43, p.1177-1180, 1978.
- DAUNCEY, M.J.; GILMOUR, R.S. Regulatory factors in the control of muscle development. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.55, p. 543-559, 1996.
- DIRINCK, P. et al. Studies on vitamin E and meat quality. Effect of feeding high vitamin E levels on time-related pork quality. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v. 44, p. 65-68, 1996.
- DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. A. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 743-746, 1999.
- DUBOWITZ, V., BROOKE, M. 1984. **Muscle biopsy: a modern approach**. London:W.B. Saunders Company Ltda. 472p
- FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. L.; DAMODARAN, S. **Química de alimentos**. Edição 4, editora Artemed, 2010.
- FLETCHER, D.L. Poultry meat Quality. **World's Poultry Science Journal**, v.58, n. 2, p. 131-145, 2002.

- GAYA, L.G; FERRAZ, J.B.S. Aspectos genético-quantitativos da qualidade da carne em frangos. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 36, n. 1, p.349-356, jan-fev, 2006.
- GOSHAW, D. R., MARQUETTE, L. P., BUTTLES, T. J, WALTERS, B. S. Broiler breast meat color evaluation. **World's Poultry Science Association**, Montreal, Canada. 2000.
- GRASHORN, M.A. Research into poultry meat Quality. **British Poultry Science**, v. 51, suplemento, p. 60-67, 2010.
- GUIMARÃES, J.L.; ADELL, E.A.A. estrutura e bioquímica do músculo. **Apostila do Laboratório de Carnes**. DTA-FEA-UNICAMP Junho de 1995.
- HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, v.10, p.335-362, 1960.
- HONIKEL, K.O.; FISCHER, C.A.A rapid method for the detection of PSE and DFD porcine muscle. *Journal of food Science*, v. 42, n. 7, p. 1633-1636, 1977.
- HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of post mortem biochemical and structural changes. **Meat Science**, v.71, n.1, p. 194-204, 2005.
- JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**, 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 488p.
- KAUFFMAN, R.G.; MARSH, B.B. **Quality characteristics of muscle as a food. The science of meat and meat products**. Connecticut: Food & nutrition Press. 1987.
- KOMIYAMA, CM. **Caracterização e ocorrência de carne pálida em frangos de corte e seu efeito na elaboração de produtos industrializados**. 2006. 83p. dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.
- LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. Porto Alegre: Artmed Editora. 2005. 384p.
- LAWSON, M.A. The role of integrin degradation in postmortem drip loss in pork. **Meat Science**, Barking, Inglaterra, v.68,p.559-566, 2004.
- LE BIHAN-DUVAL, E., DEBUT, M., BERRI, C.M., SELLIER, N., SANTÉ-LHOUELLE, V., JÉGO, Y., BEAUMONT, C. Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. **BMC Genet.**, v. 9, n.53, 2008.
- LE BIHAN-DUVAL, E., BERRI, C., BAÉZA, E., SANTÉ, V., ASTRUC, T., RÉMIGNON, H., LE POTTIER, G., BENTLEY, J., BEAUMONT, C., FERNANDEZ, X. Genetic parameters of meat technological quality traits in a grand-parental commercial line of turkey. **Genetics Selection Evolution**, v. 35, n. 6, p. 623-635, nov-dez. 2003.

LE BIHAN-DUVAL, E; MILLET, N.; REMIGNON, H. Broiler meat quality: effect of selection for increased carcass quality and estimates of genetic parameters. **Poultry Science**, Ithaca, v. 78, p. 822 - 826, 1999.

LESIÓW, T.; KIJOWSKI, J. Impact of PSE and DFD meat on poultry processing - A review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, Olsztyn, v.12, n. 53, p.3-8, 2003.

LILLIE, R.D. 1954. **Histopatologic Technic and Practical Histochemistry**. New York, Blakiston Company, 501 p.

LOWRY, O. H. et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v. 19, p. 265-275, 1951.

LUDVIGSEN, J. Muscular degeneration in hogs (preliminary report). **International Veterinary Congress Proceedings** v. 1, p.602-606, 1953.

LYON, C.E.; HAMM, D.E.; THOMPSON, J.E. pH and tenderness of broiler breast meat deboned various times after chilling. **Poultry Science**, v. 64, n. 2, p. 307-310, 1985.

MA, R.T.I., ADDIS, P.B. The association of struggle during exsanguinations to glycolysis, protein solubility and shear in turkey pectoralis muscle. **Journal Food Science**, v. 38, p.995-997, 1973.

MACDOUGALL, D.B. Colour meat - its basis and importance. In Pearson, A.M.; DUTSON. T.R. (Org.). Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish product. **Advances in meat research series**, Black Academic and Professional, v.9, p.34-78, 1994.

MACRAE, V. E., MAHON, M., GILPIN, S., SANDERCOCK, D. A., MITCHELL, M. A. Skeletal muscle fibre growth and growth associated myopathy in the domestic chicken (*Gallus domesticus*). Br. **Poultry Science**, v. 47, p.264-272, 2006.

MARCHI, D.F.; TRINDADE, M.A.; OBA, A.; SOARES, A.L.; IDA, E.I.; FERRAZ, J.B.S, MICHELAN, T.; ZIOBER, I.L. SHIMOKOMAKI, M. Sensitivity to Halothane and its Relationship to the Development of PSE (Pale, Soft, Exudative) Meat in Female Lineage Broilers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, número especial, p. 219-223, 2009.

MCKEE, S.R.; SAMS, A.R. Rigor mortis development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics. **Poultry Science**, v.77, p.169 - 174, 1998.

MEDICALLOOK. **Skeletal muscle fiber**. Disponível em:  
<[http://www.medicallook.com/human\\_anatomy/organs/Skeletal\\_muscle\\_fiber.html](http://www.medicallook.com/human_anatomy/organs/Skeletal_muscle_fiber.html)>. Acesso em: 10 jul. 2012.

MENDES, A. A.; MACARI, M. **Produção de Frangos de Corte**. Campinas, SP: FACTA, 2004.

- MICKELSON, J. R.; LOUIS, C. F. Malignant hyperthermia: excitation-contraction coupling, Ca<sup>2+</sup> regulation defects. **Physiological Review**, Baltimore, v. 76, n. 2, p. 537-592, 1996.
- OFFER, G., KNIGHT, P. The structural basis of water-holding capacity in meat. Part 1: general principles and water uptake in meat processing. In R. Lawrie (Ed.). **Developments in meat science** (Vol. 4, pp. 61-171). New York: Elsevier Applied Science, 1988.
- OFFER G. Modeling of the formation of pale, soft and exudative meat: effects on chilling regime and rate and extent of glycolysis. **Meat Science**, Barking, v. 30, p. 157-184, 1991.
- OLIVO, R.; GUARNIERI, P.D.; SHIMOKOMAKI, M. **Revista Nacional da Carne**, v.25, n. 289, p.44-49, 2001.
- OLIVO, R. Fatores que influenciam as características das matérias-primas cárneas e suas implicações tecnológicas. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, n.307, p.72 - 83, 2002.
- OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Carne PSE. In: SHIMOKOMAKI, M. et.al. **Atualidades em Ciência e Tecnologia de carnes**. São Paulo, SP: Varela, 2006, p. 85-103.
- OLIVO, R., SOARES, A. L., IDA, E. I., SHIMOKOMAKI, M. Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improves meat functional properties. **Journal of Food Biochemistry**, v. 25, p. 271-283, 2003.
- ORDÓÑEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, M.I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.; CORTECERO, M.D.S. **Alimentos de origem animal**. Porto Alegre -RS: Artmed, v.2, 2005, 279 p.
- PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R. et al. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia, GO: CECRAF-UFG, 1995. 586p.
- PAVLIDIS, H.O., BALOG, J.M., STAMPS, L.K., HUGHES Jr, J.D., HUFF, W.E., ANTHONY, N.B. Divergent selection for ascites incidence in chickens. **Poultry Science**, v. 86, p.2517-2529, 2007.
- PEARSON, A. M.; YOUNG, R. B. **Muscle and meat biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 457 p.
- PEARSON, A.M.; GILLET, T.A. **Processed meats**. New York: Chapman e Hall, 1996.
- PETRACCI, M., BIANCHI, M., BETTI, M., CAVANI, C. Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. **Poultry Science**, v. 83, n. 12, p. 2086-2092, dez. 2004.
- PRATES, J.M.M. Maturação da carne de amíferos: 1. Caracterização geral e modificações físicas. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. XCV, n. 533, p. 34-41, 2000.

- PRAXEDES, C.I.S. **Exsudação de gel no cozimento em carne de peito de frango normal, "PSE" E "DFD"**. 2007. 58p. Dissertação (Mestrado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal). UFF - Niterói.
- QIAO, M.; FLETCHER, D.L.; SMITH, D.P.; NORTHCUTT, J.K. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. **Poultry Science**, Champaign, v.80, n.5, p.676-680, 2001.
- RANKEN, M.D. **Handbook of meat product technology**. Oxford: Blackwell Science, 212p. 2000.
- RAWN, J. D. **Biochemistry**. Burlington, Neil Patterson Publishers, 1989. 1105p.
- ROÇA, O.R. **Estrutura dos músculos e tecidos anexos**. Botucatu, 2004. Disponível em: <<http://pucrs.campus2.br/~thompson/Roca101.pdf>>. Acesso em: 10 jul.2012.
- ROÇA, O. R. **Propriedades da carne**. Botucatu, 2000. Disponível em:<<http://pucrs.campus2.br/~thompson/TPOACarne/Roca107.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2012.
- ROSA, P. S.; MARCOLIN, S. D.; WESSHEIMEIR, A. Pontos críticos do manejo pré-abate em frangos de corte. **Jornal Nossa Terra**, Marechal Cândido Rondon, p. 22-22, 2002.
- ROQUE-SPECHT, V.F.; SIMONI, V.; PARISE, N.; CARDOSO, P.G. Avaliação da capacidade de retenção de água em peitos de frango em função do pH final. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, n.1-4, p.77-81, 2009.
- SAMS, A.R.; MILLS, K.A. The effect of feed withdrawal duration on the responsiveness of broiler pectoralis to rigor mortis acceleration. **Poultry Science**, v.72, n.9, p.1789-1796, 1993.
- SAMS, A.R. First processing: slaughter through chilling. In: SAMS, A.R. **Poultry meat processing**. Boca Raton: CRC Press, p.19-34, 2001.
- SANDERCOCK, D. A., HUNTER, R. R., MITCHELL, M. A., HOCKING, P. M. Thermoregulatory capacity and muscle membrane integrity are compromised in broilers compared with layers at the same age or body weight. **British Poultry Science**, v.47, p. 322-329, 2006.
- SAWAI, H.; KIM, H.L.; KUNO, K.; SUZUKI, S.;GOTOH, H.;TAKADA, M.; TAKAHATA, N.;SATA, Y.; AKISHINONOMIYA, F. The Origin and Genetic Variation of Domestic Chickens with Special Reference to Junglefowls *Gallus g. gallus* and *G. varius*. **PLoS ONE**, v. 5, n. 5, 2010.
- SANTOS, J.M.G, MULLER, A.T., PASCHOAL, A.C. Impacto do manejo pré-abate na qualidade de carne de frango. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n.1, p. 61-80, jan./abr. 2012

SANTOS, C.C. **Mecanismos adaptativos em frangos submetidos a estresse térmico agudo pré-abate e suas implicações na funcionalidade proteica muscular**. 2007. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). ESALQ. Piracicaba.

SCHEUERMANN, G.N. Alteração na quantidade e qualidade da carne de aves através da manipulação das fibras musculares. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, Santos, 2004. **Anais...** Campinas: FACTA, 2004. v. 2, p.165-178.

SCHNEIDER, J. P. et al. Carne DFD em Frangos. In: SHIMOKOMAKI, M. et al. **Atualidades em Ciência e Tecnologia de carnes**. São Paulo, SP: Varela, 2006. p. 105-113.

SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R.; TERRA, N.N.; FRANCO, B.D.G.M.A. **Atualidades em Ciência e Tecnologia de Carnes**. 1<sup>ª</sup>ed., São Paulo: Varela, 2006, 236p.

SHIMOKOMAKI, M. Característica de qualidade da carne de aves. **Avicultura Industrial**, Ano. 95, v.1126, n. 8, p. 26-28, 2004.

SIMPSON, M.D.; GOODWIN, T.L. Comparison between shear values and taste panel scores for predicting tenderness of broilers. **Poultry Science**, Ithaca, v.53, p.2042-2046, 1974.

SIMÕES, G.S.; OBA, A.; MATSUO, T.; ROSSA, A.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E.I. Vehicle thermal microclimate evaluation during brazilian summer broiler transport and the occurrence of PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, n. 52, p. 195-204, 2009.

SOARES, A. L., LARA, J. A. F.; IDA, E. I., GUARNIERI, P. D., OLIVO, R., SHIMOKOMAKI, M. Influence of preslaughter handling practices on broiler meat color in a commercial plant. Proc. **IFT Annual Meeting**, p.201, Chicago, 2003a.

SOARES, A.L., MARCHI, D.F., MATSUSHITA, M., GUARNIERI, P.D., DROVAL, A., IDA, E.I. Lipid oxidation and changes in fatty acids profile related to broiler breast meat colour abnormalities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 52, 2009a.

SOARES, A.L.; MARCHI, D.F., MATSUSHITA, M.; GUARNIERI, P.D.; DROVAL, A.A.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Lipid Oxidation and Fatty Acid Profile Related to Broiler Breast Meat Color Abnormalities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.52 n.6: p. 1513-1518, 2009b.

SOARES, A. L., IDA, E. I., MYIAMOTO, S., HERNÁNDEZ-BLAZQUEZ, F. J., OLIVO, R., PINHEIRO, J. W. Phospholipase A2 activity in poultry PSE, pale, soft, exudative, meat. **Journal of Food Biochemistry**, v. 27, n.4, p. 309-320, 2003b.

SOARES, A.L.; LARA, J.A.F.; IDA, E.I.; GUARNIERI, P.D.; OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Variation in the color of Brazilian broiler breast fillet. Proceedings of International **Congress of Meat Science and Technology**, Roma, v.48, p.540 - 541, 2002.

SOUZA, H. B. A. **Parâmetros Físicos e sensoriais utilizados para Avaliação de Qualidade da Carne de Frango.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE AVES E SUÍNOS, 5, 2006, Florianópolis. Florianópolis: AVEWORLD, 2006.

SMITH, D.P.; NORTH CUTT, J.K. Pale poultry muscle syndrome. **Poultry Science**, v. 88, p.1493-1496, 2009.

STATSOFT. **STATISTICA for Windows** (Computer program manual). Tulsa: StatSoft, 1995.

SWATLAND HJ. **On line evaluation of meat.** Lancaster: technomic, 1995. 343p.

TAKAHASHI, S. E. **Carnes PSE em Frangos de Corte.** Botucatu, SP: FMVZ/UNESP, 2004, p. 7.

TARLADGIS, B. G.; PEARSON, A. M. ; DUGAN, L. R. Jr. Chemistry of the 2-thiobarbituric test for determination of oxidative rancidity in foods ii. Formation of the tba-malonaldehyde complex without acid-heat treatment. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.5, p. 602-604, 1964.

TINOCO, IFF. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 01-26, 2001.

TOPEL, D.G., BICKNELL, E.J., PRESTON, K. S., CHRISTIAN, L. L., MATSHUSHIMA, C.Y. Porcine stress syndrome. **Mod. Vet. Pract**, v. 49, p. 40-60, 1968.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Protocolo de bem-estar para frangos e perus.** 2008. 23 p. Disponível em: <[http://www.avisite.com.br/legislacao/anexos/protocolo\\_de\\_bem\\_estar\\_para\\_frangos\\_e\\_perus.pdf](http://www.avisite.com.br/legislacao/anexos/protocolo_de_bem_estar_para_frangos_e_perus.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2012.

VALSECHI, O. A. **Noções básicas de tecnologia de carnes.** Araras: UFSCAR, 2000.

VAN LAACK RLJM, LIU CH, SMITH MO, LOVEDAY HD. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. **Poultry Science**, v. 79, n. 7, p. 1057-1061, 2000.

VANDERSTOEP, J., RICHARDS, J. F. Post mortem, glycolytic and physical changes in turkey breast muscle. **Can. Inst. FoodSci. Technol. J.** , v. 7, p.120-125, 1974.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características da carne de frango.** Espírito Santo: UFES, p. 7. 2007.

VIEIRA, S. L. Conceitos atuais de qualidade em produtos de frango: Efeito da nutrição inicial. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA, PROCESSAMENTO E QUALIDADE DA CARNE DE AVES, 1999, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa, 1999, p. 60-68.

WANOUS , M.P.; OLSON, D.G.; KRAFT, A.A. Pallet location and freezing rate effects on the oxidation of lipids and myoglobin in commercial fresh pork sausage. **Journal of Food Science**, v.54, n.3, p.549-552, 1989.

WEST, B.; ZHOU, B.X. Did chickens go north? New evidence for domestication. **Journal of Archeological Science**, v.15, p.515-533, 1988.

WILHELM, A.E.; MAGANHINI, M.B.; HERNÁNDEZ-BLAZQUEZ, F.J.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exsudative) meat. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1201-1204, 2010.

WILKINS, L.J.; BROWN, S.N.; PHILLIPS, A.J.; WARRISS, P.D. Variation in the colour of broiler breast fillets in the UK. **British Poultry Science**, Edinburgh, v.41, n.3, p.308-312, 2000.

WYNVEEN, E. J., BOWBER, B. C., GRANT, A. L., DEMOS, B. P., GERRARD, D. E. Effects of muscle pH and chilling on development of PSE-like turkey breast meat. **British Poultry Science**, v. 40, p.253-256. 1999.

ZHANG, L., BARBUT, S. Effects of Regular and Modified Starches on Cooked Pale, Soft, and Exudative; Normal; and Dry, Firm, and Dark Breast Meat Batters L. **Poultry Science**, v. 84, n. 5, p. 789-796, 2005.

ZHUANG, H.; SAVAGE, E.M. Comparisons of sensory descriptive flavor and texture profiles of cooked broiler breast fillets categorized by raw meat color lightness values. **Poultry Science**, v. 89, p. 1049-1055, 2010.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ARTIGO CIENTÍFICO

#### **Avaliação Bioquímica e Estrutural de Filés de Frango PSE (*Pale, Soft, Exudative*) e Análogo ao PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*)**

#### **Biochemical and structural evaluation of PSE (*Pale, Soft, Exudative*) and PFN-like (*Pale, Firm, Non-exudative*) broiler breast meat**

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar as características bioquímicas, enzimáticas e estruturais de filés de frango PSE e Pálidos. Filés de frangos (n=1045) de uma linha comercial de abate foram classificados de acordo com o pH e o valor de L\* em: PSE (pH < 5,8, L\* > 53,0), Pálidos (pH > 5,8 e L\* > 53,0), Normal (pH > 5,8 e L\* < 53,0). Um total de 30 amostras de cada grupo foram analisados quanto a capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento *in natura* e cozida, oxidação lipídica (TBARS), atividade de fosfolipase A2 (PLA<sub>2</sub>) e perfil de ácidos graxos. O diâmetro das fibras e a frequência de lesões foram avaliados por microscopia ótica. Os valores de pH variaram entre 5,61 a 6,38, e os valores de L\* variaram entre 48,67 a 67,53. Obteve-se uma incidência de 9,1% de filés PSE, 85,7% de filés Pálidos e 5,2% de filés Normais. Os filés PSE apresentaram valores de CRA menores (P < 0,05) seguidos pelos filés Pálidos e pelos Normais. A força de cisalhamento *in natura* dos filés PSE foi menor (P < 0,05) quando comparada aos filés Pálidos e Normais. A PPC, força de cisalhamento da amostra cozida e atividade de PLA<sub>2</sub> não diferiram significativamente entre os três tipos de carne. As amostras PSE e Pálidas apresentaram-se 48% mais oxidadas que as Normais (P < 0,05). Os ácidos graxos araquidônico, palmitoléico e adrênico foram diferentes entre os três grupos de filés. O diâmetro das células foram 10% menor para carnes PSE quando comparadas com as Pálidas e Normais. A frequência relativa de edema foi maior (P < 0,08) nos filés PSE e Pálido. Estes resultados sugerem que filés Pálidos sejam classificados como análogos a PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*).

**Palavras-chave:** Fosfolipase A<sub>2</sub>. Capacidade de retenção de água. Oxidação. Microscopia ótica

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate biochemical, enzymatic and structural characteristics of PSE and Pale breast meat. Breast meat fillet (n=1045) of commercial line were classified into PSE (pH < 5.8, L\* > 53.0), Pale (pH > 5.8 and L\* > 53.0) and Normal (pH >5.8 and L\* < 53.0), based on pH values and L\* values. A total of 30 samples of each group were analyzed for the water holding capacity (WHC), cooking loss (CL), shear force of *in natura* and cooked samples, lipid oxidation (TBARS), phospholipase A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>) activity, fatty acid profile. Cell diameter and injuries frequency were evaluated for light microscopy. The pH values ranged from 5.61 to 6.38 and L\* values ranged from 48.67 to a 67.53. The incidence was 9.1% for PSE meat, 85.7% for Pale meat and 5.2% for Normal meat. The PSE meat presented lower values of WHC (P < 0.05) followed by Pale fillets and Normal samples. The shear force of PSE meat *in natura* was lower (P < 0.05) than Pale and Normal samples. CL, shear force of cooked samples and PLA<sub>2</sub> activity did not differ significantly among the three types of meat. The PSE and Pale samples presented 48% more oxidation than Normal samples (P < 0.05). The fatty acid arachidonic, palmitoleic and adhrenic were different among three groups. The cell diameter was 10% lower in PSE meat when compared to Pale and Normal meat. The frequency of edema was higher (P < 0,08) in PSE and Pale fillets. These results suggested that Pales meat were classified as PFN-like (*Pale, Firm, Non-exudative*).

**Keywords:** Phospholipase A<sub>2</sub>. Water holding capacity. Oxidation. Light microscopy

## Introdução

A cor é um importante atributo de qualidade das carnes de frango e influencia diretamente na decisão de compra pelos consumidores (DROVAL et al., 2012). Uma ampla variação de coloração de filés tem sido encontrada (WILKINS, 2000, SOARES, 2002; PETRACCI et al., 2004; BIANCHI et al., 2006). Frequentemente, as alterações de cor, principalmente da palidez, determinada pelo valor de luminosidade (L\*), tem sido relacionada com a capacidade de retenção de água da carne, sendo que quanto menor a quantidade de água no interior da fibra, menos luz é transmitida, tornando a carne mais pálida (SWATLAND, 2008). Assim, o valor de L\* tem sido utilizado para classificar as carnes de frango em PSE (*Pale, Soft, Exudative*) e DFD (*Dark, Firm, Dry*) (ALLEN et al., 1998; QIAO et al., 2001; SOARES et al., 2002; PETRACCI et al., 2004), mas as classes intermediárias ainda não foram definidas, como em suínos.

A carne suína é classificada em cinco categorias: PSE (*Pale, Soft, Exudative*), RFN (*Red, Firm, Non-exudative*), RSE (*Red, Soft, Exudative*), PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*) e DFD (*Dark, Firm, Dry*) (CASSENS, et al., 1992; VAN LAACK et al., 1994) segundo os parâmetros de cor

(L\*) e a capacidade de retenção de água. De acordo com Van Laack (1994), a luminosidade não pode ser utilizada como único parâmetro para determinação da qualidade de carne, pois nem sempre a carne pálida apresenta maior exsudação, como o caso da carne PFN que é pálida, com  $L^* > 58,0$ , mas apresenta exsudação inferior a 5%, diferindo da carne PSE que também é pálida ( $L^* > 58,0$ ), mas apresenta exsudação superior a 5%. A maior exsudação da carne PSE é consequência da rápida glicólise *postmortem* que leva a um abaixamento do pH enquanto a carcaça ainda está quente promovendo a desnaturação da proteínas da carne (WARRIS e BROWN, 1987; DRANSFIELD e SOSNICKI, 1999).

O objetivo do trabalho foi avaliar as características bioquímicas, enzimáticas e estruturais de filés de frango PSE e Pálidos com pH normal.

## Material e Métodos

### Experimento 1: Incidência de filés PSE e pálidos

#### Matéria-prima

Foram utilizados 1045 filés de frangos (*Pectoralis major m.*) de linhagem comercial abatidos com 42 dias de idade em um frigorífico localizado na região oeste do Paraná. O processo de abate incluiu as etapas de pendura, insensibilização elétrica, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração e resfriamento em *chiller* por  $1h12 \pm 2min$ . Os filés foram armazenados a  $4^{\circ}C$  por 24h para as análises de pH e cor.

#### Medidas de pH e cor

As medidas de pH foram realizadas em triplicata diretamente no filé com auxílio de potenciômetro de contato Testo 205 (BOULIANNE e KING, 1995).

As medidas de cor foram realizadas na face ventral do filé em três pontos diferentes de leitura por amostra, utilizando colorímetro Minolta® CR 400 com iluminante D65 e ângulo de visão de  $10^{\circ}$ . Os valores de  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (componente vermelho-verde) e  $b^*$  (componente amarelo-azul) foram expressos no sistema de cor CIELab.

## Classificação dos filés

Os filés de frango foram classificados em três grupos: PSE, Pálidos e Normal baseados nos valores de pH e L\*: filés com valores de pH < 5,80 e de L\* > 53,00 como PSE, filés com pH > 5,80 e L\* > 53,00 como Pálido e filés com valores de pH > 5,80 e de L\* < 53,00 como Normal.

## Experimento 2: Alterações bioquímicas, enzimáticas e estruturais dos filés

### Matéria-prima

Foram analisados 30 filés de frango de cada grupo: PSE (pH < 5,80 e L\* > 53,00), Pálido (pH > 5,80 e L\* > 53,00) e Normal (pH > 5,80 e L\* < 53,00).

### Capacidade de retenção de água (CRA)

A avaliação da CRA foi realizada 24h *postmortem* em duplicata, conforme procedimento descrito por Hamm (1960).

### Perda de peso por cozimento (PPC)

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e, em seguida, cozidas em banho-maria a 80°C até atingirem temperatura interna de 75°C. Após o cozimento, a água exsudada foi desprezada e as amostras foram resfriadas até a temperatura ambiente. O resultado foi expresso em percentagem de água perdida, considerando o peso inicial e final da amostra.

### Força de cisalhamento

A medida de força de cisalhamento foi realizada nas amostras cruas e nas mesmas amostras da PPC. Ambas foram cortadas no sentido das fibras da carne em pedaços de 1x1x2cm<sup>3</sup> (altura, largura, comprimento) e submetidas ao teste de cisalhamento com lâmina Warner Bratzler, velocidade de 5mm/seg, acoplada ao

Texturômetro TA-XT2i. Os resultados foram expressos em Newton correspondente à força máxima necessária para o corte das amostras no sentido transversal às fibras.

#### Determinação da atividade da fosfolipase A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>)

O extrato enzimático foi preparado a partir de 5,0g de amostra de peito que foram homogeneizadas com 25mL de tampão pH 7,4 contendo 50mM de fosfato, 1mM de EDTA e centrifugados por 15 minutos a 10.000g a 4°C, conforme procedimento descrito por Chen et al. (2010). A determinação da atividade da PLA<sub>2</sub> foi realizada em kit produzido pela Cayman Chemical Company, acompanhada pela hidrólise do arachidonoyl Thio-PC, que é detectada por DTNB (5,5-dithio-bis (2-Nitrobenzoic Acid). A atividade de PLA<sub>2</sub> foi expressa em 1 U.mg<sup>-1</sup> de proteína, sendo 1U definido como 1µmol de arachidonoyl Thio-PC hidrolisado.min<sup>-1</sup> a 25°C. A determinação de proteína foi realizada conforme metodologia descrita por Lowry et al. (1951). A atividade assim determinada correspondeu a PLA<sub>2</sub> total (tPLA<sub>2</sub>), para determinação da PLA<sub>2</sub> citossólica dependente de cálcio (cPLA<sub>2</sub>), antes do procedimento 1mL do extrato enzimático foi incubado por 15 minutos a 25°C com 5µL de bromoenollactona. A PLA<sub>2</sub> independente de cálcio (iPLA<sub>2</sub>) foi calculada por diferença entre a tPLA<sub>2</sub> e a cPLA<sub>2</sub>.

#### Medida de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

A análise da oxidação lipídica dos filés de frango foi realizada após 45 dias de armazenamento a -18°C segundo procedimento descrito por Tarladgis; Pearson; Dugan (1964). Os resultados foram expressos em mg de TBARS.kg<sup>-1</sup> de amostra.

#### Perfil de ácidos graxos

A extração dos lipídios foi realizada segundo a metodologia descrita por Bligh e Dyer (1959) e a hidrólise e transesterificação dos ácidos graxos seguiu o método 5509 da ISO (1978). Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram analisados utilizando cromatógrafo Shimadzu modelo 17A Gas Chromatograph, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar (100m x 0,25mm) com 0,25µm de

cianopropilpolisiloxano CP SII 88. A rampa de temperatura da coluna foi programada para: 65°C por 15 minutos; 10°C.min<sup>-1</sup> até 165°C e mantido por 2 minutos; 4°C.min<sup>-1</sup> até 185°C e mantido por 8 minutos; 4°C.min<sup>-1</sup> até 235° e mantido por 5 minutos. O detector e o injetor foram mantidos a 260°C, foi utilizado Split de 1/100. O fluxo de gases foi de 1,2mL .min<sup>-1</sup> para o gás de arraste (H<sub>2</sub>), 30mL.min<sup>-1</sup> para o gás auxiliar (N<sub>2</sub>), 30 e 300mL.min<sup>-1</sup> para os gases da chama, H<sub>2</sub> e ar sintético, respectivamente. A identificação dos ácidos graxos foi baseada em padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos (Sigma). A área dos picos foi determinada por integrador e os resultados foram expressos como percentagens relativas dos ácidos graxos identificados.

### Microscopia óptica

As amostras de filé de frangos foram cortadas transversalmente e fixadas em mistura de Bouin (BEÇAK e PAULETE, 1976) durante 18h. Posteriormente, as amostras foram desidratadas em uma série de etanol com concentrações crescentes, diafanizadas em xilol, incluídas em parafina e cortadas em micrótomo com espessura de 5µm. Os cortes foram submetidos à técnica de coloração Hematoxilina e Eosina (HE) (LILLIE, 1954) e avaliados quanto à morfologia geral do tecido e presença de lesões (edema, inflamação, ondulação, fibrose, degeneração e necrose), sendo avaliadas 10 lâminas em aumento de 40x, correspondente a 10 animais de cada grupo. O grau de encolhimento das células foi analisado através da mensuração do menor diâmetro das células conforme DUBOWITZ e BROOKE (1973), utilizando o programa MOTIC Image Plus 2.0 ML<sup>®</sup> (MOTIC Image Plus Motic Instruments Richmond, Canada), para isso foram mensurados 30 células aleatórias de cada lâmina no aumento de 40x, totalizando 300 células por grupo de filés.

### Análise estatística

O teste de médias Tukey a 5% de probabilidade foi aplicado para comparação dos resultados entre os filés PSE, Pálidos e Normal, utilizando programa STATISTICA versão 7.0 *for Windows*. Para comparação das frequências de lesões entre as amostras PSE, Pálida e Normal foi aplicado o Teste

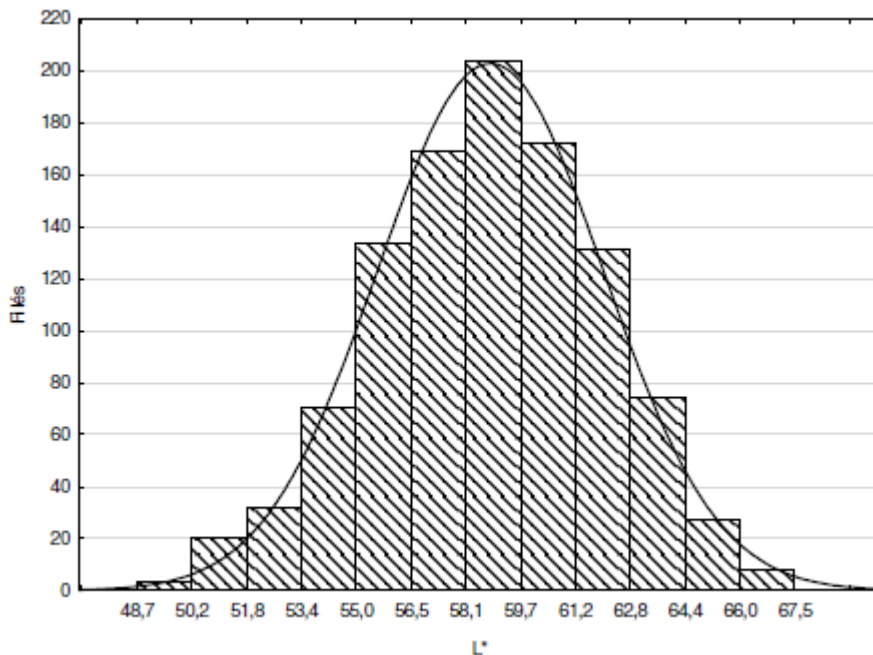
de Fisher a 5% de probabilidade utilizando o programa *Statistical Analysis System* (SAS) 9.1.3.

## Resultados e Discussão

### Experimento 1: incidência de filés PSE e pálidos

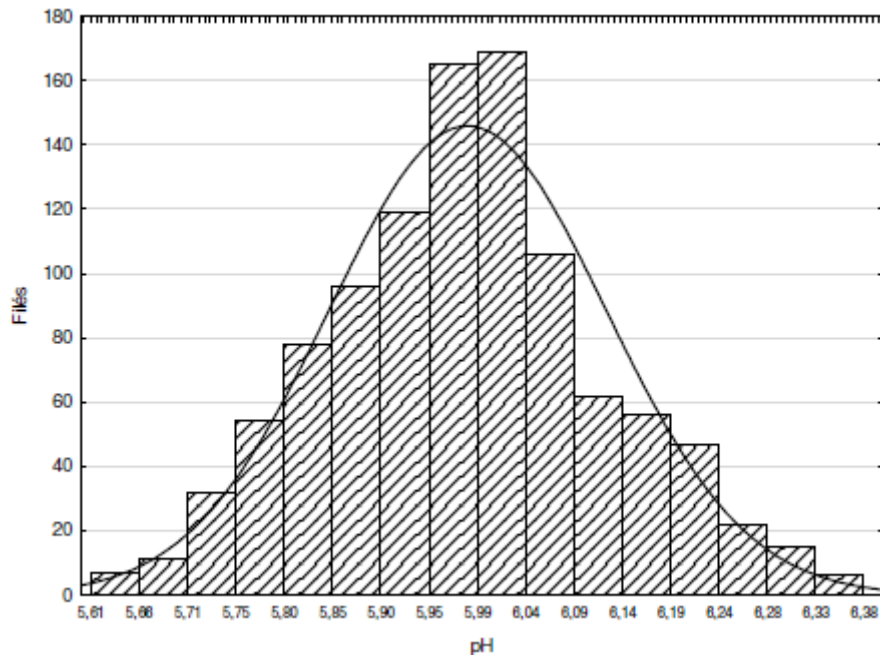
Observa-se na Figura 1 uma grande variação na cor ( $L^*$ ) dos filés de frango, que variaram de 48,67 a 67,53. Resultados similares foram obtidos por Barbut (1997), que observou valores de  $L^*$  variando entre 41 a 56 no Canadá e Woelfel et al. (2002) que encontraram valores de  $L^*$  entre 42 a 71 nos Estados Unidos. Petracci et al. (2004) observaram valores de  $L^*$  entre 40 (escuro) a 66 (pálido) para filés de frango da Itália. Já Zhu et al. (2012) descreveram valores de  $L^*$  entre 42,70 a 58,37 na China.

**Figura 1** – Histograma do valor de  $L^*$  de filés de frango (n=1045).



Os filés de frango analisados apresentaram variação de pH entre 5,61 a 6,36 (Figura 2). Esta variação está de acordo com a encontrada por outros pesquisadores, como Zhang e Barbut (2005a), que relataram valores de pH entre 5,72 a 6,27 e Swatland (2008), o qual observou valores de pH entre 5,79 a 6,61.

**Figura 2** – Histograma dos valores de pH dos filés de frango (n=1045).



A correlação obtida entre os valores de  $L^*$  e pH dos filés de frango foi de -0,28 ( $P < 0,05$ ), semelhante a obtida por Wilhelm et al. (2010) que obtiveram valor de -0,31 e menor do que o relatado por Qiao et al. (2001) cuja correlação foi de -0,96. O coeficiente de correlação de 0,28 indica que apenas 28% da variação de palidez pode ser explicada pela alteração de pH. Filés apresentam-se mais pálidos devido a menor quantidade de água no interior da fibra como consequência do menor valor de pH (SWATLAND, 2008). Os outros 71% da variação da cor parecem depender de outros fatores como nutrição e seleção genética (BERRI et al., 2001). Van Laack et al. (1994) também relataram que apenas 37% da variação da palidez em carne suína é explicada pela baixa capacidade de retenção de água.

Levando em consideração estes resultados, os filés de frango foram classificados em três classes baseados nos valores de pH e  $L^*$ : PSE (com  $\text{pH} < 5,80$  e  $L^* > 53,00$ ), Pálido (com  $\text{pH} > 5,80$  e  $L^* > 53,00$ ) e Normal (com  $\text{pH} > 5,80$  e  $L^* < 53,00$ ). Assim, obteve-se uma incidência de 9,1% de filés PSE, 85,7% de filés Pálidos e 5,2% de filés Normais. A incidência de PSE varia entre autores, Wilkins et al. (2000) encontraram uma incidência de PSE de 10% no Reino Unido, quando usado  $L^* > 56$  para distinguir as categorias. Woelfel et al. (2002) usaram um valor de corte de  $L^* > 54$ , obtiveram uma incidência de 47% de filés PSE nos Estados Unidos. Lesiów et al. (2007) observaram uma incidência de 5% de Filés PSE,

quando usado  $L^* > 53$  na Polônia. Garcia et al. (2010) consideraram carnes PSE com  $L^* > 49$  e encontraram uma incidência de 10,2% de filés PSE no Brasil.

Destaca-se que a incidência de filés Pálidos que apresentam pH superior a 5,80 foi elevada, sendo importante a sua caracterização bioquímica, enzimática e estrutural.

#### Experimento 2: alterações bioquímicas, enzimáticas e estruturais dos filés

A Tabela 1 apresenta os parâmetros bioquímicos dos filés de frango classificados como PSE, Pálido e Normal. Observa-se que os valores de pH e  $L^*$  diferiram significativamente entre si como o esperado, pois estes valores foram utilizados para a classificação dos filés.

**Tabela 1** – Parâmetros bioquímicos de filés de frango PSE, Pálido e Normal.

	PSE	Pálido	Normal
pH	5,74 <sup>b</sup> ± 0,04	6,03 <sup>a</sup> ± 0,13	6,02 <sup>a</sup> ± 0,08
$L^*$	62,25 <sup>a</sup> ± 2,30	60,5 <sup>b</sup> ± 2,78	52,05 <sup>c</sup> ± 0,71
$a^*$	1,51 <sup>b</sup> ± 0,57	1,92 <sup>ab</sup> ± 0,69	2,01 <sup>a</sup> ± 0,72
$b^*$	2,48 <sup>b</sup> ± 0,68	5,31 <sup>a</sup> ± 1,35	5,56 <sup>a</sup> ± 2,05
CRA (%)	65,59 <sup>c</sup> ± 2,69	68,62 <sup>b</sup> ± 2,83	70,49 <sup>a</sup> ± 2,83
PPC (%)	13,55 <sup>a</sup> ± 4,18	13,25 <sup>a</sup> ± 3,25	14,46 <sup>a</sup> ± 3,42
mg TBARS/kg	0,023 <sup>a</sup> ± 0,007	0,022 <sup>a</sup> ± 0,007	0,012 <sup>b</sup> ± 0,005
diâmetro da fibra (µm)	49,65 <sup>b</sup> ± 9,50	56,2 <sup>a</sup> ± 8,66	54,92 <sup>a</sup> ± 8,76

a-b Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de *Tukey* a 5,0% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

Os filés PSE apresentaram menores valores de  $a^*$  ( $P < 0,05$ ) que os filés Normais. Os filés Pálidos não diferiram ( $P > 0,05$ ) entre os filés PSE e Normal com relação ao valor de  $a^*$ . Komiyama et al. (2008); Zhuang e Savage (2010) observaram valores de  $a^*$  maiores para amostras Normais quando comparadas às amostras PSE. Os valores de  $b^*$  foram menores ( $P < 0,05$ ) para os filés PSE quando comparados com os filés Pálido e Normal, que não diferiram entre si. Kissel et al.

(2009) também observaram que filés PSE apresentaram menor valor de  $b^*$ , embora alguns autores (KOMIYAMA et al., 2008; ZHUANG e SAVAGE, 2010) relatem não haver diferença no valor de  $b^*$  entre filés PSE e Normais.

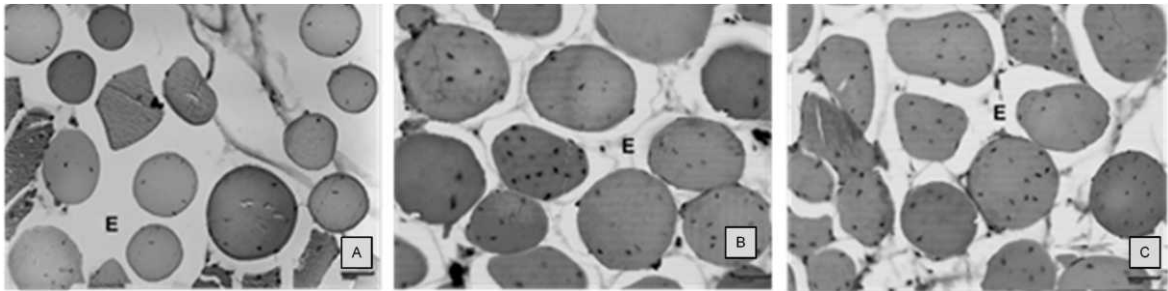
Observa-se na Tabela 1 que houve diferença significativa entre a CRA dos filés dos três grupos, sendo que a carne Normal foi a que apresentou maior CRA (70,49%), enquanto que a carne PSE apresentou o menor CRA (65,59%) e a carne Pálida apresentou valores intermediários de 68,62%. Estes resultados corroboram com os encontrados por Droval et al. (2012), que também observaram que amostras Normais apresentaram maior CRA (69,28%) que as carnes PSE (59,23%). Wilhelm et al. (2010) também observaram que filés Normais apresentaram CRA de 69,62% e filés PSE de 65,66%, diferindo significativamente. A carne PSE apresenta CRA comprometida, devido a desnaturação protéica promovida pela rápida glicólise *postmortem* com redução do pH enquanto a carcaça ainda está quente (TAKAHASHI, 2004). Os filés Pálidos por apresentarem pH relativamente maior que filés PSE retiveram mais água. Em carnes suínas, Van Laack et al. (1994) observaram que as classificadas como PFN ( $L^* > 58,0$  e perda de água  $< 5,0\%$ ) apresentaram valores de CRA intermediários entre as carnes PSE e RFN (Normal) e também verificaram que não houve diferença nos valores de pH entre as carnes PFN e RFN, semelhante aos resultados obtidos neste trabalho, onde não foi encontrada diferença significativa no valor de pH entre as amostras Pálidas e Normal.

A PPC não diferiu significativamente entre os filés PSE, Pálido e Normal. Zhang e Barbut (2005b) também não observaram diferença entre a PPC da carne PSE e Normal (27,96% e 25,77%, respectivamente), porém, descreveram que a carne DFD apresenta menor perda (21,32%) que as demais.

A oxidação lipídica avaliada por meio das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico demonstrou que a carne Normal tem menor propensão à oxidação, quando comparada às carnes Pálida e à PSE. A oxidação foi aproximadamente 48% maior nas carnes PSE e Pálida quando comparadas à carne Normal. Soares et al. (2009) observaram que a oxidação lipídica foi 27% maior nas carnes PSE quando comparadas à Normal. Chen et al. (2010) relataram o mesmo para carne suína, para amostras RFN (Normal) foi encontrado  $0,18\text{mg de TBARS.kg}^{-1}$  de amostra, enquanto que na carne PSE esse valor foi de  $0,38\text{mg de TBARS.kg}^{-1}$  de amostra.

O diâmetro das fibras dos filés de frango PSE foi aproximadamente 10% menor em relação aos filés de frango Pálido e Normal, como pode ser observado na Tabela 1 e na Figura 3. Nas carnes PSE (Figura 3A) observa-se um maior espaço extracelular no endomísio do que em carnes Pálidas (Figura 3B) e Normais (Figura 3C). O encolhimento da fibra muscular das carnes PSE é consequência da maior perda de água como verificado pelo baixo valor de CRA (Tabela 1). Não houve diferença significativa no diâmetro das fibras entre as carnes Pálida e Normal, embora as carnes Pálidas tenham apresentado menor CRA que as Normais, isso não chegou a afetar o diâmetro das fibras. Guarnieri et al. (2004) observaram encolhimento do diâmetro da célula muscular de amostras PSE de aproximadamente 10% em relação às amostras Normais

**Figura 3** – Fotomicrografia de corte transversal de músculo *pectoralis major* de amostras PSE (A), Pálido (B) e Normal (C), coloração HE, E: endomísio, aumento de 40x, barra de 100µm.



A Tabela 2 apresenta os valores de textura e atividades de tPLA<sub>2</sub>, cPLA<sub>2</sub> e iPLA<sub>2</sub> de filés de frango PSE, Pálido e Normal. Observa-se que a textura da carne *in natura* foi significativamente menor para os filés PSE quando comparados aos filés Pálido e Normal, sendo que os dois últimos não diferiram entre si. A menor textura da carne PSE é resultado da ativação precoce das calpaínas, devido ao aumento da concentração de cálcio nestas carnes conforme relatado por Wilhelm et al. (2010) e Marchi et al. (2011). Entretanto, a textura das amostras cozidas não diferiu ( $P > 0,05$ ) entre as carnes PSE, Pálido e Normal. Garcia et al. (2010) também não identificaram diferença entre filés de frango Normais e PSE e Chen et al. (2010) não observaram diferenças na força de cisalhamento de entre carnes suínas PSE e RFN (normal).

**Tabela 2** – Valores de textura e atividades de tPLA<sub>2</sub>, cPLA<sub>2</sub> e iPLA<sub>2</sub> de filés de frango PSE, Pálido e Normal.

	PSE	Pálido	Normal
Textura (in natura)	10,33b ± 2,02	12,74a ± 2,36	13,06a ± 2,06
Textura (cozida)	22,87 <sup>a</sup> ± 6,08	20,95 <sup>a</sup> ± 5,54	18,67 <sup>a</sup> ± 2,92
tPLA <sub>2</sub>	0,269 <sup>a</sup> ± 0,038	0,301 <sup>a</sup> ± 0,139	0,177 <sup>a</sup> ± 0,097
cPLA <sub>2</sub>	0,150 <sup>a</sup> ± 0,122	0,238 <sup>a</sup> ± 0,107	0,161 <sup>a</sup> ± 0,119
iPLA <sub>2</sub>	0,132 <sup>a</sup> ± 0,111	0,098 <sup>a</sup> ± 0,067	0,069 <sup>a</sup> ± 0,048

A enzima PLA<sub>2</sub> é estimulada pela presença de cálcio e este é um dos fatores que desencadeiam os sintomas característicos da carne PSE (SOARES et al., 2003). Não foi encontrada diferença significativa nas atividades de tPLA<sub>2</sub>, cPLA<sub>2</sub> e iPLA<sub>2</sub> entre os filés de frango PSE, Pálido e Normal, devido a alta variação nos resultados. Chen et al. (2010) observaram que as atividades de tPLA<sub>2</sub> e de iPLA<sub>2</sub> são maiores para carnes suínas PSE quando comparadas as carnes RFN (Normal), porém a atividade da iPLA<sub>2</sub> foi semelhante entre os dois tipos de carne.

Avaliando o perfil de ácidos graxos dos filés de frango apresentados na Tabela 3 observa-se que houve diferença significativa entre os filés PSE, Pálido e Normal para os ácidos palmitoléico (16:1n7), araquidônico (20:4n6) e adrênico (22:4n6). O ácido palmitoléico foi maior para filés Pálidos quando comparados aos filés Normais. Os filés PSE apresentaram uma fração aproximadamente 23% maior de ácido araquidônico que os filés Pálidos e Normais. Soares et al. (2009) também verificaram que filés PSE apresentaram 38,6% mais ácido araquidônico que filés Normais. A maior quantidade de ácido araquidônico nas carnes PSE é consequência da atividade da PLA<sub>2</sub>, que é uma enzima lipolítica que hidrolisa os fosfolipídios da membrana e libera ácido araquidônico (MURAKAMI e KUDO, 2002). Embora os resultados obtidos para a atividade de PLA<sub>2</sub> não tenham diferido (Tabela 2) entre os filés PSE e Normal, a maior percentagem de ácido araquidônico nas carnes PSE indica importância desta enzima nos eventos bioquímicos do PSE. Outro ácido graxo em que os filés distinguiram foi o adrênico (22:4n6), o qual foi significativamente maior nos filés Normais em relação aos filés Pálido e PSE, que não apresentaram diferença entre si.

**Tabela 3** – Perfil de ácidos graxos de filés de frango PSE, Pálido e Normal.

Ácido graxo	PSE	Pálido	Normal
14:0	0,38 <sup>a</sup> ± 0,03	0,34 <sup>a</sup> ± 0,05	0,40 <sup>a</sup> ± 0,06
15:0	0,09 <sup>a</sup> ± 0,02	0,08 <sup>a</sup> ± 0,01	0,08 <sup>a</sup> ± 0,003
16:0	21,27 <sup>a</sup> ± 1,07	20,20 <sup>a</sup> ± 1,39	21,19 <sup>a</sup> ± 1,31
16:1n7	3,64 <sup>ab</sup> ± 0,97	3,96 <sup>a</sup> ± 0,50	2,76 <sup>b</sup> ± 0,47
16:1n9	0,30 <sup>a</sup> ± 0,07	0,34 <sup>a</sup> ± 0,05	0,28 <sup>a</sup> ± 0,03
17:0	0,12 <sup>a</sup> ± 0,02	0,13 <sup>a</sup> ± 0,01	0,14 <sup>a</sup> ± 0,02
17:1n9	0,10 <sup>a</sup> ± 0,01	0,12 <sup>a</sup> ± 0,02	0,11 <sup>a</sup> ± 0,02
18:0	6,64 <sup>a</sup> ± 0,38	6,92 <sup>a</sup> ± 0,45	7,02 <sup>a</sup> ± 0,43
18:1n9	33,67 <sup>a</sup> ± 1,74	33,29 <sup>a</sup> ± 2,44	33,19 <sup>a</sup> ± 0,80
18:2n6	26,25 <sup>a</sup> ± 1,36	26,84 <sup>a</sup> ± 1,33	26,82 <sup>a</sup> ± 0,94
18:3n6	0,13 <sup>a</sup> ± 0,03	0,15 <sup>a</sup> ± 0,06	0,16 <sup>a</sup> ± 0,02
18:3n3	1,67 <sup>a</sup> ± 0,08	1,72 <sup>a</sup> ± 0,26	1,65 <sup>a</sup> ± 0,1
20:2	0,35 <sup>a</sup> ± 0,15	0,37 <sup>a</sup> ± 0,06	0,35 <sup>a</sup> ± 0,05
20:3n6	0,37 <sup>a</sup> ± 0,14	0,33 <sup>a</sup> ± 0,02	0,39 <sup>a</sup> ± 0,04
20:4n6	3,38 <sup>a</sup> ± 0,30	2,44 <sup>b</sup> ± 0,23	2,74 <sup>b</sup> ± 0,27
20:3n3	0,22 <sup>a</sup> ± 0,01	0,27 <sup>a</sup> ± 0,04	0,21 <sup>a</sup> ± 0,01
20:5n3	0,12 <sup>a</sup> ± 0,01	0,14 <sup>a</sup> ± 0,02	0,11 <sup>a</sup> ± 0,01
22:4n6	0,68 <sup>b</sup> ± 0,22	0,64 <sup>b</sup> ± 0,15	1,05 <sup>a</sup> ± 0,17
22:5n3	0,19 <sup>a</sup> ± 0,08	0,18 <sup>a</sup> ± 0,08	0,22 <sup>a</sup> ± 0,05
22:5n6	0,54 <sup>a</sup> ± 0,13	0,44 <sup>a</sup> ± 0,08	0,49 <sup>a</sup> ± 0,09
22:6n3	0,50 <sup>a</sup> ± 0,10	0,53 <sup>a</sup> ± 0,23	0,57 <sup>a</sup> ± 0,09
AGS*	29,53 <sup>a</sup> ± 1,23	29,25 <sup>a</sup> ± 1,81	27,91 <sup>a</sup> ± 3,13
AGMI*	37,69 <sup>a</sup> ± 2,48	38,30 <sup>a</sup> ± 2,66	36,59 <sup>a</sup> ± 2,27
AGPI*	35,30 <sup>a</sup> ± 2,8	35,26 <sup>a</sup> ± 2,84	35,08 <sup>a</sup> ± 1,23
AGPI/AGMI	0,99 <sup>a</sup> ± 0,24	0,98 <sup>a</sup> ± 0,17	1,06 <sup>a</sup> ± 0,31
N6/N3	12,36 <sup>a</sup> ± 0,69	10,30 <sup>a</sup> ± 0,80	12,24 <sup>a</sup> ± 0,54

a-b Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de *Tukey* a 5,0% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

\*AGS – Ácido Graxo Saturado;

\*\*AGMI – Ácido Graxo Monoinsaturado;

\*\*\*AGPI – Ácido Graxo Poliinsaturado.

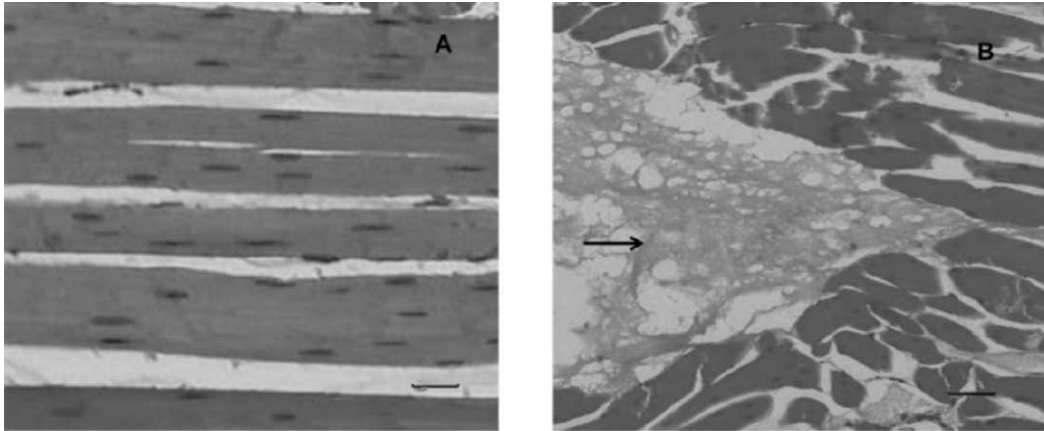
A Tabela 4 apresenta a frequência de lesões avaliadas por microscopia ótica dos filés PSE, Pálido e Normal. Das lesões avaliadas apenas a frequência de edema apresentou diferença ao nível de 8% entre os filés dos três grupos. Os filés PSE e Pálidos apresentam frequência relativa de edema de 80 e 90 contra apenas 40 para filés Normais. Um edema característico observado nas amostras está apresentado na Figura 4. O edema é resultado do acúmulo anormal de líquido, composto por sais e proteínas do plasma no espaço intersticial (COUTINHO, MIZUTANI e COSTA, 2009). A presença de edema mais acentuado nos filés de frango PSE pode ser explicado pela menor CRA (Tabela 1), a qual resulta em maior concentração de líquido no espaço intersticial (Figura 3) e menor diâmetro da fibra muscular (Tabela 1). Os filés de frango Pálido apresentaram também alta presença de edema, embora não tenha sido observada diferença no diâmetro das fibras musculares entre as amostras Pálida e Normal (Tabela 1) e a CRA tenha sido menor para estas amostras, sugerindo que a causa da elevada frequência de edema seja advinda de outros fatores.

**Tabela 4** – Frequências relativas das lesões edema, inflamação, degeneração, necrose, fibrose e ondulação de filés PSE, Pálido e Normal.

	PSE	Pálido	Normal	P valor *
Edema	80	90	40	0,08
Inflamação	20	50	40	0,51
Degeneração	30	10	20	0,85
Necrose	30	60	50	0,53
Fibrose	0	10	0	1
Ondulação	0	30	20	0,32

\* Teste de Fisher

**Figura 4** – Fotomicrografia de corte longitudinal de músculo *pectoralis major* sem edema (A) e com edema (B). A seta indica o edema. Coloração HE, aumento de 40x, barra = 100µm



#### CONCLUSÃO

Os filés de frango Pálidos apresentaram características bioquímicas e estruturais diferentes dos filés PSE, sugerindo uma nova categoria de qualidade de carne a PFN.

#### AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/CAPES/MEC pela concessão da bolsa de Mestrado.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, C. D.; FLETCHER, D.L., NORTHCUTT J.K., RUSSELL, S.M. The relationship of broiler breast color to meat quality and selflife. **Poultry Science**, Savoy, v. 77, n. 2, p. 361-366, 1998.
- BARBUT, S. Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. **Journal of Muscle Foods**, v. 9, n. 1, p.35-49, 1997.
- BEÇAK, W., PAULETE, J. **Técnicas de citologia e histologia**. Vol. 1 e 2. Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A, 1976, 574 p.
- BERRI, C., N. WACRENIER, N. MILLET, LE BIHAN - DUVAL, E. Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. **Poultry Science**, v. 80, n. 7, p.833-838, jul. 2001.
- BIANCHI, M., PETRACCI, M., CAVANI, C. The influence of genotype, market live weight, transportation and holding conditions prior to slaughter on broiler breast meat color. **Poultry Science**, v. 85, n.1, p.123-128, 2006.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal of Biochemistry Physiology**, v.31, p.911-917, 1959.
- BOULIANNE, M.; KING, J.A. Biochemical and color characteristics of skinless boneless pale chicken breast. **Poultry Science**, v.74, p.1693-1698, 1995.
- CASSENS, R. G.; KAUFFMAN, R. G.; SCHERER, A.; MEEKER, D. L. Variation in pork quality: A 1991 USA survey. **Proceedings of the 38th international congress of meat science and technology (ICoMST)**, Clermont-Ferrand, France, p. 237-240, 1992.
- COUTINHO, M.A.S.; MUZITANO, M.F.; COSTA, S.S. Flavonoides: Potenciais agentes terapêuticos para o processo inflamatório. **Revista Virtual de Química**, v. 1, n.3, p.241-256, 2009.
- CHEN, T.; ZHOU, G.X.; XU, X.L.; ZHAO, G.M.; LI, C.B. Phospholipase A2 and antioxidant enzyme activities in normal and PSE pork. **Meat Science**, v. 84, p. 143-146, 2010.
- DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. A. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. **Poultry Science**, v. 78, p. 743-746, 1999.
- DROVAL, A. A.; BENASSI, V. T.; ROSSA, A.; PRUDENCIO, S. H.; PAIÃO, F. G.; SHIMOKOMAKI, M. Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 502-507, 2012.
- GARCIA, R.G.; FREITAS, L.W.; SCHWINGEL, A.W.; FARIAS, R.M.; CALDARA, F.R.; GABRIEL, A.M.A.; GRACIANO, J.D.; KOMIYAMA, C.M.; ALMEIDA, P.I.C,L.

Incidence and Physical Properties of PSE Chicken Meat in a Commercial Processing Plant. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.12, n.4, p. 233 - 237, 2010.

GUARNIERI, A.D.; SOARES, A.L.; OLIVO, R.; SCHNEIDER, J.P.; MACEDO, R.M.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Preslaughter handling with water shower spray inhibits pse (pale, soft, exudative) broiler breast meat in a commercial plant. biochemical and ultrastructural observations. **Journal of Food Biochemistry**, v. 28, n. 4, p. 269-277, 2004.

HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, v.10, p.335-362, 1960.

KISSEL, C.; SOARES, A.L.; ROSSA, A.; SHIMOKOMAKI, M. Functional Properties of PSE (Pale, Soft, Exudative) Broiler Meat in the Production of Mortadella. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, n. special, p.213-217, 2009.

KOMIYAMA, CM.; MENDES, A.A.; TAKAHASHI, S.E.; MOREIRA, J.; ROÇA, R.L., BORBA, H.S.; LEONEL, F.R. ; PAZ, I.C.L.A.; BALOG, A.N. Avaliação da ocorrência de carne pálida em peitos de frangos de corte em abatedouros do estado de São Paulo. **Pubvet**, v. 2, n. 22, 2008.

LESIÓW, T.; KIJOWSKI, J. Impact of PSE and DFD meat on poultry processing - A review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, Olsztyn, v.12, n. 53, p.3-8, 2003.

LILLIE, R.D. 1954. **Histopatologic Technic and Practical Histochemistry**. New York, Blakiston Company, 501p.

LOWRY, O. H. et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v. 19, p. 265-275, 1951.

MARCHI, D.F.; BETETO, F.M.; SANTOS, G.R.; SOARES, A.L.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Changes in collagen fractions during PSE meat (Pale, Soft, Exudative) chicken installation. **Proceedings of International Congress of Meat Science and Technology**, Ghent, v.57, p.58, 2011.

MURAKAMI, M.; KUDO, I. Phospholipase A2. **Journal Biochemistry**, v.131, p.285 - 292, 2002.

PETRACCI, M., BIANCHI, M., BETTI, M., CAVANI, C. Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. **Poultry Science**, v. 83, n. 12, p. 2086-2092, dez. 2004.

QIAO, M.; FLETCHER, D.L.; SMITH, D.P.; NORTHCUTT, J.K. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. **Poultry Science**, v.80, n.5, p.676-680, 2001.

SOARES, A.L., MARCHI, D.F., MATSUSHITA, M., GUARNIERI, P.D., DROVAL, A., Ida, E.I. Lipid oxidation and changes in fatty acids profile related to broiler breast meat colour abnormalities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 52, 2009.

SOARES, A. L., IDA, E. I., MYIAMOTO, S., HERNANDEZ-BLAZQUEZ, F. J., OLIVO, R., PINHEIRO, J. W. Phospholipase A2 activity in poultry PSE, pale, soft, exudative, meat. **Journal of Food Biochemistry**, v. 27, n.4, p. 309-320, 2003b.

SOARES, A.L.; LARA, J.A.F.; IDA, E.I.; GUARNIERI, P.D.; OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Variation in the color of Brazilian broiler breast fillet. **Proceedings of International Congress of Meat Science and Technology**, Roma, v.48, p.540-541, 2002.

SWATLAND, H.J. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. **Meat Science**, v. 80, p. 396-400, 2008.

STATSOFT. STATISTICA for Windows (Computer program manual). Tulsa: StatSoft, 1995.

TAKAHASHI, S. E. **Carnes PSE em Frangos de Corte**. Botucatu, SP: FMVZ/UNESP, 2004.

TARLADGIS, B. G.; PEARSON, A. M. ; DUGAN, L. R. Jr. Chemistry of the 2-thiobarbituric test for determination of oxidative rancidity in foods ii. Formation of the tba-malonaldehyde complex without acid-heat treatment. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.5, p. 602-604, 1964.

VAN LAACK, R. L. J. M.; KAUFFMAN, R. G.; SYBESMA, B.W., SMULDERS, F. J. M.; EIKELBOOM, G.; PINHEIRO, J.C. Is Colour Brightness (L-Value) a Reliable Indicator of Water-Holding Capacity in Porcine Muscle?. **Meat Science**, v. 38, p. 193-201, 1994.

WARRISS, P.D.; BROWN, S.N. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. **Meat Science**, v.20, p.65-74, 1987.

WILHELM, A.E.; MAGANHINI, M.B.; HERNANDEZ-BLAZQUEZ, F.J.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1201-1204, 2010.

WILKINS, L.J.; BROWN, S.N.; PHILLIPS, A.J.; WARRISS, P.D. Variation in the colour of broiler breast fillets in the UK. **British Poultry Science**, Edinburgh, v.41, n.3, p.308-312, 2000.

WOELFEL, R. L.; OWENS, C. M.; HIRSCHLER, E. M.; MARTINEZ-DAWSON, R.; SAMS, A.R. The Characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. **Poultry Science**, v. 81, p.579-584, 2002.

ZHANG, L., BARBUT, S. Rheological characteristics of fresh and frozen PSE, normal and DFD chicken breast meat. **British Poultry Science**, v. 46, n. 6, p.687-693, 2005a.

ZHANG, L., BARBUT, S. Effects of Regular and Modified Starches on Cooked Pale, Soft, and Exudative; Normal; and Dry, Firm, and Dark Breast Meat Batters L. **Poultry Science**, v. 84, n. 5, p. 789-796, 2005b.

ZHU, X.; XU,X.; MIN, H.; ZHOU, G. Occurrence and Characterization of Pale, Soft, Exudative-Like Broiler Muscle Commercially Produced in China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 8, p. 1384-1390, 2012.

ZHUANG, H.; SAVAGE, E.M. Comparisons of sensory descriptive flavor and texture profiles of cooked broiler breast fillets categorized by raw meat color lightness values. **Poultry Science**, v. 89, p. 1049-1055,2010.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação atual dos filés de frango em PSE, Normal e DFD não contempla os filés que se apresentam mais pálidos, mas sem o pH alterado, apesar da alta incidência observada. Esses filés apresentaram CRA intermediária entre os filés PSE e Normal e textura semelhante à Normal, quando analisados *in natura*. A oxidação lipídica dos filés Pálidos foi semelhante a dos filés PSE e significativamente maior em relação aos filés Normais. A análise microscópica das amostras revelou que os filés Pálidos apresentaram diâmetro de fibra muscular semelhante aos filés Normais e maior que os filés PSE. Estes resultados sugerem que filés Pálidos sejam classificados como PFN (*Pale, Firm, Non-exudative*), embora mais estudos sejam necessários para verificação dos parâmetros utilizados na classificação dos filés em diferentes categorias de qualidade.

**ANEXO**

### TABELA

Nomenclatura usual e UIQPA dos principais ácidos graxos e sua respectiva simbologia.

SIMBOLOGIA	NOMENCLATURA UIQPA	NOMENCLATURA USUAL
<b>14:0</b>	Acido tetradecanoico	Acido mirístico
<b>14:1</b>	Acido-9- tetradecenoico	A miristoléico
<b>15:0</b>	Acido pentadecanoico	Acido pentadécilico
<b>16:0</b>	Acido hexadecanoico	Acido palmítico
<b>16:1n9</b>		
<b>16:1n7</b>	Acido 9-hexadecenoico	Acido palmitoleico
<b>17:0</b>	Acido heptadecanoico	Acido margárico
<b>18:0</b>	Acido octadecanoico	Acido esteárico
<b>18:1n9</b>	Acido 9-octadecenoico	Acido oléico
<b>18:1n7</b>	Acido 11 -octadecenoico	Acido cis-vaccênico
<b>18:2n6</b>	Acido 9,12- octadecenoico	Acido linoleico
<b>20:0</b>	Acido eicosanoico	Acido araquídico
<b>18:3n3</b>	Acido 9,12,15- octadecatrienoico	Acido $\alpha$ -linolênico (LNA)
<b>20:2</b>		
<b>22:0</b>	Acido docosanoico	Acido behênico
<b>20:3n6</b>	Acido 8,11,14- eicosatrienoico	Acido di-homo- $\gamma$ -linolênico
<b>20:4n6</b>	Acido 5,8,11,14- eicosatetraenoico	Acido araquidônico
<b>20:3n3</b>	Acido 11,14,17- eicosatrienoico	Acido di-homo-( $\alpha$ )-linolênico
<b>23:0</b>	Acido tricosanoico	-
<b>22:2</b>		
<b>22:4n6</b>	Acido 7,10,13,16- docosatetraenoico	Acido adrênico
<b>22:1n9</b>	Acido 13-docosenoico	Acido erúcico
<b>22:5n6</b>	Acido- 4,7,10,13,16- docosapentaenóico	Acido docosapentaenóico
<b>22:6n3</b>	Acido 4,7,10,13,16,19- docosahexaenoico	Acido cervônico (DHA)