UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

RAQUEL SEAWRIGHT ALONSO

Pena de frango:
Estudo das características físicas das fibras têxteis

São Paulo
2013

RAQUEL SEAWRIGHT ALONSO

Pena de frango:
Estudos das características físicas das fibras têxteis

v. 1

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 20 de junho de 2013. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração :

Materiais e Processos Têxteis

Orientador (a) :

Prof. Dr. João Paulo Pereira Marcicano

São Paulo
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Alonso, Raquel Seawright

Pena de frango : estudo das características físicas das fibras têxteis / Raquel Seawright Alonso ; orientador, João Paulo Pereira Marcicano. – São Paulo, 2013.
xvi, 80 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.
Versão corrigida.

1. Fibras têxteis. 2. Fibras animais - Composição. 3. Pena de frango. I. Marcicano, João Paulo Pereira, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677.02832

Dedico este trabalho à Roseli Seawright

AGRADECIMENTOS

- À Deus por ser minha força e refúgio.
- À minha mãe Roseli, pois é o meu apoio e suporte em tudo.
- Ao meu pai por ter me gerado.
- Ao meu irmão Leandro por ser meu exemplo de empenho e superação.
- À minha avó Noemia por sempre me escutar e sabiamente me dar conselhos.
- Ao meu avô Zézinho (*in memoriam*) por ser como um pai com toda sua preocupação e cuidado comigo.
- À minha avó Dusolina por ser sempre empolgada e por me mostrar que a vida começa aos 90.
- Ao meu avô Pipe (*in memoriam*) por gostar tanto de mim.
- À minha tia Solange por me ajudar com seus experientes conselhos.
- Ao meu tio Olídeo por sempre acreditar em meu progresso.
- Ao Fábio por me ouvir, me apoiar, me dar conselhos, me incentivar a continuar e acima de tudo por acreditar em mim.
- Ao Prof. Dr. João Paulo P. Marcicano pela excelente orientação na dissertação.
- Ao Prof. Dr. Fernando Carrillo da Universidade Politécnica da Catalunha, por me permitir compor a equipe de pesquisadores com a temática de penas de frango.
- Ao Prof. Dr. Josep Valldeperas da Universidade Politécnica da Catalunha por me mostrar o encanto da área têxtil e que este mestrado é apenas o começo do meu futuro acadêmico.
- Ao Sr. Munif Ghani, Fabiano Casaca, Adriana Ribas e a equipe do LAFITEX por ceder, gentilmente, os laboratórios da empresa Rhodia Poliamida Ltda.
- À Universidade de São Paulo e Escola de Artes, Ciências e Humanidades.

Muito obrigada!

*São tempos difíceis para os sonhadores...
O Fabuloso Destino de Amélie Poulain*

RESUMO

SEAWRIGHT, R. A. Pena de Frango: Estudo das características físicas das fibras têxteis. 2013. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Baseando-se na possibilidade de inserção de um novo material de origem têxtil natural animal, bem como, a reciclagem de aproximadamente 1,175 milhões de toneladas descartadas anualmente da matéria-prima estudada (UBABEF, 2011), esta pesquisa teve como objetivo geral efetuar a caracterização física e microscópica de fibra de pena de frango para finalidade têxtil seja para o desenvolvimento de fios têxteis, não tecidos e reforço em compósitos ou outras aplicações. Deste modo, foram objetivos: i) realizar levantamento bibliográfico sobre estrutura e composição de penas e fibras de penas, reciclagem, aplicações existentes, técnicas e processos de caracterização da fibra; ii) coleta do material fibroso proveniente de um matadouro doméstico de frangos; iii) preparação do material, lavagem e secagem das penas; iv) testes mecânicos de caracterização como: alongamento, elasticidade e resistência realizados por meio do dinamômetro *Instrom*, determinação do teor de *regain*, umidade e densidade da fibra, bem como a taxa de encolhimento da fibra; v) testes microscópicos de caracterização como: microscopias longitudinais e transversais; vi) propostas e direcionamento do emprego das fibras caracterizadas para finalidade de produção têxtil. As principais conclusões foram: i) bibliografia inédita em português sobre penas de frango para a área têxtil; ii) estudo inédito no Brasil e na língua portuguesa de propriedades físicas e microscópicas de fibras de pena de frango; iii) com base em suas propriedades estruturais, perceberam-se características como brilho, conforto, maciez, toque, permeabilidade à líquido, leveza, entre outras propriedades, aumentando assim seu potencial de empregabilidade têxtil; iv) potencial de fiação e fabricação de têxteis para diversas aplicações. Publicações e palestras foram realizadas com os resultados desta dissertação.

Palavras-chave: fibra têxtil animal, caracterização física, caracterização microscópica, pena de frango.

ABSTRACT

SEAWRIGHT, R. A. Chicken Feather: Study of physical properties of textile fibers. 2013. 80 p. Dissertation (Master's degree) School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

Based on the possibility of developing a new textile material of natural animal origin, as well as the recycling of the studied raw material, of which approximately 1.175 million tons are annually discarded as waste in Brazil (UBABEF, 2011), this study aimed to characterize the general physical and microscopical fibers of chicken feathers for textile purpose for the development of textile yarn, non-woven and composite reinforcement. Its objectives were: i) to analyze the academic literature about the structure and composition of feathers and feather fibers, as well as its recycling, existing applications, processes and techniques of fiber characterization, ii) the collection of fibrous material from a chicken slaughterhouse, iii) the preparation of material, washing and drying the feathers, iv) to develop mechanical characterization tests such as elongation, elasticity and resistance made by *Instrom* dynamometer, determining the content, moisture regain and fiber density, v) to perform the microscopic characterization tests such as microscopy longitudinal and transverse, and vi) to draft proposals on the employment of the analyzed and characterized fibers for purposes of producing textiles (yarns, reinforcement for composites, non-woven blankets, etc.). The main findings were: i) unpublished literature in Portuguese about chicken feathers for the textile area, ii) unpublished study in Brazil and in portuguese language of physical and microscopic properties of chicken feathers' fibers for the development of textile products of natural origin from such chicken feathers, iii) the identification of the potential for the production of blended yarn with cotton / wool, blankets and non-woven and reinforcement for composites, based on their physical, mechanical and microscopic properties, and, iv) the identification of the potential for yarn production (via spinning) and textile manufacturing for various applications. Publications and lectures were held with the results of this dissertation.

Keywords: animal textile fiber, physical characterization, microscopic characterization, chicken feathers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	(a) Penas de contorno; (b) Penas de baixo; (c) Semiplumas; (d) Filoplumas.
Figura 2.	(a) e (b) Estrutura da pena.
Figura 3.	Penas de frango <i>in natura</i> .
Figura 4.	Beneficiamento das penas com banho esterilizante.
Figura 5.	Climatizadora Mesdan modelo Climatest M250-RH, Itália.
Figura 6.	Determinação do comprimento da fibra de pena de frango.
Figura 7.	Determinação do comprimento da fibra de lã de alpaca.
Figura 8.	Balança analítica (Spinlab Instaweigh 485).
Figura 9.	Dinamômetro Instron (modelo 33R4204, Estados Unidos) e realização do teste com a fibra de pena de frango.
Figura 10.	Preparação para o teste de Retração.
Figura 11.	(a) Material utilizado para a microscopia transversal; (b) preparação da amostra com resina; (c) corte da amostra manual com lâmina descartável.
Figura 12.	Microscópio biológico (Leica, modelo BME, Alemanha) acoplado a videocâmara de captação digital de imagens (Olympus 220 Color Video Camera, Westmont, Illinois).
Figura 13.	Microscopia Transversal (a) Afterfeather e Anterior Barbules 350 vezes; (b) Afterfeather e Anterior Barbules 560 vezes; (c) Barb e Anterior Barbules 150 vezes; (d) Barb e Anterior Barbules 350 vezes.
Figura 14.	Secção transversal da fibra de pena de frango (Barb e Anterior Barbules) ampliada 150 vezes.
Figura 15.	Secções transversais existentes de fibras têxteis.
Figura 16.	Gráfico de resiliência de acordo com as secções transversais das

	fibras têxteis.
Figura 17.	Gráfico de brilho de acordo com as secções transversais das fibras têxteis.
Figura 18.	Gráfico de volume de acordo com as secções transversais das fibras têxteis.
Figura 19.	Microscopia Longitudinal da Fibra de Pena (a) Aumento de 30 vezes; (b) aumento de 67 vezes; (c) aumento de 100 vezes; (d) aumento de 135 vezes.
Figura 20.	Identificação da Microscopia Longitudinal da Fibra de Pena (a) Aumento de 135 vezes; (b) aumento de 30 vezes; (c) aumento de 135 vezes; (d) aumento de 30 vezes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Titulação da fibra de pena de frango e a da fibra de lã de alpaca respectivamente.
Tabela 2.	Titulação de fibras reconhecidas no mercado comercial modificado pela autora.
Tabela 3.	Testes físicos da fibra da pena de frango desenvolvido pela autora.
Tabela 4.	Testes físicos da fibra de lã de alpaca desenvolvidos pela autora.
Tabela 5.	Características das Principais Matérias Têxteis.
Tabela 6.	Resultado do Conteúdo Percentual de Umidade e Recuperação Percentual de Umidade da fibra de pena de frango.
Tabela 7.	Resultado de retração da fibra de frango desenvolvida pela autora.
Tabela 8.	Características dos odores de combustão.
Tabela 9.	Teste qualitativo de combustão das principais fibras têxteis.
Tabela 10.	Teste qualitativo da combustão da pena de frango.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Probabilidade do Título da fibra de frango.
Gráfico 2.	Probabilidade do Alongamento da fibra de frango.
Gráfico 3.	Probabilidade da Tenacidade da fibra de frango.
Gráfico 4.	Probabilidade da Umidade da fibra de frango.
Gráfico 5.	Probabilidade do <i>Regain</i> da fibra de frango.

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 1 Título Médio	$T_m = \frac{M_{fr} \cdot 10}{L} \times 1000$
Eq. 2 Tenacidade	$\gamma = \frac{F}{T}$
Eq. 3 Conteúdo de Umidade	$\text{Conteúdo Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso original}} \cdot 100$
Eq. 4 Recuperação de Umidade	$\text{Recuperação Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$
Eq. 5 Coeficiente de	$c_v = \frac{\sigma}{\mu}.$

variação	
Eq. 6 Média	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$
Eq. 7 Desvio Padrão	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

NOMENCLATURA

°C.	Grau Celsius
cN.	CentiNewton
cN/tex.	CentiNewton por tex
CV.	Coeficiente de variação
DP.	Desvio Padrão
dtex.	<u>Decitex</u>
F.	Carga de Ruptura (cN)
L.	Comprimento da fibra (m)
M_m.	Massa Média do feixe (g)
mm.	Milímetros

T.	Título (tex/dtex)
T_m.	Título Médio
γ.	Tenacidade (cN/tex)
σ.	Sigma
μm.	Microm

SIGLAS

ABNT.	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM.	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ISO.	<i>International Organization for Standardization</i>
USP.	Universidade de São Paulo
EACH.	Escola de Artes, Ciências e Humanidades

SUMÁRIO

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Equações.....	x
Lista de Gráficos.....	x
Nomenclatura	xi
Siglas.....	xii
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Objetivo.....	2
1.3. Justificativa.....	3
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Fibra Têxtil.....	3
2.2. Fibra Têxtil de Origem Animal.....	4
2.3. Tipos de Penas.....	4
2.4. Estrutura da Pena.....	6
2.5. Composição da Pena.....	7
2.6. Queratina e Estrutura Química.....	8
2.7. Extração da Queratina.....	10
2.8. Aplicações da Queratina.....	12
2.9. Fibras Têxteis de Penas,.....	12

2.10. Possíveis Aplicações de Fibras de Penas.....	14
2.11. Produção brasileira de frango e descarte de penas.....	15
2.12. Fibra de Lã.....	17
2.13. Fibra de Lã de Alpaca.....	18
2.14. Testes Físicos, Químicos e Microscópicos.....	18
2.15. Testes Físicos.....	19
2.16. Testes Químicos.....	19
2.17. Testes Microscópicos.....	19
CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1. Coleta do Material.....	20
3.2. Preparação do Material.....	20
3.3. Testes Físicos.....	21
3.3.1 Classificação da Fibra.....	21
3.3.2. Climatização das Amostras.....	21
3.3.3. Comprimento.....	22
3.3.4. Determinação do Título Médio das Fibras.....	23
3.3.5. Ensaio de Tração de Fibras.....	24
3.3.6. Determinação do Teor de <i>Regain</i> e Umidade.....	25
3.3.7. Determinação da Taxa de Retração.....	26
3.4. Testes de Microscopia.....	28
3.4.1. Microscopia das Fibras.....	28

3.4.2. Preparação dos Corpos-de-Prova: Corte das Amostras para Microscopia Transversal.....	28
3.4.3. Corte Longitudinal.....	29
3.5. Testes Químicos.....	30
3.5.1. Teste de Combustão.....	30
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1. Preparo do Material.....	31
4.2. Testes Físicos.....	31
4.2.1. Ensaio de Tração.....	34
4.2.2 Determinação do Teor de <i>Regain</i> e Umidade.....	39
4.2.3. Teste de Determinação da Taxa de Retração.....	43
4.3. Testes de Microscopia.....	44
4.3.1. Microscopia Transversal e Longitudinal das Fibras.....	45
4.3.2. Microscopia Transversal.....	45
4.3.3. Microscopia Longitudinal.....	49
4.4. Testes Químicos.....	51
4.4.1. Combustão.....	51
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
6.1. Normas Técnicas.....	61
GLOSSÁRIO.....	62
APÊNDICE.....	65

ANEXO.....	77
INDICE REMISSIVO.....	78

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

A indústria têxtil e de transformação cresce em elevadas proporções no Brasil, fazendo com que as empresas busquem novas alternativas e materiais para a produção de novas tecnologias que aliem economia, sustentabilidade e funcionalidade. Nos últimos vinte anos, o consumo brasileiro de fibras têxteis sintético-artificiais cresce enquanto que o consumo das naturais decresce (REDETEC, 2011). Devido a grande demanda de fibras sintéticas, faz-se necessário o estudo e desenvolvimento de novos têxteis e de opções mais sustentáveis, alternativas estas que não provenham do petróleo, como as fibras sintéticas. Por isso, este estudo está baseado na necessidade de analisar a possibilidade de inserção de um novo material de origem têxtil natural animal e, sobretudo menos agressivo ao meio ambiente, pois além de aproveitar um resíduo de descarte da indústria avicultura, o qual se soma 1,175 milhões de toneladas/ano, o processo de fabricação é similar ao do algodão, ou seja, menos poluente que o processo de fibras sintéticas (proveniente de polímero sintético) ou regeneradas (proveniente de polímero celulósico). Dados sobre o abate nacional de animais de produção mostram que o Brasil, em 2000 produzia 5,98 milhões de toneladas de frango, em 2011 a produção aumentou para 13,05 milhões e hoje o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, sendo o descarte de penas totalizado a 9% do valor da produção, ou seja, 1,175 milhões de toneladas descartadas no último ano (UBABEF, 2011). Sobre a estrutura e a propriedade de farpas de penas de frango (ou fibra de pena de frango), segundo Yang (2007), o que tornam as fibras exclusivas e preferidas para diversas aplicações são exatamente a estrutura e as propriedades que ela apresenta, pois a presença de estruturas ocas parecidas com o favo de mel, a sua baixa densidade, alta flexibilidade e a interação estrutural possível com outras fibras têxteis é capaz de fornecer propriedades únicas e diferentes de quaisquer outras fibras naturais ou sintéticas. Baixa densidade, compressibilidade, excelente capacidade de resiliência, isolamento do som e retenção de calor são algumas das propriedades que a fibra de pena apresenta (YANG, 2007). Nenhuma das fibras naturais ou sintéticas disponíveis, comercialmente hoje, tem uma densidade tão baixa quanto a de pena de frango. Tais propriedades se tornam únicas para muitas aplicações, como fios têxteis e

compósitos utilizados, por exemplo, para aplicações no setor automotivo. Além de possuir uma estrutura única, as fibras e consequentemente as penas, são baratas, disponíveis em abundância e uma fonte renovável em fibras proteicas (YANG, 2007). As principais conclusões foram: i) estudo inédito em português sobre propriedades físicas e microscópicas de penas de frango para a área têxtil; ii) com base em suas propriedades estruturais perceberam-se características como brilho, conforto, maciez, toque, permeabilidade à líquido, leveza, entre outras propriedades, aumentando assim seu potencial de empregabilidade têxtil; iii) potencial de fiação e fabricação de têxteis para diversas aplicações.

O estudo contribuiu para o aumento do conhecimento mundial na área têxtil por meio de publicações em jornais internacionais e palestras em congressos internacionais, sobretudo, pois a literatura, em geral, é muito escassa em relação à estrutura física de fibras de penas de galinha e a atuação destas para a indústria têxtil (YANG, 2007).

1.2. Objetivo

Baseando-se na possibilidade de inserção de um novo material de origem têxtil natural animal, bem como a reciclagem de aproximadamente 1,175 milhões de toneladas descartadas anualmente da matéria-prima estudada (UBABEF, 2011), este trabalho teve como objetivo geral efetuar a caracterização física e microscópica de fibras de pena de frango para finalidade têxtil para o desenvolvimento de fios têxteis, não tecidos, reforço em compósitos, etc.

Os objetivos específicos foram:

- i) Realizar levantamento bibliográfico sobre estrutura e composição de penas e fibras, aplicações existentes, técnicas e processos de caracterização da fibra;
- ii) Coleta do material fibroso proveniente de um matadouro doméstico de frangos;
- iii) Preparação do material, lavagem e secagem das penas;
- iv) Testes mecânicos de caracterização como: alongamento, elasticidade e resistência realizados por meio do dinamômetro *Instrom*, determinação do teor de *regain*, umidade e densidade da fibra e teor de retração da fibra;
- v) Testes microscópicos de caracterização com microscopias longitudinais e transversais;
- vi) Propostas e direcionamento do emprego das fibras caracterizadas para finalidade de produção têxtil (fios têxteis, reforço para compósitos, mantas de não tecidos, etc.).

1.3. Justificativa

O estudo se justifica plenamente pelo fato que a indústria têxtil e de transformação cresce em elevadas proporções no Brasil, fazendo com que as empresas busquem novas alternativas e materiais para a produção de novas tecnologias que aliem economia, sustentabilidade e funcionalidade. Nos últimos 20 anos o consumo brasileiro de fibras têxteis sintético-artificiais cresce enquanto que o de naturais decresce (REDETEC, 2011). Devido a grande demanda destas fibras é necessário o estudo e desenvolvimento de novos têxteis e de alternativas de uso mais sustentáveis; fibras naturais animais. Por isso, este estudo está baseado na necessidade de analisar a possibilidade de inserção de um novo material de origem têxtil natural. O material é menos agressivo ao meio ambiente, pois além de aproveitar um resíduo de descarte da indústria avicultura (1,175 milhões de toneladas/ano), o processo de fabricação é similar ao do algodão, ou seja, menos poluente que o processo de fibras químicas. Com os resultados obtidos nesta pesquisa pôde-se aumentar o conhecimento na área através de publicações e palestras.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fibra Têxtil

De acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), fibra têxtil é um material, natural ou químico, que se caracteriza por apresentar um comprimento pelo menos 100 vezes superior ao diâmetro ou espessura (KUASNE, 2008). A classificação é realizada em relação à origem:

Fibras naturais: Podem ser de origem vegetal como semente e frutos (algodão, coco); caules (linho, cânhamo, rami, malva, juta); folhas (sisal, caroá); origem animal como lãs e pelos que se extraem a fibra da derme (ovelha, coelho, cabra, angorá, mahair, cashemir) ou a seda na qual a fibra é formada de secreção (seda cultivada, seda silvestre); origem mineral como o asbesto (amianto).

Fibras químicas: Podem ser de polímeros naturais entre eles celulósicas (celulose regenerada como a viscose, modal e liocel e ésteres de celulose como o acetato e triacetato); alginato (alginatos); animais (caseína); e podem ser de polímeros sintéticos por meio da policondensação (poliéster, poliamida) ou polimerização de adição (polipropileno, poliacrilonitrilo, poliuretano) (HAMLYN, 2010).

2.2. Fibra Têxtil de Origem Animal

As fibras de origem animal mais conhecidas e utilizadas no mercado são a lã e a seda.

“A lã é obtida do pelo de ovelha. O principal componente da lã é queratina, substância proteica contendo além de carbono, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, átomos de enxofre. A cutícula externa da lã, vista ao microscópio, é constituída de escamas. Essas escamas é que conferem à lã a propriedade de feltragem.” (SALÉM, 2010, p. 14).

Pelos como alpaca, camelo, cachemir, coelho, dentre outros também são utilizados na indústria têxtil. As propriedades químicas e tintoriais são semelhantes às da lã (SALÉM, 2010).

A lagarta (*Bombyx mori*) se alimenta exclusivamente de folhas de amoreira e é

responsável pela produção do fio de seda. A seda é formada por Fibroína, matéria proteica que constitui cerca de 70% do filamento e Sericina, ou cera, substância solúvel em água fervente, soluções de sabão ou álcalis. Essa parte é removida por degomagem nos tratamentos prévios (SALÉM, 2010).

2.3. Tipos de Penas

Segundo o Dicionário Oxford (2005), pode-se definir a palavra pena como “Qualquer um dos apêndices planos que crescem a partir da pele de uma ave e forma a sua plumagem. É constituído por um eixo oco, partes de franjas com hastes de farpas ou rebarbas”.

A figura 1 a seguir apresenta os tipos de penas e como se classificam de acordo com suas definições:

Figura 1. (a) Penas de contorno; (b) Penas de baixo; (c) Semiplumas; (d) Filoplumas (FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011).

As Penas de contorno dão à ave sua forma arredondada com características suaves, sua coloração visual e fornece um primeiro nível de defesa contra objetos físicos, vento, sol e chuva, sendo assim, essenciais para a proteção da ave. As penas de contorno mais comuns são a cauda e as penas de voo. À primeira vista elas podem parecer a mesma, mas as penas da cauda são geralmente mais equilibradas, com um eixo central duro e penas de voo tem um lado mais largo e mais estreito para ajudar a cortar o ar (WILD BIRDS UNLIMITED NATURE, 2011). Penas de Baixo são penas

menores e não possuem as Barbas e seus Acúleos para que não seja um material compactado e completamente fechado, além do mais, elas são suaves e macias. São esses tipos de penas que fornecem a maior parte do isolamento com o ambiente externo, sendo consideradas como excelentes isoladores térmicos (FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011). As penas mais comuns são as de Contorno e de Baixo. A Semiplumas é uma mistura entre uma Pena de Contorno e uma Pena de Baixo, no entanto a principal função é complementar o fornecimento de isolamento térmico, já que a penugem serve para prender o ar entre as penas e a pele da ave. Outra função da Semiplumas é proporcionar forma e volume para a ave.

Filoplumas são penas muito pequenas e tem apenas algumas penugens em sua ponta. Elas crescem em torno das Penas de Contorno. Acredita-se que a Filoplumas tem uma função sensorial, fazendo com que as aves mantenham suas penas orientadas, além do mais podem ajudar as aves a detectar a posição das penas em voo (FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011). Para voarem as penas têm que ter forma aerodinâmica e uma massa total baixa. Cerca de 50% dessa massa das penas é proveniente das fibras e os outros 50% da raque (BARONE, 2005). Aproximadamente 400 milhões de toneladas de fibras estão disponíveis como fibras proteicas naturais a cada ano. Isto significa uma disponibilidade de 8% das fibras de proteína consumidas no mundo a cada ano. Uma vez que as duas fibras proteicas naturais - lã e seda - são fibras relativamente caras, utilizando, desta maneira, fibras de baixo custo, como fibras de frango, a quantidade de fibras naturais proteicas aumentará significativamente, além de gerar valor econômico às penas de resíduo também contribuirá para a sustentabilidade industrial, seja ela qual for a aplicação.

2.4. Estrutura da Pena

Segue detalhadamente as estruturas da pena na figura 2:

Figura 2. (a) e (b) Estrutura da pena (BACK YARD CHICKENS, 2012; FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011). Adaptado pela autora.

As funções das penas estão altamente relacionadas com as suas propriedades mecânicas e as suas propriedades mecânicas estão relacionadas com a estrutura da queratina. A maioria das penas partem de uma estrutura geral comum, porém existem vários tipos diferentes de penas adotadas para funções especializadas de acordo com cada espécie ou *função* da ave. Mudanças na estrutura das penas fornecem as adaptações necessárias para as aves as utilizarem de muitas maneiras diferentes.

As penas têm uma forma básica composta por um eixo central oco, chamada coluna vertebral oca. A partir dela surge uma série de pequenos ramos laterais. Os ramos laterais são chamados de Barbas ou fibras, propriamente ditas, e estão ligados entre si por um conjunto de ramificações ou acúleos. A maior parte constituinte da pena é a Barba (fibra). A base da pena - onde existem ramos laterais - é chamada de Cálamo ou pena propriamente dita (XIULING, 2008).

O Vexil ou borda da pena também é chamado de pá exterior. O Eixo central é dividido em duas regiões: O Cálamo é a parte do eixo mais próximo do corpo da ave. Ele é oco e não contém quaisquer hastes ou pás ligadas a ele. A extremidade distal (afastada) do eixo central é referida como coluna vertebral. A Ráquis é sólida e é

definida como uma área a qual as hastes ou pás estão ligadas a ela (FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011).

As hastes estendem-se dos dois lados da pena. Uma série de ramos paralelos chamados Barbas, pena posterior e penugem compõem a borda da pena. A partir das Barbas, forma-se uma série de raminhos curtos chamados Bárbules. Acúleos pequenos servem para amarrar as Barbas e as farpas juntas. Este arranjo um pouco complexo cria uma estrutura forte, porém leve; a pena (CORNELL UNIVERSITY, 2010). A densidade desta estrutura de frango é de 0.8 g/cm³ comparada com 1.5 g/cm³ das fibras celulósicas e 1.3 g/cm³ da fibra de lã (JONES, 1998). Nenhuma das fibras naturais ou sintéticas possui uma densidade tão baixa quanto a de pena de frango. O diâmetro da fibra é de aproximadamente 5 a 50 µm e o comprimento, podendo variar de 3 a 13 mm. Tais propriedades únicas tornam as fibras preferíveis para muitas aplicações, tais como têxteis e materiais compostos usados para aplicações automotivas. Além da estrutura e propriedades únicas, as penas são baratas, disponível em abundância e uma fonte renovável de fibras proteicas.

2.5. Composição da Pena

Em relação à análise química das penas, em geral, a composição química corresponde à do fio de cabelo, embora as penas tenham muito menos oxigênio e muito mais ácido silícico. Em água quente, ela pode ser dissolvida totalmente. Lencina e Tirosina são obtidas por fervura em ácido sulfúrico diluído. A queratina é o principal constituinte das substâncias, já que as penas de aves contêm cerca de 90% de proteínas, além de ser uma fonte barata e renovável (BARONE, 2005).

Segundo o site Ornithology as penas, precisamente falando, são constituídas por cerca de 91% proteínas, 1.3% gorduras e 7.7% água. Uma pena de tamanho médio e jovem consiste das seguintes substâncias químicas: água (42,65%); compostos de nitrogênio (53,63%); gorduras (1,69%), cinzas (2,03%). O nitrogênio é o mais abundante elemento, que compreende 15% da pluma. Outros elementos encontrados em penas são de enxofre (2,57%), cloro (0,53%), fósforo, sob a forma de pentóxido (0,34%), o silício, sob a forma de ácido silícico (0,22%), cálcio e o óxido (0,10%). Um amino ácido sulfúrico cristalino chamado cistina, pode ser extraído das penas. Um tipo de pena pode ser diferente do outro, na sua composição química. Por exemplo, o teor

de gordura das penas de patos e gansos é maior do que a das penas de frangos e perus. Penas são higroscópicas, de modo que seu conteúdo de água depende da umidade atmosférica de seus arredores (GANS, 2008).

2.6. Queratina e Estrutura Química

A queratina é uma proteína rígida que também é encontrada no cabelo, pele e unhas. Aves e répteis têm suas próprias queratinas, muito diferente das queratinas dos mamíferos. A queratina fibrosa da pena pode ser esticada cerca de 6% antes da quebra, ao contrário de cabelo (α -queratina) que pode ser esticada apenas duas vezes o seu comprimento. Químicos de proteínas acreditam que a estrutura principal e secundária na ave é a réptil queratina (β -queratina) (WANG et al., 2006).

As funções das penas são altamente relacionadas com as suas propriedades mecânicas e as suas propriedades mecânicas estão relacionadas com a estrutura da queratina. Queratina possui uma estrutura que transporta as forças através da distorção desprezível.

Os principais materiais renováveis são obtidos a partir de polissacarídeos, lipídios e proteínas. A queratina é uma proteína fibrosa encontrada em abundância na pena de frango, a qual pode ser classificada como um polímero natural tridimensional formado por vários aminoácidos capazes de promover ligações intramolecular e intermolecular, permitindo assim, que os materiais resultantes tenham uma grande variação nas suas propriedades funcionais (MOORE, 2005; ARUN, 2012).

Uma vez que a fibra de pena de frango é composta principalmente de queratina, proteína estrutural, a sua durabilidade química, portanto, é determinada principalmente por queratina, porque a queratina tem extensa ligação cruzada e forte ligação covalente na sua estrutura. As fibras de penas mostram boa durabilidade e resistência à degradação. A durabilidade em experimentos químicos mostra que as fibras de penas de frango degradam-se rapidamente em ambientes alcalinos, mas significativamente menor em condições quase neutras e ligeiramente ácidas (XIULING, 2008).

A pena é um resíduo gerado em grandes quantidades devido ao processamento em abate de aves para fins comerciais. É uma fonte com alto teor de proteína, ou seja, mais de 750g para cada 1000g é proteína bruta, além do mais a pena é a biomassa mais abundante de queratina no mundo (ONIFADE et al., 1998).

A capacidade de flexão em múltiplas direções, sem ruptura é uma qualidade importante da queratina e também fornece uma matriz fibrosa e resistente nos tecidos (YAMAUCHI, 2002).

Existem dois tipos de queratina: alfa-queratina e beta-queratina. Alfa-queratina é encontrada nos tecidos suaves das fibras proteicas de lã de ovelha, cabelo e pele. É torcido e se forma como um fio de corda. Alfa-queratina possui aminoácidos sequenciais rico em cisteína e pobres em hidroxiprolina e prolina. Beta-queratina se encontram nos tecidos rígidos das fibras de proteína, tais como penas de aves, unhas, escamas de peixes e outros. O beta-queratina possui uma sequência de aminoácidos ricos em glicina e alanina e pobre em cisteína, prolina e hidroxiprolina, além do mais a queratina é composta por vinte tipos de proteínas, os quais diferem apenas por alguns aminoácidos (ARUN, 2012).

A queratina é insolúvel em água e em compostos orgânicos. As propriedades químicas de queratina são ácidos fracos e bases. Caracteriza-se pelo teor de cistina na sequência de aminoácidos de queratina e pode ser hidrolisado, reduzido e oxidado. Elevada resistência de queratina é influenciada pelas duas moléculas de cisteína ligadas por pontes de dissulfeto (KELLY et al., 2011).

Na proteína queratina existem duas propriedades: hidrofílicas e hidrofóbicas, mas de 95 aminoácidos 39 são hidrofílicos. Serina é o aminoácido mais abundante, cada resíduo de serina faz com que a pena de frango absorva a umidade do ar. Portanto, as fibras de penas são higroscópicas e possuem aproximadamente um teor de umidade em torno de 7% (XIULING, 2008).

2.7. Extração da Queratina

A pena de frango é o material queratinoso mais abundante no mundo. A queratina é uma proteína fibrosa estrutural a qual possui ligações cruzadas de enxofre entre as moléculas de cisteína (aminoácido componente das proteínas dos seres vivos). As ligações de hidrogênio são responsáveis pela boa rigidez e resistência de queratina. Para a extração da queratina de penas de frango ser concretizada, as pontes de dissulfeto (unidade estrutural composta de um par ligado de átomos de [enxofre](#)) e hidrogênio necessitam ser quebradas (XIULING, 2008).

Segundo Reddy (2007), na década de 1940 a 1950 uma série de estudos mostrou que as ligações cruzadas intermoleculares na queratina podem ser quebradas para

obter uma fração, que podem ser transformadas em materiais poliméricos, tais como filamentos e fibras. Esses materiais biopoliméricos de queratina de pena podem ser interessantes para aplicações em embalagem ou como material de reforço fibroso de matriz em compósitos.

“A fibra de penas é excepcionalmente forte e rígida” (MARTINEZ-HERNANDEZ et al, 2005). Existe uma estreita relação entre a força da fibra ao comprimento das cadeias moleculares constituintes. Para manter as propriedades mecânicas, as cadeias de proteína precisam ser mantidas durante a extração de queratina de penas de galinha (HOWITT, 1955).

Atualmente, existem vários métodos para se dissolver a queratina das penas de frango. Tanto agentes redutores¹ e agentes oxidantes podem ser utilizados para quebrar as ligações de dissulfureto. O método mais comum é utilizar agentes redutores na solução alcalina sendo a alcalinidade pré-requisito para a redução. Explicando a incapacidade dos agentes de redução para dispersar queratina em soluções alcalinas em pH inferior a 10, existe a hipótese em que, para a dispersão de queratina, ambos os grupos dissulfureto e as ligações de sal da molécula de queratina devem ser quebrados (XIULING, 2008).

Jones e Mecham (1943) estudaram a dispersão de queratina de pena em Na₂S (sulfeto de sódio) soluções sob várias condições experimentais, tais como temperatura, tempo de concentração, Na₂S, razão de queratina de Na₂S e recuperação dispersa da proteína por acidificação da dispersão do pH 4,2. Eles descobriram que quando as penas foram tratadas com 0,1 M Na₂S (100 ml de solução por 7,5 g de queratina) durante cerca de 2 horas a 30° C, a dispersão de queratina de penas foi obtida com degradação mínima. Eles também encontraram que desnaturantes de proteínas como a uréia poderia ajudar a dispersar a queratina em meio neutro e alcalino e poderia também funcionar como um agente de dispersão para a queratina reduzida.

“Schrooyen *et al.* estudaram a estabilização de soluções de queratina de penas por

¹ Os agentes de redução ajudam a diminuir a estabilidade das fibras de queratina sólidas presentes em penas. Estes reagentes quebram pontes de dissulfeto, ligações de hidrogênio e sal e ligações das fibras de queratina, a fim de dissolver em solução a proteína. Alguns dos agentes redutores utilizados para redução das pontes de dissulfureto são o ácido tioglicólico, cianeto de potássio e sulfureto de sódio. Estes redutores agem muito rapidamente e sem ocasionar qualquer alteração química ou dano para a produção de proteína (COWARD-KELLY, 2010).

sódio dodecil sulfato (SDS)” (JONES, 1943). Eles extraíram a queratina de penas com as soluções aquosas de ureia e de 2-mercaptoetanol. A remoção do 2-mercaptoetanol e ureia por diálise resultou em agregação das cadeias polipeptídicas de queratina e da oxidação dos resíduos de cisteína para formar um gel. SDS foi adicionado à solução de diálise antes da queratina para evitar a agregação extensiva das cadeias de queratina. Verificou-se que o maior SDS / queratina (1 a 2g de SDS / g de queratina) pareceu evitar a reação de oxidação entre as cadeias de queratina diferentes, o que resulta na ligação de dissulfureto intramolecular mais sua formação (XIULING, 2008).

2.8. Aplicações da Queratina

A solução de proteína da queratina pode ser utilizada para vários fins, tais como creme antienvelhecimento, shampoo, alisador de cabelo, condicionador e para fins médicos, como a substituição do osso por enxerto ósseo (ARUN, 2012; KELLY et al., 2011).

2.9. Fibras Têxteis de Penas

Segundo YANG (2007) a estrutura e as propriedades das Barbas da pena de frango tornam as fibras exclusivas e preferidas para diversas aplicações, pois a presença de estruturas ocas parecidas com o favo de mel, a sua baixa densidade, alta flexibilidade e a interação estrutural possível com outras fibras têxteis é capaz de fornecer propriedades únicas e diferentes de quaisquer outras fibras naturais ou sintéticas.

A literatura, em geral, é muito escassa sobre a estrutura física das fibras de penas de frango e a atuação destas para a área têxtil, porém a literatura existente fornece alguns dados importantes como as propriedades de tensão das Barbas em termos de força e módulo de Young (módulo de elasticidade) que são semelhantes, mas o alongamento é inferior à da lã (YANG, 2007). Usando penas - direcionadas para o descarte - como fibras de proteína animal (fibra natural animal) vai haver economia de energia, pois a fibra é de origem natural e já está em sua forma natural para ser utilizada, beneficiando o meio ambiente, reutilizando um material de descarte e também tornando a indústria de fibras mais sustentável, haja vista que é uma das

indústrias que mais poluem o meio ambiente por meio de processos com aditivos irreversíveis e extremamente poluentes, matéria-prima proveniente do petróleo, contaminação das águas residuais/ formação de efluentes, entre outros aspectos.

As penas *in natura* não podem ser processadas como as fibras de lã e seda, devido à sua estrutura complexa, embora as estruturas secundárias das penas, ou seja, as fibras têm estrutura e propriedades que as tornam adequadas para utilização como fibras de proteínas naturais. A baixa densidade, compressibilidade e excelente capacidade de resiliência (propriedade do material em voltar ao estado original quando retirada a carga ou a força que o comprimia), isolamento do som, a retenção de calor são algumas das propriedades que a fibra da pena apresenta (YANG, 2007).

Segundo Barone e Jones (2005; 1998), a densidade das penas de frango é cerca de 0,8 g/cm³ em comparação com 1,5 g/cm³ para fibras de celulose e cerca de 1,3 g/cm³ para lã. Nenhuma das fibras naturais ou sintéticas disponíveis comercialmente hoje tem uma densidade tão baixa quanto a de penas de frango. Tais propriedades se tornam únicas para muitas aplicações como fios têxteis e compósitos utilizados, por exemplo, para aplicações no setor automotivo. Além de possuir uma estrutura única, as penas e consequentemente as fibras, são baratas, disponíveis em abundância e uma fonte renovável em fibras proteicas (YANG, 2007).

As penas de aves contêm cerca de 90% de proteína além de ser uma fonte barata e renovável para fibras de proteínas. As fibras constituem cerca de 50% do peso das penas e os outros 50% é Ráquis (BARONE, 2005).

Segundo Yang (2007) 20% das fibras têm comprimento maior que uma polegada - comprimento mínimo necessário para aplicações têxteis – e cerca de quatrocentos milhões de quilos de farpas estará disponível como fibras naturais de proteína a cada ano. Isto significa uma disponibilidade de 8% das fibras de proteína consumidas no mundo a cada ano, já que as duas fibras de proteínas naturais (lã e seda) são fibras relativamente caras, utilizando fibras de baixo custo como fibras de proteínas. O número de fibras proteicas provenientes das penas irá aumentar significativamente, pois o produto possui um ganho econômico e propriedades muito interessantes e superiores a muitas outras fibras.

No entanto, fibras de penas comercialmente disponíveis são fibras com comprimento cerca de 0,3 à 1,3 centímetros. Desta forma, essas fibras não possuem comprimento necessário para serem processadas em máquinas têxteis, portanto, não é adequado

para a fabricação de fios constituídos 100% de farpa de penas. Para conseguir produzir um fio de fibra de pena é necessário realizar uma mistura com outras fibras naturais ou químicas (YANG, 2007). Segundo Evazynajad (2002) as atuais aplicações da pena de frango são principalmente em compósitos e não tecidos.

Encontrar fontes alternativas para substituir, pelo menos, uma parte dos 67 milhões de toneladas de fibras naturais e sintéticas atualmente em utilização, é importante, devido à redução da disponibilidade de recursos necessários para produzir o material (REDDY, 2005).

2.10. Possíveis Aplicações das Fibras de Pena

Preocupações ambientais incentivam o estudo para substituir materiais sintéticos por naturais. As fibras naturais têm atraído cientistas e engenheiros por causa de suas vantagens do ponto de vista ambiental, mas quase em todos os estudos a investigação tem sido focada em celulose a partir de fontes vegetais. Por essa razão o interesse econômico em materiais de descarte, como a fibra de pena, lidera nas pesquisas científicas (XIULING, 2008).

Cientistas têm trabalhado com materiais compósitos utilizando a fibra de pena de frango como reforço, melhorando assim, as propriedades dos materiais já existentes, tornando os materiais mais biodegradáveis e com novas possibilidades de aplicações. Produtos como compósito de papel com fibra de pena, plástico para a produção de painéis de automóveis e de barcos, materiais de isolamento de som, compósitos para divisórias e móveis de escritório, compósitos para carros e alguns compartimentos para carretas são algumas das aplicações para o resíduo da pena de frango.

Segundo Xiuling (2008) a pena de frango tem sido estudada para substituir a polpa celulósica de madeira (eucalipto) para o feitiço de produtos de papel, tais como filtros de ar e papéis decorativos. Devido ao tamanho e a forma fina das fibras de penas, a filtração pode ser o primeiro valor comercial para penas de frango processadas. Muitos filtros são feitos a partir de fibras de polpa de madeira, mas a vantagem das penas é que as fibras de eucalipto apresentam 10 a 20 μm de espessura enquanto que as fibras de pena de frango apresentam apenas 5 μm . Consequentemente, os filtros produzidos a partir de fibras de penas terão orifícios menores. Desta maneira, algumas vantagens para a substituição da polpa de madeira pela pena de frango são: melhor permeabilidade do ar e melhor filtrabilidade, completa reutilização dos

resíduos, diminuição da poluição ambiental, redução do consumo de polpa de madeira, redução de custos. Além do mais, o compósito de papel é capaz de conter apenas 49% de madeira celulose enquanto que as fibras de penas podem conter até 51% (XIULING, 2008).

Na Universidade de Auburn, em Alabama um pesquisador desenvolveu Nãootecidos de fibras de penas combinando com fibras sintéticas. A combinação resultante isola bem e mantém a sua forma. Verifica-se que o isolamento de penas pode ser utilizado em acolchoados, sótãos e paredes. Em compósitos com termoplásticos poliésteres, as penas aumentaram a força ao rompimento em 20% e diminuição de peso em 50%. A partir de testes físicos e microscópicos descobriu-se que existe interação entre a fibra e o polímero sem a necessidade de agentes de acoplamento ou tratamento químico. As fibras de penas podem ser diretamente incorporadas no polímero usando o padrão termomecânico e técnicas de mixagem.

Propriedades do concreto, como resistência e durabilidade foram melhoradas através do reforço com 2% de pena de frango, indicando um produto mais barato e leve outro estudo foi a utilização da fibra de pena de frango para a separação de metais pesados da água. Verificou-se que a fibra de pena possui boas propriedades de absorção e remoção de metais pesados tais como cobre, chumbo, crômio, mercúrio e urânio (XIULING, 2008).

2.11. Produção brasileira de frango e descarte de penas

Atualmente, as penas podem ser consideradas como "lixo", pois seus usos são economicamente inviáveis e sua eliminação é um processo difícil. As penas são, muitas vezes, cozidas e esterilizadas à temperatura elevada e à pressão elevada, e depois são secas e moídas para virar pó e ser usada como um suplemento alimentar para o gado, principalmente no caso dos ruminantes. No entanto, este é um processo bastante caro (SHAW, 1978).

Métodos de eliminação, como queimar ou enterrar também são muito usados, mas são prejudiciais ao meio ambiente. A queima de penas causa a poluição do ar e se depositadas em um aterro, elas se decompõem muito lentamente e requerem uma grande quantidade de terra. Dados sobre o abate nacional de animais de produção mostram que o Brasil, em 2000 produzia 5,98 milhões de toneladas de frango passando em 2010 a produzir 12,23 milhões toneladas de carne de frango sendo

1.102 milhões de penas descartadas. Em 2011 a produção aumentou para 13.05 milhões e hoje o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frangos, sendo o descarte de penas 9% do valor de produção, ou seja, 1,175 milhões de toneladas descartadas. Além do mais o Brasil se posiciona como o primeiro país que exporta carne de frango no mundo com 3.943 milhões de toneladas em 2011 (UBABEF, 2011).

Em 1950, o reaproveitamento de produtos do abate de frangos de corte deu origem à fabricação de farinhas de vísceras e de penas. Entre 1960 e 1970, o uso de farinhas e gorduras de origem animal se disseminou para que os animais crescessem mais rápido, desta forma, consumiriam menos ração e apresentariam custo de produção muito inferior aos que comiam apenas grãos (ABRA, 2011).

“Em 1986, na Inglaterra, o gado foi abatido por uma doença semelhante ao *Scarpie* de ovelhas, que veio a ser conhecida como “doença da vaca louca” (nome científico: *Encefalopatia espongiforme bovina*: BSE). De início, a causa era desconhecida, e apenas em 1990 que se passou a compreender que a transmissão se dava pelo consumo de farinhas de origem animal, majoritariamente ovelhas que teriam morrido de *Scarpie* nas fazendas e que teriam sido recolhidas e enviadas para a reciclagem animal, contaminando animais sadios. Com isso, o uso de farinhas de ruminantes, em dietas de ruminantes, foi banido na Inglaterra em 1990” (ABRA, 2011, p. 12).

Apesar de o Brasil ser considerado um país com baixo risco de apresentar BSE, banuiu-se completamente o uso de farinhas de origem animal em dietas de ruminantes. Além disso, o Brasil proibiu o uso de cama de frango² e quaisquer resíduos de abate, assim como exigiu a esterilização de todas as farinhas que contenham resíduos de ruminantes. Dessa forma, acredita-se que o risco do Brasil apresentar casos de BSE seja extremamente reduzido (ABRA, 2011).

Com a produção de farinha, proveniente de penas de frango, banida para a alimentação de animais, o descarte de penas se torna inaproveitável, salvo alguns

² A cama-de-aviário ou cama de frango é o conjunto do material utilizado para forrar o piso do aviário, que pode ser de palha de arroz, feno de capim, sabugo de milho triturado ou serragem, misturado com fezes, urina, restos de ração e penas. Parte desta ração cai na cama, e conseqüentemente o bovino que consumir a mesma corre o risco de contrair a doença. O mesmo risco ocorre se alimentarmos ruminantes com resíduos da criação de suínos (SHAW, 1978).

produtores que se arriscam e ainda continuam produzindo farinha como alimentação para os animais de corte, o que segundo a ABRA (2011) o valor chega em 33%, ou seja, 0,387 milhões de toneladas de penas ainda são direcionadas para a produção de farinha. Diante dos fatos expostos, um estudo de reaproveitamento de 0,788 milhões de toneladas de penas descartadas, se torna indiscutivelmente viável. No mundo, a cada ano, são produzidas mais de 4 bilhões de toneladas de penas de frango (WINANDY, 2003).

2.12. Fibra de Lã

A lã é a fibra natural animal que constitui a cobertura protetora externa dos ovinos. Desta maneira, a lã conserva a temperatura do corpo, pois o ar que fica entre as fibras, desenvolve uma camada protetora, não permitindo o superaquecimento e não permite que o frio alcance a pele. A lã designa-se para os pelos de animais como: alpaca, lama, caxemira, cabra angorá, coelho angorá, vicunha, castor, guanaco e lontra. A alimentação do animal tem uma grande importância na composição da fibra e na densidade do pelo. Os principais países produtores de lã são; Austrália, Rússia, Nova Zelândia, Argentina, África do Sul, Estados Unidos da América, Uruguai, Reino Unido, Brasil e Chile (SILVEIRA, 2010).

A fibra de lã se classifica de acordo com suas propriedades de finura aparente, comprimento, rendimento presumível, ondulação, toque, cor e aspecto geral do velo. “A tosquia consiste em cortar rente à pele a lã dos animais. É um trabalho de grande importância, pois, se bem feito, contribui muito para a valorização da lã, mas, se é mal feito, pode estragar um produto que demorou um ano a criar” (SILVEIRA, 2010, p. 26).

“A fibra de lã consta de três partes perfeitamente diferenciadas, com distintas propriedades: Cutícula, Córtex e Medula. A cutícula protege a fibra dos agentes exteriores e a sua parte externa é muito resistente ao ataque químico. O córtex é a parte principal da fibra de lã, ocupando aproximadamente 90% do total da mesma e dele depende a maioria das suas propriedades: resistência, elasticidade, propriedades tintoriais, etc. A medula é um canal central que se apresenta em certos tipos de lãs e está formada por células medulares de diferente natureza que as do córtex, apresentando-se em geral em lãs médias ou grossas” (SILVEIRA, 2010, p. 26).

Segundo a composição química a lã apresenta a seguinte composição elementar aproximada: Carbono (C) 50%, Hidrogênio (H) 7%, Oxigênio (O) 22/25%, Nitrogênio (N) 16/17% e Enxofre (S) 3 / 4%. A fibra de lã é composta por queratina a qual se caracteriza por ser uma proteína rica em enxofre, elemento que não se encontra em qualquer outra fibra (SILVEIRA, 2010).

2.13. Fibra de Lã de Alpaca

Alpacas têm sido utilizadas para a produção de fibras têxteis e para o consumo da carne (PUMAYALLA, 1988). A qualidade da fibra de alpaca, como em todas as outras espécies de fibras de produção, é altamente dependente do diâmetro médio da fibra. No entanto, outras características tais como, a cor da lã também desempenha um papel importante (VINELLA, 1994), além das descrições dos parâmetros fenotípicos e genéticos relacionados com a produção da fibra e da qualidade, pois, são necessárias para a concepção de um programa de melhoria genética. Outras propriedades que a fibra de alpaca possui são boa elasticidade, sensação de suavidade, boa propriedade térmica, resistência de tração e flexibilidade, durabilidade e cor (PONZONI et al., 1999).

A qualidade do fio de alpaca é fortemente relacionada com a maciez à capacidade de “picar” ou coçar a pele do usuário, propriedades, as quais estão ambas relacionadas com o diâmetro médio da fibra e da proporção de fibras menores ou iguais a 30 μm (SWINBURN et al., 1995).

Embora o branco seja a cor mais comum, fibras de alpacas têm uma vasta gama de cores. Nos últimos anos houve um aumento da preferência de tecidos com cores naturais por conta do contexto ecológico (GALLOTI, 1995). As cores de fibras mais desejadas são: branco, preto, marrom avermelhado e dourado.

2.14. Testes Físicos, Químicos e Microscópicos.

As propriedades físicas, químicas e microscópicas das fibras têxteis de pena de frango são a base para quaisquer desenvolvimentos de materiais posteriores.

2.15. Testes Físicos

Os testes físicos para a caracterização da fibra de pena de frango são: comprimento, título, ensaio de tração, ensaio de encolhimento à fervura e *regain* e umidade.

2.16. Testes Químicos

O teste caracteriza quimicamente, em combustão, o material fibroso, de acordo com as propriedades do tipo de chama, a cinza, a combustão, o odor, e a fusão (KOLBE, 2003; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; MALUF; CASTRO, 1984). Trata-se de uma análise qualitativa na qual imediatamente após o teste as pessoas anotam as impressões.

2.17. Testes Microscópicos

As fibras têxteis vistas a olho nu podem parecer todas iguais ou podem ser bem semelhantes. Na realidade, as fibras, ao microscópio, têm aspectos muito variados em relação à sua origem e natureza. A análise microscópica é uma das maneiras que permite identificar fibras que são desconhecidas e distingui-las umas das outras de acordo com suas características. Pode-se realizar o teste microscópio das fibras na longitudinal, ou seja, caracterizar as fibras ao longo de sua superfície, como por exemplo, as propriedades de volume, escamas, camadas grossas ou finas, etc., ou na transversal, ou seja, caracterizar o interior da fibra, por meio da secção transversal, como por exemplo, as propriedades de tubulações, se a fibra é oca, inteiriça, se possui lúmen (característica de fibras vegetais), se o formato da fibra é redondo, achatado, triangular, trilobal, dentre outras propriedades.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para a caracterização física das fibras da pena de frango foi adaptada da metodologia utilizada por (SEAWRIGHT;BARUQUE-RAMOS, 2011) (SEAWRIGHT et al., 2011) e (BARUQUE-RAMOS, 2011) na caracterização das fibras.

3.1. Coleta do Material

Penas de frango foram obtidas a partir de um matadouro doméstico na cidade de Paranapanema, interior de São Paulo, o qual cria frangos para consumo próprio e para pequeno comércio. O laboratório para a realização dos testes foi cedido pela empresa Rhodia Poliamida Ltda. A figura 3 mostra as penas em seu estado natural.

Figura 3. Penas de frango *in natura*.

3.2. Preparação do Material

As penas foram lavadas e esterilizadas três vezes utilizando água, 5% de detergente e cloro de sódio para remover dejetos e materiais presos às penas (figura 4). Fibras ou Barbas foram separadas da Ráquis manualmente com ajuda de uma tesoura. Recomenda-se que as fibras tenham aproximadamente 10 a 32 mm (MENANDRO, 2010).

Figura 4. Beneficiamento das penas com banho esterilizante.

3.3. Testes Físicos

Para realizar os testes físicos foram utilizadas apenas fibras esterilizadas, pré-tratadas e climatizadas à 21° C e umidade relativa de 65%. A temperatura e a umidade relativa estão de acordo com a norma de condicionamento de materiais têxteis (ABNT NBR ISO 139/08) a qual indica 20 +/- 2° C e umidade relativa de 65 +/- 2%. Os testes físicos aplicados às fibras foram:

3.3.1. Classificação da Fibra

A identificação da pena de frango como natural e animal (mesma classificação da seda e da lã) foi realizada pelas normas para identificação de fibras ABNT NBR 12744/92 e ASTM D 7641/10.

3.3.2. Climatização das Amostras

Depois de limpas e separadas da Ráquis as fibras passaram pelo processo de climatização (Climatizadora marca Mesdan. Modelo Quimis) por um período de 24 horas, à 21° C e umidade relativa de 65%. Conforme a norma ABNT NBR ISO 139/08 e ASTM D 1776/08, o material deve passar pelo processo de climatização anteriormente aos testes físicos e mecânicos (Figura 5).

Figura 5. Climatizadora Mesdan modelo Quimis.

3.3.3. Comprimento

Comprimento é a dimensão da fibra em seu estado natural. A determinação do comprimento comercial foi realizada por meio manual com uso de régua e com 20 corpos de prova (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO e CASTRO, 1984). As figuras 6 e 7 apresentam as fibras separadas e numeradas para a determinação do comprimento.

Figura 6. Determinação do comprimento da fibra de pena de frango.

Figura 7. Determinação do comprimento da fibra de lã de alpaca.

3.3.4. Determinação do Título Médio das Fibras

O teste será baseado na norma ISO 1973/95. Fez-se o cálculo do título médio das fibras com a medição do comprimento com o uso de uma régua e a pesagem de 20 fibras em balança analítica (Spinlab Instaweigh 485) (Figura 8). Realizou-se a pesagem das fibras e calculou-se a massa média de cada uma delas. Calcula-se o título médio pela seguinte equação:

Onde: (Eq.1)

$$T_m = \frac{M_m \cdot 10.000}{L}$$

T_m = Título Médio (dtex)

M_m = Massa Média do feixe (g)

L = Comprimento da fibra (m)

Figura 8. Balança analítica (Spinlab Instaweigh 485).

3.3.5. Ensaio de Tração de Fibras

A partir das amostras obtidas foi realizado, segundo a norma ASTM D 3 822/01, o ensaio para propriedades de tração de fibras têxteis singelas, obtendo as seguintes medições: carga de ruptura, alongamento e tenacidade. Foi utilizado o dinamômetro *Instron* (modelo 33R4204, Estados Unidos) (Figura 9) com distância entre garras de 10 mm, velocidade das garras de 50 mm/min e os mordentes de garras com dimensões de 2,5 mm x 2,5 mm. O aparelho fornece os valores da carga máxima de resistência na ruptura (cN), alongamento na ruptura (%), e a tenacidade na ruptura (cN/tex).

Onde: (Eq. 2)

$$\gamma = \frac{F}{T}$$

γ = Tenacidade (cN/tex)

F = Carga de Ruptura (cN)

T = Título (tex)

Figura 9. Dinamômetro *Instron* (modelo 33R4204, Estados Unidos) e realização do teste com a fibra de pena de frango.

3.3.6. Determinação do Teor de *Regain* e Umidade

O método é adaptado da norma ISO/TR 6741-4/87. A quantidade de umidade foi determinada pela pesagem de uma amostra condicionada a 20° C e 65% de umidade relativa em balança analítica. Em seguida foi realizada secagem em estufa com placa de petri e recirculação forçada de ar a 70° C até atingir peso constante e em seguida a amostra foi tarada novamente.

Deste modo, o Conteúdo Percentual de Umidade (*Umidade*) é definido como o peso da água calculado como uma percentagem do peso original da amostra:

$$\text{Conteúdo Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso original}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Recuperação Porcentual de Umidade (*Regain*) é definida como o peso de água calculado como uma percentagem do peso seco:

$$\text{Recuperação Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

O Coeficiente de Variação (CV) é a variabilidade dos dados (desvio padrão) em relação à média, estimando assim, a precisão de experimentos.

Cálculo do Coeficiente de Variação:

Onde: (Eq. 5)

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}.$$

Cv = Coeficiente de Variação

σ = Desvio Padrão

μ = Média

A média é o valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição.

(Eq. 6)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Cálculo da Média

(Eq. 7)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Desvio Padrão

3.3.7. Determinação da Taxa de Retração

Quando submetidos a tratamentos térmicos, a medida de retração de uma fibra ou filamento, além de fornecer um parâmetro de controle de qualidade, permite prever,

em parte, a estabilidade dimensional dos produtos resultantes. Este ensaio, portanto, permite determinar a taxa de retração de fibras e filamentos, sob forma de feixes, submetendo-os a um tratamento térmico em água à fervura em autoclave, sob condição de livre encolhimento. A norma utilizada foi ASTM D2102-02/12 para determinação da taxa de retração em água à fervura.

O comprimento de um feixe de fibras condicionadas em atmosfera padrão (temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$) e uniformemente paralelizadas é medido estando o feixe preso entre duas pinças e sob a ação de uma carga determinada. As extremidades do feixe foram juntadas com fita adesiva de forma que o material não pudesse se dispersar na água (Figura 10). Uma segunda medida é efetuada, sob condições idênticas, após o feixe ter sido submetido a um tratamento térmico em água à fervura. A alteração do comprimento foi calculada em porcentagem em relação à medida inicial. Para o experimento recomenda-se, segundo a norma, 20 corpos de prova, sendo cada feixe de fibra com 1,3g, pois o material que possuir até 40 mm de comprimento deve ter 1,3g de massa. O comprimento do feixe deve ser o mais longo possível, permitido pelo material fibroso.

Figura 10. Preparação para o teste de Retração.

3.4. Testes de Microscopia

3.4.1. Microscopia das Fibras

Segundo a norma ABNT NBR 13 538/95, utilizando as amostras de fibras pré-preparadas foram realizados, ensaios de identificação de fibras têxteis, por microscopia dos cortes longitudinal e transversal.

3.4.2. Preparação dos Corpos-de-Prova: Corte das Amostras para Microscopia Transversal

Desenvolveram-se corpos de prova em escala nanométrica a partir do aparelho chamado nanômetro (aparelho que faz cortes microscópicos até 10 μm) (figura 11).

Figura 11. (a) Material utilizado para a microscopia transversal; (b) preparação da amostra com resina; (c) corte da amostra manual com lâmina descartável.

Os materiais utilizados foram: lâminas descartáveis, navalha, solução limpadora de lentes, tesoura, penas preparadas, óleo de microscopia e acetona P.A classe 3. Primeiro, com as penas já cortadas manualmente, limpou-se as lâminas com a solução limpadora de lentes (CETAT Clear – Bluecare), depois se inseriu um feixe de fibras no micrótomo passando uma navalha de forma que se pudessem cortar os excessos em cima e embaixo. Em seguida o micrótomo foi programado para fazer uma amostra de 2,5 μm podendo assim, utilizar uma resina caseira para o endurecimento das fibras na parte de cima da amostra (2.5 μm). Após essa série de procedimentos, utilizou-se uma navalha para cortar a amostra inserida na resina e que imediatamente foi posta na lâmina com óleo de microscópio para a obtenção das secções transversais de cada fibra.

Os materiais foram analisados em microscópio biológico (Leica, modelo BME, Alemanha) acoplado a videocâmera de captação digital de imagens (Olympus 220 Color Video Camera, Westmont, Illinois) (Figura 12). As ampliações corresponderam a 150, 350 e 560 vezes.

Figura 12. Microscópio biológico (Leica, modelo BME, Alemanha) acoplado a videocâmera de captação digital de imagens (Olympus 220 Color Video Camera, Westmont, Illinois).

3.4.3. Corte Longitudinal

As vistas longitudinais foram realizadas com as fibras pré-tratadas, presas por um suporte de cartolina devidamente recortado (4 cm x 2,5 cm de medidas externas e 3 cm x 1,5 cm de medidas internas), colado e identificado, depositados diretamente para a microscopia. A análise se realizou com aumentos de 30, 67, 100 e 135 vezes o tamanho natural da fibra.

A análise foi realizada em estéreo-microscópio (Leica, modelo MS5, Alemanha) acoplado a videocâmera de captação digital de imagens (Olympus 220 Color Video Camera, Westmont, Illinois).

3.5. Testes Químicos

O único teste químico realizado nas fibras de pena foi o teste de combustão.

3.5.1. Teste de Combustão

Por meio da queima das fibras em temperatura e umidade ambiente, com peso aproximado de 0,2 g foram analisadas a combustão, o tipo de cinza que a fibra produz, o odor e a chama (MALUF; KOLBE, 2003; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; CASTRO, 1984).

Trata-se de uma análise qualitativa na qual imediatamente após o teste as pessoas anotam as impressões, a saber:

- tipo da chama (cor e intensidade);
- cinza (cor);
- combustão (queima, fusão ou retraimento da fibra);
- odor (papel ou madeira queimada, pelo queimado, vinagre, salsa verde, etc.);
- fusão (lenta, média, rápida).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Preparo do Material

No presente estudo, todas as penas coletadas passaram pelo processo de esterilização, lavagem e secagem (Figura 4). Posteriormente as fibras foram separadas da Ráquis (base) por meio manual com a utilização de uma tesoura. O corte das fibras foi efetuado próximo de sua Ráquis para que não se perdesse comprimento e as propriedades naturais devido ao formato da fibra ao longo da extensão. Para todas as amostras preparadas, suas identificações foram confirmadas em ambiente laboratorial e fotografadas após o preparo (Figura 6 e 7).

4.2. Testes Físicos

Para realizar os testes físicos foram utilizadas apenas fibras esterilizadas e pré-tratadas. Os testes foram: classificação da fibra de pena de frango como fibra natural e animal por meio da norma ABNT NBR 12744/92 e ASTM D 7641/10; climatização das amostras a 20° C e umidade relativa de 65%, conforme a norma de condicionamento de materiais têxteis para ensaios ABNT NBR ISO 139/08 e ASTM D 1776/08 (temperatura de 20 +/- 2°C e umidade relativa de 65 +/- 2%). Foi determinada uma amostragem de 20 fibras para calcular o comprimento, sua massa e calcular o título utilizando a norma ISO 1973/95 pela equação 1 (Eq. 1).

Para parâmetros de comparações, realizou-se a titulação da fibra de pena de frango e a da fibra de lã de alpaca. Os resultados seguem na tabela 1.

Tabela 1. Titulação da fibra de pena de frango e a da fibra de lã de alpaca respectivamente (fonte: autora).

	TITULO (dtex)		TITULO (dtex)
1	66,66	1	30,40
2	66,66	2	20,20
3	66,66	3	39,00
4	75,00	4	21,40
5	71,40	5	28,40
6	71,40	6	38,60
7	75,00	7	38,40
8	66,66	8	18,40
9	75,00	9	17,80
10	75,00	10	38,40
11	66,66	11	30,40
12	66,66	12	30,00
13	63,82	13	22,60
14	66,66	14	23,20
15	47,61	15	16,80
16	50,00	16	16,40
17	47,61	17	46,60
18	50,00	18	26,20
19	50,00	19	30,00
20	50,00	20	26,00
Média *	63,42	Média *	27,96
Coeficiente de Variação	16,00	Coeficiente de Variação	31,09
Desvio Padrão	10,15	Desvio Padrão	8,69
Máximo	75,00	Máximo	46,60
Mínimo	47,61	Mínimo	16,40
Média + 1 DP	73,57	Média + 1 DP	36,65
Média - 1 DP	53,27	Média - 1 DP	19,27

Tabela 2. Titulação de fibras reconhecidas no mercado comercial. Modificado pela autora (KASWELL, 1963).

Fibra	Título (médio) dtex
Pena	63,42
Lã	2 a 30
Seda	1,3

Algodão	2,1 a 3,6
Linho	2,1
Rami	18,4
Poliamida	1 a 240
Poliéster	1 a 175

Comparando as tabelas confeccionadas pela autora, verifica-se que o título médio da fibra de pena, dentre os títulos das fibras animais (lã e seda), é o maior (63,4 dtex). O sistema de titulação usado foi o Título Direto, pois representa o peso de um comprimento determinado de fio (no título dtex o comprimento é fixado em 10.000 m). Desta forma, o comprimento é constante e o peso é variável. Logo, quanto mais fino for o fio, o título será mais baixo. Neste sistema o comprimento é constante e medimos o peso. Assim, quanto maior o valor do título, mais grosso será o fio. Pode-se considerar desta maneira, a fibra de pena uma fibra de título médio. As aplicações para esse tipo de título podem ser para diversas áreas como a automobilística, aeronáutica, geotêxtil, compósitos, decoração, civil ou mesmo para a confecção de vestuário se misturada com lã ou algodão por exemplo.

O Gráfico 1 mostra o resultado do teste de normalidade realizado no minitab. No teste o valor de p foi menor que 0,05 e por isso pode-se afirmar com 95% de confiança que os valores do título não seguem a distribuição normal.

Gráfico 1. Análise de distribuição da probabilidade do Título da fibra de frango. Desenvolvido pela autora.

O intervalo de confiança da média do titulo com 95% de confiança calculado no minitab vai de 58,67 a 68,17.

4.2.1. Ensaio de Tração

Com as amostras foi realizado, segundo a norma ASTM D 3 822/01, o ensaio para propriedades de tração de fibras têxteis singelas com o dinamômetro *Instron* (modelo 33R4204, Estados Unidos) utilizando 20 corpos de prova (Tabela 3).

Tabela 3. Testes físicos da fibra da pena de frango. Desenvolvido pela autora.

	TÍTULO (dtex)	RESISTÊNCIA (cN)	ALONGAMENTO (%)	TENACIDADE (cN/tex)
1	66,66	63,82	11,67	9,57
2	66,66	73,29	11,67	10,99
3	66,66	35,53	14,17	5,33
4	75,00	65,59	17,50	8,74
5	71,40	68,45	15,00	9,59
6	71,40	65,68	17,50	9,20
7	75,00	65,31	14,17	8,71
8	66,66	54,55	15,00	8,18
9	75,00	61,16	14,17	8,15
10	75,00	54,94	12,50	7,33
11	66,66	57,03	15,00	8,55
12	66,66	46,31	15,83	6,95
13	63,82	45,29	15,00	7,10
14	66,66	47,47	15,00	7,12
15	47,61	38,68	14,17	8,12
16	50,00	35,74	11,67	7,15
17	47,61	37,55	14,17	7,89
18	50,00	42,35	15,00	8,47
19	50,00	36,37	11,67	7,27
20	50,00	34,60	20,00	6,92
Média *	63,42	51,49	14,54	8,07
Coefficiente de Variação	16,00	25,17	14,82	15,49
Desvio Padrão	10,15	12,96	2,15	1,25
Máximo	75,00	73,29	20,00	10,99
Mínimo	47,61	34,60	11,67	5,33
Média + 1 DP	73,57	64,45	16,70	9,32
Média - 1 DP	53,27	38,53	12,39	6,82

Tabela 4. Testes físicos da fibra de lã de alpaca. Desenvolvido pela autora.

	TÍTULO (dtex)	RESISTÊNCIA (cN)	ALONGAMENTO (%)	TENACIDADE (cN/tex)
1	30,40	43,11	60,00	14,18
2	20,20	33,03	56,67	16,35
3	39,00	66,31	78,33	17,00
4	21,40	62,93	71,67	29,41
5	28,40	42,58	58,33	14,99
6	38,60	60,35	60,83	15,64
7	38,40	33,82	62,50	8,81
8	18,40	25,11	54,17	13,65
9	17,80	24,98	60,83	14,03
10	38,40	58,59	80,83	15,26
11	30,40	40,31	47,50	13,26
12	30,00	19,46	51,67	6,49
13	22,60	32,32	52,50	14,30
14	23,20	22,39	59,17	9,65
15	16,80	27,42	65,83	16,32
16	16,40	77,48	72,50	47,24
17	46,60	42,72	80,00	9,17
18	26,20	17,76	40,00	6,78
19	30,00	42,63	60,83	14,21
20	26,00	33,06	48,33	12,72
Média *	27,96	40,32	61,13	15,47
Coefficiente de Variação	31,09	41,96	18,18	57,51
Desvio Padrão	8,69	16,92	11,11	8,90
Máximo	46,60	77,48	80,83	47,24
Mínimo	16,40	17,76	40,00	6,49
Média +1 DP	36,65	57,23	72,24	24,37
Média - 1 DP	19,27	23,40	50,01	6,57

Os testes de tração medem o comportamento das fibras quando uma força de deformação é aplicada ao longo do eixo da fibra em termos de tenacidade e porcentual de alongamento. A tenacidade é definida como o estresse específico e corresponde ao máximo da razão de carga por densidade linear (título) da fibra, em uma curva tenacidade-alongamento, que uma fibra pode suportar antes que quebre. Para o desenvolvimento dos testes a distância entre as garras foi de 10 mm, a velocidade de 50 mm/min e os mordentes de garras com dimensões de 2,5 mm x 2,5 mm. Comparando com as diversas fibras reproduziu-se a tabela 5.

Tabela 5. Características das principais matérias têxteis. Valores obtidos pela autora (em negrito) juntamente com valores de (KASWELL, 1963).

Fibra	Título (médio) dtex	Alongamento (médio) %	Tenacidade (médio) cN/tex
Pena	63,42	14,54	8,07
Lã	2 à 11	25	9,1
Seda	1,3	15	2,73
Algodão	2,1 à 3,6	3-7	26,5 à 43,3
Linho	2,1	2,7 à 3,3	23 à 68
Rami	18,4	3 à 7	48,6
Poliamida 6.6	1 à 240	24 à 40	40,6 à 52,1
Poliéster	1 à 175	14 à 25	38,8 à 44,1

A característica de conforto pode ser medida pelas variáveis de toque, permeabilidade ao vapor, flexão, caimento e espessura, entre outros. A fibra de pena possui maior alongamento que a seda, algodão, linho e rami, se tornando, desta maneira, flexível com maior facilidade e, portanto, pode conferir a característica e a sensação de conforto ao usuário. A tenacidade da pena, ou seja, o impacto máximo necessário para o material se romper, também é aceitável. A fibra possui cavidades tubulares dentro da estrutura, por isso resulta em uma resistência de material desejável, sem perder a baixa densidade (característica marcante da fibra de pena de frango). Acredita-se que com as propriedades estudadas, a pena de frango, possui boa resiliência, já que possui uma boa carga de ruptura em relação ao alongamento e uma resistência desejável (51,49 cN).

O Gráfico 2 e 3 mostram os resultados do teste de normalidade realizado no minitab. No teste o valor de p foi menor que 0,05 e por isso pode-se afirmar com 95% de confiança que os valores do Alongamento não seguem a distribuição normal, no entanto, na Tenacidade o valor de p foi maior que 0,05 e portanto segue uma distribuição normal.

Gráfico 2. Análise de distribuição da probabilidade do Alongamento da fibra de frango. Desenvolvido pela autora.

Gráfico 3. Análise de distribuição da probabilidade da Tenacidade da fibra de frango. (fonte: autora).

O intervalo de confiança da média do Alongamento e Tenacidade com 95% de confiança calculado no minitab vai de 13,53 a 15,55 e 7,48 a 8,65 respectivamente

4.2.2. Determinação do Teor de *Regain* e Umidade

Na tabela 6, analisou-se o Conteúdo Percentual de Umidade (Umidade) da fibra de pena de frango, ou seja, a porcentagem de umidade que a fibra havia absorvido em temperatura de 25 °C e 57% de umidade relativa do ar (a temperatura não foi climatizada como sugere a norma por falta de climatizadora), bem como, a Recuperação Percentual de Umidade (*Regain*) que se traduz como a quantidade de água absorvida pelo material seco sob condições especificadas de temperatura e umidade (70 °C e 65%), comparada com a massa do material seco.

Tabela 6. Resultado do Conteúdo Percentual de Umidade e Recuperação Percentual de Umidade da fibra de pena de frango. Desenvolvido pela autora

Amostras	Conteúdo Percentual de Umidade (%)	Recuperação Percentual de Umidade (%)
1	0,70	0,70
2	4,34	4,54
3	0,72	0,73
4	3,77	3,92
5	2,22	2,28
6	3,80	3,96
7	2,34	2,40
8	1,95	1,99
9	4,54	4,77
10	1,39	1,40
11	5,10	5,38
12	1,94	1,99
13	3,30	3,42
14	1,07	1,09
15	0,91	0,92
16	2,46	2,52
17	2,25	2,30
18	2,08	2,12

19	1,50	1,53
20	2,52	2,59
Média	2,44	2,52
DP	1,30	1,38
CV	53,27	54,76

Observa-se que, os valores de umidade (calculados sobre o peso original) são bem próximos dos valores de *Regain* (calculados sobre o peso seco). Os valores de *Regain* são mais empregados em transações comerciais têxteis do que os de umidade, já que, para a área comercial necessita-se saber o valor percentual que cada material absorve de umidade para que o comprador saiba a massa específica da fibra e de umidade que está comprando.

Comparando com o *Regain* da lã e da lã de alpaca (17%), nota-se que existe uma diferença de 14,5% entre a fibra de pena de frango. Essa diferença surge, pois embora as fibras sejam de origem animal, elas apresentam propriedades físicas diferentes, já que a fibra de pena de frango possui tubulações em seu interior. Essas tubulações não propiciam o acúmulo de líquidos em seu interior, já que a quantidade de água absorvida pelo material seco é de apenas 2,52%. O cálculo do *Regain*, desta forma, é essencial para o comprador conhecer a quantidade de líquido que o produto absorve.

Considerando essa propriedade de retenção de umidade da fibra, pode-se pensar em vários tipos de aplicações que necessitem de apreensão e, principalmente, a retenção de líquidos, como por exemplo, uma aplicação na área médica, no qual se pode inserir um fármaco nas micro tubulações fibrosas e com o calor do corpo esse fármaco pode ser liberado aos poucos na pele do indivíduo.

As fibras com maior valor de *Regain* provavelmente possuem mais regiões amorfas. O valor de *Regain* analisado pela fibra de pena de frango é considerado baixo em comparação às outras fibras que possuem *Regain* de até 20%. Provavelmente, o produto a partir desse material, proporcionará a propriedade de conforto em seu uso.

As fibras têxteis de pena de frango são higroscópicas, de acordo com a análise de umidade. Ou seja, as fibras têm capacidade de absorver a umidade (Média de absorção de umidade de 2,44%). Por causa das características higroscópicas das fibras, a umidade penetra na matéria fibrosa, porém sem que a sensação de “molhada” seja percebida.

A higroscopicidade ou a capacidade de absorção da água dos têxteis são propriedades importantes para o aproveitamento e para o seu comportamento no tingimento e acabamento, já que, no tingimento, a capacidade de absorção de água deve ser bastante alta (SILVEIRA, 2010).

O Gráfico 4 e 5 mostram os resultados do teste de normalidade realizado no minitab. No teste o valor de p foi maior que 0,05 e por isso pode-se afirmar com 95% de confiança que os valores do título seguem a distribuição normal.

Gráfico 4. Análise de distribuição da probabilidade da Umidade da fibra de frango. Desenvolvido pela autora.

Gráfico 5. Análise de distribuição da probabilidade do *Regain* da fibra de frango. Desenvolvido pela autora.

O intervalo de confiança da média de Umidade e *Regain* com 95% de confiança calculado no minitab vai de 1,83 a 3,06 e 1,88 a 3,18 respectivamente

4.2.3. Teste de Determinação da Taxa de Retração

A fibra de pena de frango foi submetida a tratamento térmico e a retração foi calculada em porcentagem em relação à medida inicial. Os resultados estão na tabela 7.

Tabela 7. Resultado de retração da fibra de frango. Desenvolvido pela autora.

RETRAÇÃO				RETRAÇÃO			
	L 0	L 1	%		L 0	L 1	%
1	1,24	1,24	0,00		1,45	-	-
2	1,47	1,47	0,00		1,54	-	-
3	1,43	1,43	0,00		1,50	-	-
4	1,45	-	-		1,40	-	-
5	1,42	1,42	0,00		1,22	-	-
6	1,33	1,33	0,00		1,32	1,32	0,00
7	1,3	-	-		1,26	1,26	0,00
8	1,4	-	-		1,31	-	-
9	1,06	1,06	0,00		1,29	-	-
10	1,38	-	-		1,02	1,02	0,00

Vinte corpos de prova foram preparados, porém, houve problemas de escorregamento da fibra com o suporte de teste, sendo que apenas dez permaneceram no suporte e puderam ser medidos. O teste, dessa forma, pode ser considerado duvidoso quanto ao resultado final, fazendo-se necessário a repetição do teste para confirmar ou não os resultados.

Se a característica de 0% de encolhimento da fibra de frango for confirmada a fibra apresentará um excelente parâmetro para o controle de qualidade, ou seja, a fibra em qualquer temperatura, seja no processo de fabricação, transporte ou no armazenamento, não apresentará alterações, diminuindo consideravelmente, problemas de qualidade com o material, como por exemplo, rompimento devido à mudança de temperatura e estabilidade dimensional no produto fabricado.

4.3. Testes de Microscopia

As fibras têxteis vistas a olho nu podem parecer todas iguais ou podem ser bem semelhantes. Na realidade as fibras ao microscópio têm aspectos muito variados em relação à sua origem e natureza. A análise qualitativa microscópica é uma das maneiras que permite identificar fibras que são desconhecidas e distingui-las umas das outras de acordo com suas características.

4.3.1. Microscopia Transversal e Longitudinal das Fibras

Segundo a norma ABNT NBR 13 538/95, foram realizados, ensaios de identificação de fibras têxteis, por microscopia dos cortes longitudinal e transversal. As fibras foram analisadas em sua estrutura longitudinal, com aumento de até 135 vezes e transversal, com aumento de até 560 vezes conforme demonstrado no “APÊNDICE I. Fotografias e Microscopias das Fibras de Pena”.

4.3.2. Microscopia Transversal

Como resultado microscópico de secção transversal da fibra de pena (Pena Posterior, Barba e Anterior Bárbules) segue a tabela mostrando aumentos de 150, 350 e 560 vezes o tamanho da fibra original.

Figura 13. Microscopia Transversal (a) Pena posterior e Anterior Bárbules 350 vezes; (b) Pena Posterior e Anterior Bárbules 560 vezes; (c) Barba e Anterior Bárbules 150 vezes; (d) Barba e Anterior Bárbules 350 vezes.

Analisando as secções transversais da fibra de pena, pode-se constatar que na figura (a) e (b) é claramente visível a estrutura Barba (folículo maior) e a estrutura Anterior Bárbules (folículo menor). As fibras apresentam uma estrutura tubular, pois microscopicamente as análises mostram a existência de uma cavidade oca maior (Barba) e uma cavidade oca menor (Anterior Bárbule), assemelhando-se com um favo de mel. Fisicamente, essas cavidades resultam em um material de baixa densidade (menor densidade de material fibroso encontrado na literatura), já que, são propriedades ocas e sem massa central. A estrutura favorece o isolamento sonoro e, sobretudo o isolamento térmico, pois ela desenvolve “colchões de ar” tanto na primeira estrutura quanto na segunda. Os “colchões de ar” isolam o material de temperaturas baixas e temperaturas altas se assemelhando com a fibra de lã (quente em baixas temperaturas e fria em altas temperaturas). As cavidades também propiciam o transporte de líquido na fibra, o que possivelmente, originaria em um bom resultado de conforto. Analisando as figuras (c) e (d) nota-se o formato diferenciado da fibra. Com um formato “chapado” juntamente com as estruturas ocas, o material fibroso terá a capacidade de deflexão dos raios solares, por exemplo, quando um raio atinge uma superfície rugosa ele se deflete em várias direções, conferindo um efeito ilusório ao olho humano de brilho, como acontece nas secções trilobais de fibras e fios. Ainda que se possam notar muitas vantagens das secções transversais da fibra de pena de frango, não se pode ter completa indicação, somente através dos exames microscópicos de suas secções transversais, do tipo de aplicação possível para determinada fibra. Para tanto há a necessidade posterior do desenvolvimento do fio e do tecido com a pena de frango, pois assim, o material têxtil passará por uma série de novos testes confirmando ou não as indicações apresentadas pela estrutura da fibra. Através das microscopias transversais da fibra de pena de frango, descobriu-se o formato de sua secção transversal (Figura 14).

Figura 14. Secção transversal da fibra de pena de frango (Barba e Anterior Bárbules) ampliada 150 vezes.

Geralmente as secções transversais encontradas e/ou fabricadas são: redonda, redonda oca, triangular, triangular oca e a trilobal (Figura 15).

Redonda	Redonda oca	Triangular	Triangular oca	Trilobal
●	○	▲	△	▲

Figura 15. Secções transversais existentes de fibras têxteis (KUASNE, 2008).

A secção da fibra de pena apresenta um formato particular; achatado, alongado e com quatro pontas predominantes.

Segundo Silveira (2010) (Figura 16) as fibras trilobais e triangular oca possuem maior resiliência, portanto há a possibilidade de que a fibra de pena de frango apresente a mesma característica de resiliência, pois, a fibra assim como a fibra triangular e trilobal, apresenta deformações e saliências, além de ser oca.

Figura 16. Gráfico de resiliência de acordo com as secções transversais das fibras têxteis (SILVEIRA, 2010).

A característica de brilho segundo Silveira (2010) apresenta-se em fibras triangulares, triangulares ocas e trilobais (Figura 17). A fibra de pena de frango poderá apresentar a mesma característica, pois ela possui quatro lados bem definidos, a fibra, por sua vez, refletirá a luz para vários lados ocasionando uma ilusão de óptica ao olho humano, gerando o efeito de brilho.

Figura 17. Gráfico de brilho de acordo com as secções transversais das fibras têxteis (SILVEIRA, 2010).

O volume - espaço ocupado pela fibra – de acordo com Silveira (2010) é maior em fibras ocas (Figura 18). A fibra de pena apresenta uma estrutura com tubulações ocas em todo seu centro, além do mais, na microscopia longitudinal, é possível verificar a superfície volumosa que a fibra possui. Volume causado pelo Anterior Bárbules.

Figura 18. Gráfico de volume de acordo com as secções transversais das fibras têxteis (SILVEIRA, 2010).

4.3.3. Microscopia Longitudinal

As vistas longitudinais foram realizadas com aumentos de 30, 67, 100 e 135 vezes o tamanho natural da fibra.

Figura 19. Microscopia Longitudinal da Fibra de Pena (a) Aumento de 30 vezes; (b) aumento de 67 vezes; (c) aumento de 100 vezes; (d) aumento de 135 vezes.

As microscopias longitudinais permitiram a confirmação da estrutura que a literatura bibliográfica apresentou. É possível, visualizar facilmente a estrutura da pena, como a Ráquis, o Vexil, a Barba, a Anterior Bárbule, a Pena Posterior e a Penugem, além de confirmar o volume superficial da fibra de pena, característica a qual indica a propriedade de conforto no produto. Na figura 20, puderam-se identificar as partes estruturais da fibra de pena de frango por meio da microscopia transversal (Apêndice I.6, I.7, I.8 e I.9).

Figura 20. Identificação da Microscopia Longitudinal da Fibra de Pena (a) Aumento de 135 vezes; (b) aumento de 30 vezes; (c) aumento de 135 vezes; (d) aumento de 30 vezes.

As quatro amostras foram escolhidas a fim de se observar as diferentes partes da pena de frango.

Analisando-se o produto para a aplicação comercial, observa-se que as linhas de fissura ou estrias ao longo das fibras provoca uma aspereza da superfície, o que pode contribuir para a resistência interfacial em compósitos (uma possível aplicação para estas fibras).

4.4. Testes Químicos

4.4.1. Combustão

O teste de combustão (empregado no setor têxtil para identificação de fibras) é uma análise qualitativa do tipo de combustão (queima, fusão ou retraimento da fibra), tipo da chama (cor e intensidade), cinza (cor) e odor. Com relação ao odor, a tabela 8 com os tipos de fibras têxteis é fornecida.

Tabela 8. Características dos odores de combustão (MALUF; KOLBE, 2003).

Odor	Fibras
Pelo queimado	Proteicas
Papel queimado	Celulósicas naturais e regeneradas
De parafina	Polietileno e polipropileno
De vinagre	Acetato e triacetato
De salsa verde	Poliamida
De peixe podre	Acrílica
De leite queimado	Poliéster

Seguem na tabela 9 os tipos de combustão, fusão, odor e resíduo de acordo com cada fibra têxtil, empregada hoje, no mercado.

Tabela 9. Teste qualitativo de combustão das principais fibras têxteis (SILVEIRA, 2010).

Fibra	Tipo de combustão	Fusão	Odor	Resíduo
Lã	Queima	Devagar	Pelo queimado	Cinza granulosa e quebradiça
Algodão	Queima	Rápida	Papel queimado	Cinza esbranquiçada e muito fina
Linho	Queima	Rápida	Papel queimado	Cinza esbranquiçada e muito fina
Seda	Queima	Devagar	Pena queimada	Bola redonda e negra que se pulveriza facilmente
Viscose	Queima	Rápido	Madeira queimada	Pequena quantidade de cinza
Acetato	Queima	Normal	Ácido acético ou vinagre	Bola negra de forma irregular e quebradiça
Acrílica	Queima	Rápida	Picante	Bola dura, quebradiça e irregular
Modacrílica	Queima	Devagar	Picante	Bola irregular,

				dura e negra
Poliamida	Queima	Devagar	Pouco cheiro ou nulo	Bola redonda, dura e cinzenta
Poliéster	Queima	Devagar	Químico	Bola redonda, dura e negra
Elastodieno	Queima	Rápida	Enxofre	Mole, irregular e viscoso
Fibra de Vidro	Queima	Devagar	Ausência de cheiro	Não tem
Fibra de Carbono	Não queima	Não funde	Ausência de cheiro	Não tem
Fibra metálica	Não queima	Não funde	Ausência de cheiro	Não tem

Os resultados de combustão obtidos no presente estudo são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Teste qualitativo da combustão da pena de frango.

Fibra	Tipo de Combustão	Cor da Cinza	Cor da Chama	Intensidade da Chama	Odor	Fusão
Pena de Frango	Queima	Preta	Laranja	Baixa	Pelo queimado	Rápida

Como analisado na Tabela 10, não foram obtidas informações muito diferentes das fibras proveniente da seda e da lã (fibras de origem animais).

A fibra de pena assim como a lã e a seda, em combustão, possui a queima, porém diferentemente das outras a pena possui uma fusão rápida. O odor das três fibras é igual, porém a cor da cinza da seda é negra e as outras foram acinzentadas.

Não se observou, portanto, qualquer característica particular da fibra de pena de frango que permitisse uma identificação diferente a outras fibras naturais animais.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o estudo de fibras de pena de frango de origem natural animal. Foram analisados: levantamento bibliográfico sobre estrutura e composição de penas e fibras de penas, técnicas e processos de caracterização da fibra; título, ruptura de resistência, ruptura de alongamento e tenacidade, *regain* e umidade, encolhimento da fibra; microscopia transversal e longitudinal e teste de combustão.

As características percebidas da fibra foram: estrutura tubular oca, que resultam em um material de baixa densidade, isolante sonoro e térmico de temperaturas baixas e temperaturas altas, se assemelhando, porém, com a fibra de lã. As cavidades também propiciam o transporte de líquido na fibra, o que possivelmente resultaria em um bom parâmetro de conforto e a aplicação de produtos desejados nas cavidades ocas, como por exemplo, fármacos, desodorizadores, etc. O formato da fibra é diferenciado, pois com um formato “chapado” juntamente com as estruturas ocas, o material fibroso poderá ter a capacidade de deflexão dos raios solares, conferindo um efeito de brilho no material. Ainda que se possam notar muitas vantagens da estrutura da fibra de pena de frango, não se pode ter completa indicação, somente através dos exames microscópicos de suas seções transversais, longitudinais e testes físicos, o tipo de aplicação possível à determinada fibra. Para tanto há a necessidade de posteriormente o desenvolvimento do fio e do tecido com a fibra da pena de frango, pois assim, o material têxtil passará por uma série de novos testes confirmando ou não as indicações apresentadas pela estrutura da fibra.

As principais conclusões foram:

- Descrição inédita no Brasil e na língua portuguesa de propriedades mecânicas e microscópicas de fibras da pena de frango;
- Com base em suas propriedades estruturais, perceberam-se características como brilho, conforto, maciez, toque, permeabilidade a líquido, leveza, entre outras propriedades, aumentando assim, seu potencial de empregabilidade têxtil;
- Potencial de fiação e fabricação de têxteis para diversas aplicações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRA Associação Brasileira de Reciclagem Animal. Relatório Anual: Diagnóstico da Indústria Brasileira de Reciclagem Animal, São Paulo, 2012, p. 10 e 13.

ARAÚJO, M.; MELO E CASTRO, E.M. Manual de Engenharia Têxtil. v. 1 e v. 2. *Fundação Calouste Gulbekian*, Lisboa, Portugal, 1648 p., 1984.

ARUN, G.; NURULDIYANAH, B. K.; CHUA, Y. G. K.; ROSLI, B. M. Y. Extraction of Keratin Protein from Chicken Feather. *Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, University Malaysia Pahang, Gambang Campus, Pahang 25100*, 2012.

BACK YARD CHICKENS. My Feather Anatomy Guide. Disponível em: <http://www.backyardchickens.com/a/my-feather-anatomy-guide>. Acesso em 1/10/2012.

BARONE, J. R, SCHMIDT, W. F. *Compos Sci Technol* 65: p. 173 à 181, 2005.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. Statistics for Experimenters. *John Wiley & Sons*, New York, 1978, 653p.

CORNELL UNIVERSITY, Feather Structure. *The Cornell Lab of Ornithology, Cornell University*, 2010. Disponível em: <http://www.birds.cornell.edu/AllAboutBirds/studying/feathers/feathers>. Acesso em: 1/10/2012.

COWARD-KELLY, G.; CHANG, V. S.; AGBOGBO, F. K.; HOLTZAPPLEA, M. T. A Department of Chemical Engineering, Texas A&M University, College Station, , United States b Novozymes North America, 2010.

EVAZYNAJAD, A; KAR, A; VELUSWAMY, S; McBride, H; GEORGE, B. R. Mat Res Soc Symp Proc 702: U1.2 à U1.4, 2002.

FERNBANK SCIENCE CENTER, Feather Structure and Types of Feathers, *Fernbank Science Center*, Atlanta – GA, 2011. Disponível em: <http://fsc.fernbank.edu/Birding/feathers.htm>. Acesso em 1/10/2012.

GALLOTI, I. Il Tessile Ecologico (Ecological textile). *Tintoria*, 9 (95), 1995, pp. 63–68.

GANS. Chemical Analysis. Viena, Áustria, 2008. http://www.gans.at/en/pdf/2.4_Chemical_analysis.pdf. Acesso em 1/2/2013.

HAMLYN, P. F.; BTTG, Identification of textile fibers, Edited by M M Houck, West Virginia University, USA. *Woodhead Publishing Series in Textiles* No. 84, 2010.

HOWITT, F. O.; Wool, silk and regenerated protein fibers-chemistry; Review of Textile Progress, p. 70 à 90, 1955.

JONES, C. B.; MECHAM, D. K.; The dispersion of keratins I. The dispersion and degradation of certain keratins by Na₂S; Archives of Biochemistry, 2, p. 209 à 23, 1943.

JONES, L. N, RIVEN, D. E, Tucker DJ. Handbook of Fiber Chemistry, *Marcel Dekker, Inc., New York*, p. 147 à 149, 1998.

KASWELL, E. R. Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles. *Massachusetts Institute of Technology (MIT) e Wellington Sears Company*, Cambridge, Estados Unidos, 1963. 757 p.

KELLY, R. J.; RODDICK-LANZILOTTA, A. D. Personal Care Formulations Containing Keratin. US Patent, US 20060165635, February 26, 2011.

KUASNE, A. Curso Têxtil em Malharia e Confecção: Fibras Têxteis. 2º módulo. *Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina*. Araranguá, 2008.

MALUF, E.; KOLBE, W. Dados Técnicos para a Indústria Têxtil. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção (ABIT)*. 2ª Ed., São Paulo, 2003. 336 p.

_____. Operating instructions & maintenance Video Analyser 2000. Mesdan, Turim, Itália, 2005. 120 p.

MARTINEZ-HERNANDEZ, Ana L.; VELASCO-SANTOS, Carlos; DE ICAZA, Miguel; CASTANO, Victor M.; Microstructural characterisation of keratin fibres from chicken feathers; *International Journal of Environment and Pollution*; 23 (2), p 162 à 178, 2005.

McARTHUR, Tom; *The Oxford Concise Companion to the English Language*, Oxford University Press, 2005.

MENANDRO, N. Acda. Waste Chicken Feather as Reinforcement in Cement-Bonded Composites. *Philippine Journal of Science*. Department of Forest Products and Paper Science, *College of Forestry and Natural Resources University of the Philippines Los Baños*, College, Laguna 4031 Philippines, 2010, p. 161-166.

MOORE, G.R.P. ; MARTELLI, S.M., ANDREO, P.D., GANDOLFO, C.A., MACHADO R.F.A.; BOLZAN, A.; LAURINDO, J.B. Obtenção de Biofilmes a partir de Queratina de Penas de Frango. *Revista Matéria, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos*, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 8 à 13, Março de 2005.

ONIFADE, A.A., AL-SANE, N.A., AL-MUSALLAM, A.A., AL-ZARBAN, S. A review, potential for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins of livestock feed resources. *Bioresour. Technol.* p. 66, 1 à 11, 1998.

ORNITHOLOGY. Chemical Composition: Integument, Feathers and Molt. *Ornithology: the Science of Birds*, 2010. <http://www.ornithology.com/Lectures/Feathers.html>. Acesso em 1/02/2013.

OXFORD DICTIONARY. Advanced learners dictionary of current English. *Oxford University Press*, 2005. Perls.

PONZONI, R.W; Grimson, R.J.; Hill, J.A.; Hubbard, D.J.; McGregor, B.A.; Howse, A.; Carmichale, I.; Judson, G.J. The inheritance of and associations among some production traits in young Austalian Alpacas. *Proc. Aust. Assoc. Advancement of Animal Breeding and Genetics*, vol. 13 (1999), pp. 468–471.

PUMAYALLA, A. Estudio sobre producción alpaquera en el Perú (Study on alpaca production in Peru). Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú, 1988, p. 68.

QUEIROZ, R.S. Aplicabilidade de Fibras Vegetais Alternativas Brasileiras na Produção de Materiais Têxteis. 2007. 51 p. Monografia (Iniciação Científica CNPq - Escola de Artes, Ciências e Humanidades) - *Universidade de São Paulo*, São Paulo (SP), 2007.

BARUQUE-RAMOS, J.B. Fibras têxteis vegetais nativas: prospecção, caracterização físico-química, beneficiamento enzimático e propostas de aplicação. 2011. 321 p. Tese (Livre-Docência – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo) – *Universidade de São Paulo*, São Paulo (SP), 2011.

REDDY N; YANG, Y. Trends Biotech p. 23, 22 à 27, 2005.

_____ Novel protein fibers from wheat gluten; *Biomacromolecules*, 8 (2), p. 638-643, 2007.

REDETEC, Análise da Eficiência Econômica e da Competitividade da Cadeia Têxtil Brasileira: Competitividade do Setor de Fibras Artificiais e Sintéticas, Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro. Capítulo IV, p. 64, 2011.

RIBEIRO, L.G.; ANDRADE FILHO, J. Introdução à Engenharia Têxtil. V. 1 (208 p.), v. 2 (214 p.), v.3. (196 p.) *SENAI*, Rio de Janeiro, 1987.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos. *Campinas*, 2005. 325 p.

SALÉM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: *Blucher: Golden Tecnologia*, 2010. 14 p., 26 p.

SAVILLE, B.P., 1999. Objective evaluation of fabric handle. In: The Textile Institute CRC Press (Eds.), *Physical Testing of Textiles*, Woodhead Publishing Limited, pp. 77–114.

SEAWRIGHT, R. S.; BARUQUE-RAMOS, J. B. Caracterização microscópica e química de fibras vegetais têxteis da família *Malvaceae*. São Paulo: EACH-USP : FAPESP, 2012. 74 p. Relatório científico de Iniciação Científica apresentado à FAPESP.

SEAWRIGHT, R. S.; GUIMARÃES, B. M. G.; TAKAMUNE, K. M.; BARUQUE-RAMOS, J. B. Caracterização Microscópica, Química e Física de Fibras Vegetais Têxteis da Família *Malvaceae*. 2011. 102 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo) – *Universidade de São Paulo*, São Paulo (SP), 2011.

SHAW, D. T. *Fundamentals of Aerosol Science*, Wiley, New York, 1978.

SILVEIRA, S. Manual de Matérias Primas Têxteis. CILAN – Centro de Formação Formação Profissional para a Indústria de Lanifícios, 2010.

SWINBURN, D.J. Laing, R.M., Niven, B.E., 1995. Development of Alpaca and Alpaca/Wool blend knitwear fabrics. In: *The 9th Int. Wool Text. Res. Conf. Fine Animal Fibres Sec.*, vol. 2, 536–544.

UBABEF, União Brasileira de Avicultura. *Relatório Anual*, 2012, p.9 e 11.

VINELLA, S. The European market of South American camelid wool. In: Gerken, M., Renieri, C. (Eds.). *European Symposium on South American Camelids*, 1994, pp. 155–166.

XIULING, FAN. Value-Added Products from Chicken Feather Fibers and Protein. Thesis at Graduate Faculty of Auburn University in Philosophy. Auburn, Alabama, 2008.

YAMAUCHI, A.; Yamauchi, K. Formation and Properties of Wool Keratin Films and Coatings. In *Protein Based Films and Coatings*; Gennadios, A. Eds., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, p. 253 à 274, 2002.

YANG, Yiqi; REDDY, Narendra. Structure and Properties of Chicken Feather Barbs as Natural Protein Fibers. Department of Textiles, Clothing and Design Textiles. *University of Nebraska – Lincoln, Faculty Publications*, Paper 26, 2007.

WANG, Q.; MAZE, B.; VAHEDI TAFRESHI, H.; ROURDEYHIMI, B.; Approaches for Predicting Collection Efficiency of Fibrous Filters, *Journal of Textile and Apparel, technology and management*, 5 (2), p. 1 à 6, summer 2006.

WILD BIRDS UNLIMITED NATURE, [Types of Bird feathers](http://lansingwbu.blogspot.com.br/2011/09/types-of-bird-feathers.html), 2011. Disponível em: <http://lansingwbu.blogspot.com.br/2011/09/types-of-bird-feathers.html>. Acesso em: 1/10/2012.

WINANDY, J. E; MUEHL, J. H; MICALES, J. A; RAINA A, SCHMIDT, W. In: Proceedings of EcoComp 2003, Queen Mary, University of London, September p. 1 à 2, 1 à 6, 2003.

6.1. Normas Técnicas

Norma ABNT NBR 13 538/1995 - Análise microscópica de fibras, 2p.

Norma ISO 1973/1995 - Determinação do título médio das fibras, 3p.

Norma ASTM D 7641/10 - Standard Guide for textile fibers

Norma ABNT NBR 12744/1992 Classificação de fibras têxteis, 1992, 8p.

Norma ASTM D 276/12 - Standard Test Methods for Identification of Fibers in Textiles.

Norma ABNT NBR ISO 139/2008 - Condicionamento de materiais têxteis para ensaios, 2p.

Norma ASTM D 1776/08 - Standard Practice for Conditioning and Testing Textile

Norma ABNT NBR 13 385/1995 – Fibra manufaturada: determinação de carga e ruptura e do alongamento de ruptura (Ensaio dinamométrico).

Norma ISO/TR 6741 4/1987 (*International Standards Organization*) *Textiles - Fibres and yarns - Determination of commercial mass of consignments* (Determinação do Regain das fibras) - Part 4: *Values used for the commercial allowances and the commercial moisture regains*. 6 p.

Norma ASTM D2102 02/1992 – Determinação da Taxa de Retração em água à fervura, 1992, 5p.

GLOSSÁRIO

Alongamento de ruptura.	É a capacidade de um material têxtil alongar quando submetido à carga de ruptura.
Brilho.	É o efeito resultante da reflexão da luz na superfície da fibra.
Carga de ruptura.	Máxima carga que o corpo-de-prova pode suportar durante um ensaio de tensão levado à ruptura, sob condições específicas. A unidade de medida é em cN (centinewton).
Coeficiente de variação (CV).	É a variabilidade dos dados (desvio padrão) em relação à média, estimando assim, a precisão de experimentos. Quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados.
Comprimento.	É a dimensão da fibra em seu estado natural.
Desvio padrão (sigma: σ).	Mede a variabilidade ou a dispersão dos valores em relação à média. Um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média, um desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores.
Elasticidade.	Porcentagem de retorno do tecido após a aplicação de uma força.
Higroscopicidade.	É a capacidade de muitas fibras de absorverem a umidade.
Média.	A média é o valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição.

Pressão de ruptura.	Força ou pressão requerida para romper o material têxtil por alongamento com uma força aplicada perpendicularmente, em condições especificadas, na superfície do tecido.
Regain.	Quantidade de água absorvida pelo material seco sob condições especificadas de temperatura e umidade, comparada com a massa do material seco.
Resiliência.	Energia que pode ser acumulada pela fibra sem produzir deformação, ou seja, a fibra retorna a posição inicial.
Resistência.	É a força máxima que a fibra suporta antes que ocorra a ruptura.
Retração.	Ato ou efeito de retrain, encolher ou contrair. Acontece pela diminuição do volume de um corpo por efeito de resfriamento, calcinação ou solidificação.
Tenacidade de ruptura.	É a energia mecânica, ou seja, o impacto necessário para levar um material à ruptura. Tenacidade é uma medida de quantidade de energia que um material pode absorver antes de fraturar. Pode ser calculada usando-se a carga de ruptura e a densidade linear pela mesma fibra.
Título.	O título de produtos têxteis é representado por um número que expressa uma relação entre um determinado comprimento e o peso correspondente. É a densidade linear do produto.
Título dtex.	Abreviação de decitex. Unidade de medida têxtil, a qual resulta da relação entre 1g de massa e 10.000 metros de comprimento.

Título Tex.	O título tex de um fio ou de qualquer outro material têxtil é igual ao peso em gramas de 1000 metros de fio.
Umidade.	É a porcentagem de líquido que a fibra absorve em certa temperatura e umidade relativa do ar.
Volume.	É o espaço ocupado pela fibra. O efeito de alto volume depende significativamente da frisagem da fibra.

APÊNDICE I. Fotografias e Microscopias das Fibras de Pena

I. 1. Amostras de penas de frango

Figura I. 1. Penas de frango *in natura*.

I. 2. Pré-tratamento das penas

Figura I.2. Beneficiamento das penas com banho esterilizante.

I. 3. Microscopia transversal da fibra de pena preta

Figura I. 3. Microscopia óptica transversal. Aumento de 150x à esquerda e 360x à direita.

I. 4. Microscopia transversal da fibra de penugem (farpa) branca

Figura I.4. Microscopia óptica transversal. Aumento de 350x à esquerda e 560x à direita.

I. 5. Microscopia transversal da mistura da fibra de pena preta com a fibra da penugem branca

Figura I. 5. Microscopia óptica transversal. Aumento de 560x

I. 6. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango amostra I

Figura I. 6. Microscopia óptica longitudinal da fibra de pena de frango. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 7. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango amostra II

Figura I. 7. Microscopia óptica longitudinal da fibra de pena de frango. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 8. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango amostra III

Figura I. 8. Microscopia óptica longitudinal da fibra de pena de frango. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 9. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango amostra IV

Figura I. 9. Microscopia óptica longitudinal da fibra de pena de frango. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 10. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango amostra V

Figura I. 10. Microscopia óptica longitudinal da fibra de pena de frango. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 11. Microscopia Longitudinal da fibra de lã de alpaca amostra I

Figura I. 11. Microscopia óptica longitudinal da fibra de lã de alpaca. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 12. Microscopia Longitudinal da fibra de lã de alpaca amostra II

Figura I. 12. Microscopia óptica longitudinal da fibra de lã de alpaca. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 13. Microscopia Longitudinal da fibra de lã de alpaca amostra III

Figura I. 13. Microscopia óptica longitudinal da fibra de lã de alpaca. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 14. Microscopia Longitudinal da fibra de lã de alpaca amostra IV

Figura I. 14. Microscopia óptica longitudinal da fibra de lã de alpaca. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

I. 15. Microscopia Longitudinal da fibra de lã de alpaca amostra V

Figura I. 15. Microscopia óptica longitudinal da fibra de lã de alpaca. Aumento, na respectiva ordem, 30x, 67x, 100x e 135x.

ANEXO. Equipamento para o teste de Determinação da Taxa de Retração das fibras.

I. 1. Aparelho para preparação dos feixes de fibras.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABNT	10, 34, 40, 43, 52, 65
ASTM	10, 15, 37, 39, 45, 65

B

Barbas	11, 19, 24, 33, 56
Brasil	5, 13, 15, 27, 28, 29, 59
Brilho	5, 7, 14, 53, 55, 59

C

Caracterização	5, 14, 30, 31, 59
Coeficiente de variação	9, 66
Combustão	12, 42, 57, 58
Composição	5, 14, 19, 20, 29, 59
Conforto	5, 14, 47, 49, 53, 56, 59
Conteúdo de Umidade	8

D

Dinamômetro	5, 14, 31, 37, 45
-------------	-------------------

E

Empregabilidade	5, 14, 30, 59
Estrutura	5, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 24, 47, 52, 53, 55, 56, 59

F

Fiação	5, 14, 31, 59
Fibra Têxtil de Origem Animal	11, 16
Fibras i, ii, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 80	
Frango i, ii, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 35, 38, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 58, 59, 68, 70, 71, 72, 73, 74	

I	
<i>Instrom</i>	5, 6, 14
L	
Lã	11, 29, 30, 44, 47, 57
Leveza	5, 14, 59
M	
Maciez	5, 14, 30, 59
Material	5, 6, 13, 14, 15, 17, 22, 24, 25, 28, 31, 32, 34, 39, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 59, 65, 66, 67
Material fibroso	5, 14, 32, 39, 53, 59
Mecânicos	5, 14, 34
Média	9, 36, 39, 43, 49, 50, 66
Microscopia Longitudinal	7, 12, 56, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79
Microscopia Transversal	7, 12, 40, 52, 53
Microscopias	5, 14, 53, 56
Microscópicas	5, 14, 30, 59
P	
Pena	i, ii, 5, 7, 11, 17, 18, 19, 25, 44, 47, 52, 56, 57, 58, 68
Pena de Frango	5
Permeabilidade	5, 14, 26, 47, 59
Potencial	5, 14, 59
Produção	5, 13, 15, 22, 26, 27, 28, 30, 31
Q	
Queratina	11, 20, 22, 23, 62
R	
Reciclagem	5, 14, 28
Recuperação de Umidade	8
<i>Regain</i>	5, 6, 14, 31, 59

T

Taxa de Retração	12, 39, 50, 65, 80
Tenacidade	8, 9, 37, 47, 67
Teste	7, 31, 32, 38, 40, 42, 51, 57, 59, 80
Testes	8, 11, 12, 14, 30, 31, 32, 34, 35, 40, 42, 43, 46, 51, 57, 60
Têxtil	3, 5, 13, 14, 15, 16, 24, 30, 31, 53, 57, 59, 63, 65, 66, 67
Título Médio	8, 9, 12, 36, 43
Toneladas	5, 13, 14, 15, 18, 25, 27, 28
Toque	5, 14, 29, 47, 59
Tração	12, 37, 45

U

Umidade	5, 14, 20, 22, 31, 34, 38, 39, 42, 43, 48, 49, 50, 59, 66, 67
---------	---