UNIVERSITÉ DE HAUTE-ALSACE
Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles

E

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica

Tese em duplo diploma para o Doutorado em

MECÂNICA
E
ENGENHARIA MECÂNICA

**ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A VALORIZAÇÃO TÊXTIL DE PENAS
PROVINDAS DA INDÚSTRIA DA AVICULTURA**

**CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION PHYSIQUE ET
MECANIQUE DE PLUMES EN VUE DE LEUR VALORISATION
TEXTILE**

RAQUEL SEAWRIGHT ALONSO

Mulhouse

2017

ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A VALORIZAÇÃO TÊXTIL DE PENAS
PROVINDAS DA INDÚSTRIA DA AVICULTURA

Desenvolvimento e Caracterização de Nãotecidos e Produção de Nanofibras de
Queratina de Penas

Tese apresentada ao Laboratoire de Physique
et Mécanique Textiles de l'Université de
Haute-Alsace e à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a obtenção da
dupla titulação de Doutora em Ciências.

Doutoranda

Raquel Seawright Alonso

Orientadores

Prof^a. Dr^a. Laurence Schacher

Prof. Dr. Dominique C. Adolphe

&

Prof. Dr. Gilberto Martha Souza

**Mulhouse
2017**

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

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador

São Paulo, 19 de 06 de 2017

Assinatura do autor: Seawright

Assinatura do orientador: [assinatura]

Catálogo-na-publicação

SEAWRIGHT-ALONSO, Raquel
ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A VALORIZAÇÃO TÊXTIL DE
PENAS PROVINDAS DA INDÚSTRIA DA AVICULTURA / R. SEAWRIGHT
ALONSO – versão corr. – São Paulo, 2017.
411 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Reciclagem 2.Mecânica 3.têxtil 4.Penas 5.Fibras 1.Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

Os originais desta tese encontram-se disponíveis na Escola Politécnica – POLI/USP, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e na Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace – ENSISA/UHA, no Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles.

Dedico esta tese à minha mãe *Roseli Seawright*

Agradecimentos

A realização desta Tese só foi possível graças à colaboração e apoio, de forma direta ou indireta, de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de expressar meu agradecimento e profundo reconhecimento.

Agradeço à minha mãe Roseli, pois é minha referência e meu suporte em todos os momentos. Sem ela, nada seria possível. Ao meu pai Hélio, meu irmão Dr. Leandro por ser meu companheirinho e exemplo, à minha avó Noemia por sabiamente me dar conselhos, ao meu avô Zézinho (*in memoriam*) por ser como um pai com todo seu cuidado comigo, à minha avó Dusolina (*in memoriam*) por mostrar sua alegria em todo tempo, ao meu avô Pipe (*in memoriam*) por gostar tanto de mim e por demonstrar tanta humildade, à minha tia Solange por me ajudar em tudo e em toda hora e por ser sempre bem humorada, ao meu tio Olídeo por acreditar em meu progresso, à minha tia Leonilda - Ny (*in memoriam*) por ter orgulho de mim, à minha cunhada Patrícia e à minha sobrinha Rebequinha por não se esquecer da titia Quel que mora na “Fança”. E à toda a minha família que, de uma forma ou de outra, torceram por mim e participaram desta conquista. Agradeço, em especial, ao meu namorado Pierre por todo apoio durante a tese e por muitas vezes me dar motivação quando eu não podia mais encontrar por mim mesma. E também, pela ajuda no aprendizado do francês e suporte no dia a dia. Agradeço também à Anne-Laure, René, Lucie e Pascal por me receberem tão bem na família e serem extremamente amáveis comigo.

Agradeço imensamente aos meus três orientadores; Sra. Laurence Schacher, Sr. Dominique Adolphe e Sr. Gilberto Francisco de Martha Souza pela disponibilidade manifestada ao longo deste trabalho e interesse na orientação. Em especial, pelo encorajamento, apoio, saber transmitido, preciosos conselhos, revisões de textos, extrema simpatia, amizade e por serem, antes de tudo, humanos comigo. Agradeço-os também no empenho para resolver meus problemas administrativos.

Agradeço a todos meus colegas pelos momentos de descontração, risadas e pelos cafés compartilhados juntos. Em particular aos meus amigos Dao, Khaldon, Aurélie, Ahsan, Ali, Safi, Donya, Neda, Elham e meu querido irmão-postiço Anwar. E aos meus amigos fora da Universidade: Bénédicté, Youssef, Anna e Laura pelos bons momentos juntos.

Também sou muito grata a todos os funcionários e professores da UHA que tornaram meus dias mais alegres. Em especial Phillipe, Chantal, Agnès Schwob, Agnès Edighoffer, Christian, Matthieu, Jean, Julien, François, Daniel, André, Marie-Anne, Semra, Giulia e Aurélia.

Agradeço a Sra. Vanda Soeli do Serviço de Relações Internacionais da POLI e a Sra. Regianne Amaral Secretária do PPGEM-EPUSP por se encarregarem do meu processo de dupla titulação.

Ao Prof. Artan Sinoimeri pelos conselhos em estatística.

Ao Sr. Munif Ghani, Adriana Ribas e à equipe do LAFITEX por ceder, gentilmente, os laboratórios da empresa Rhodia Poliamida Ltda.

Ao Sr. Eric Boehm e a Sra. Céline Arnold da empresa DHJ International por ceder o tubo de kundt para minha pesquisa.

Ao Sr. Julio A. Cordioli e Sr. Julio Hermes do Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina por ceder o tubo de kundt para as primeiras análises.

Ao Sr. Gaëtan Garreffa e a Sra. Prof^a. Christelle Delaite do Laboratoire de Photochimie et d'Ingénierie Macromoléculaires (LPIM) o qual sem o apoio deles e a disponibilidade do laboratório químico a extração da queratina não seria possível.

Finalmente, agradeço aos meus professores de francês Sra. Laurence Curie e Benoit Ebner e às minhas professoras de inglês Natalia Zaessinger e Nadiia Maaz, pois me ajudaram a melhorar minhas habilidades nessas duas línguas.

Agradeço também à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - pela bolsa de número 2753/13-8 concedida para a realização desta tese.

Que os membros da banca recebam meu reconhecimento pela honra que me é acordada da participação e da contribuição neste trabalho de pesquisa.

A todos, enfim, reitero a minha estima e gratidão.

Remerciements

La réalisation de cette thèse n'a été possible que grâce à la collaboration et le soutien, directement ou indirectement, de diverses personnes et institutions auxquelles je souhaiterais exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude.

Je tiens à dire merci à ma mère Roseli, car elle est ma référence et mon soutien en tout moments. Sans elle, rien ne serait possible. Je remercie également mon père Hélio, mon frère Dr. Leandro pour être mon compagnon et mon exemple, ma grand-mère Noemia pour sagement me donner des conseils, mon grand-père Zézinho (*in memoriam*) pour être comme un père pour moi, ma grand-mère Dusolina (*in memoriam*) pour montrer sa joie en tout temps, mon grand-père Pipe (*in memoriam*) pour m'aimer tant et montrer une telle humilité, ma tante Solange pour m'aider dans tout et tout le temps et d'être toujours de bonne humeur, mon oncle Olídeo pour croire en mes progrès, ma tante Leonilda - Ny (*in memoriam*) pour être fière de moi, ma belle-sœur Patrícia et ma nièce Rebequinha pour ne pas m'oublier. Enfin je remercie toute ma famille, qui d'une manière ou d'une autre, m'a soutenue et a pris part à cette réalisation. Je remercie en particulier mon petit ami Pierre pour tout son soutien au cours de la thèse et pour me donner souvent la motivation quand je ne pouvais pas la trouver moi-même; de plus, pour son aide à mon apprentissage de la langue française et pour son soutien quotidien. Je remercie, également Anne-Laure, René, Lucie et Pascal pour m'avoir accueillie si bien dans la famille en étant extrêmement gentils avec moi.

Je remercie infiniment mes trois directeurs de thèse; Mme Laurence Schacher, M. Dominique Adolphe et M. Gilberto Francisco de Martha Souza pour la disponibilité manifestée tout au long de ce travail et de l'intérêt dans l'orientation. En particulier, pour l'encouragement, le soutien, les connaissances transmises, des conseils précieux, les révisions et corrections des textes, pour l'extrême gentillesse, l'amitié et d'être, avant tout, humains envers moi. Je les remercie également pour les efforts déployés pour résoudre mes problèmes administratifs.

Je remercie tous mes collègues pour les moments de détente, le rire et les cafés partagés ensemble. En particulier à mes amis Dao, Khaldon, Aurélie, Ahsan, Ali, Safi, Donya, Neda, Elham et mon cher frère Anwar. Et à mes amis en dehors du Laboratoire : Bénédicte, Youssef, Anna et Laura pour les bons moments ensemble.

Je suis également très reconnaissante à tout le personnel et les enseignants de l'UHA qui ont rendu mes jours plus joyeux. Surtout Philippe, Chantal, Agnès Schwob, Agnès Edighoffer, Christian, Matthieu, Jean, Julien, François, Daniel, André, Nabyl, Marie-Anne, Semra, Giulia et Aurélia.

Je remercie Mme Vanda Soeli du Bureau international de POLI et Mme Regianne Amaral la secrétaire du PPGEM-EPUSP pour avoir pris en charge le processus de mon double diplôme.

À M. Prof. Artan Sinoimeri pour les conseils sur les statistiques.

À M. Munif Ghani, Mme Adriana Ribas et l'équipe du LAFITEX pour avoir fournis, gentiment, les laboratoires de l'entreprise Rhodia Polyamide Ltda.

À M. Eric Boehm et Mme Céline Arnold de la société DHJ Internationale pour m'avoir prêté le tube Kundt pour mes recherches.

À M. Prof. Julio A. Cordioli et M. Julio Hermes du Laboratoire des Vibrations et d'Acoustique de l'Université Fédérale de Santa Catarina pour avoir laissé utiliser le tube Kundt pour les premières analyses.

À M. Gaëtan Garreffa et Mme Prof. Christelle Delaite du Laboratoire de Photochimie et d'Ingénierie Macromoléculaires (LPIM) grâce auxquels, par leur soutien et leur disponibilité au laboratoire chimique, l'extraction de la kératine et n'aurait été pas possible.

Enfin, je remercie mes professeurs de langue française Mme Laurence Curie et M. Benoit Ebner et mes professeurs d'anglais Natalia Zaessinger et Nadiia Maaz qui m'ont beaucoup aidé à améliorer mes compétences dans ces deux langues.

Je remercie également la CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - pour le financement numéro 2753/13-8 accordé pour la concrétisation de cette thèse.

Que les membres du conseil reçoivent ma gratitude pour l'honneur qui m'est accordé par leur participation et leur contribution à cette recherche.

À tous, enfin, je réitère ma reconnaissance et ma gratitude.

“Ninguém escapa ao sonho de voar, de ultrapassar os limites do espaço onde nasceu de ver novos lugares e novas gentes. Mas saber ver em cada coisa, em cada pessoa, aquele algo que a define como especial, um objeto singular, um amigo – é fundamental. Navegar é preciso, reconhecer o valor das coisas e das pessoas, é mais preciso ainda”.

Nuno Coelho

« Fais de ta vie un rêve, et d'un rêve, une réalité ».

Antoine de Saint-Exupéry

“Do everything in love”

1 Corinthians 16:14 - New International Version - NIV

SEAWRIGHT-ALONSO, Raquel. Estudos Preliminares sobre a Viabilidade do Emprego Comercial e Ecológico de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de Não tecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas, setembro 2016. 386 p. Tese (Doutorado) - Université de Haute-Alsace - LPMT e Universidade de São Paulo - POLI.

Resumo

A indústria da avicultura mundial produz, anualmente, bilhões de toneladas de penas e penugens de frango, pato, peru e ganso. Grande parte desse produto de descarte é incinerado em aterros causando poluição da atmosfera e do solo. Por isso, foi crucial o desenvolvimento de novas ideias para aplicações comerciais do bioproduto de penas e penugens. Assim, neste trabalho de tese, caracterizaram-se as fibras de penas e penugens nos âmbitos físico-mecânico, térmico e acústico e desenvolveram-se dois produtos comerciais: não tecidos de penas e de penugens pelo processo de agulhadeira e não tecidos de nanofibras da queratina de penas e penugens por electrospinning. Os resultados foram analisados através de métodos estatísticos a fim de validar as análises. Pode-se, então reciclar as penas e utilizá-las como matéria-prima para a indústria têxtil e de materiais. Além disso, as penas são facilmente utilizáveis devido à sua qualidade, baixo custo e quantidade disponível. Deste modo, penas recicladas não só reduzem os custos do produto final, mas também criam um movimento ambiental para desenvolver uma economia circular *eco-friendly*.

Palavras-chave: Pena, Fibra, Reciclagem, Não tecido, Nanofibra, Caracterização.

Résumé

Annuellement, l'industrie mondiale de la volaille produit des milliards de tonnes de plumes et de duvets de poule, canard, oie et dinde. Une grande partie de ces déchets sont incinérés dans des décharges polluant l'atmosphère et le sol. Il est donc crucial de développer de nouvelles idées pour des applications commerciales des bioproduits de plumes et de duvets. Ainsi, dans ce travail de thèse, les fibres de plumes et de duvets ont été caractérisées au niveau physique, mécanique, thermique et acoustique. Deux produits commerciaux ont été développés avec les plumes et les duvets : des nontissés par un processus d'aiguilletage et des nontissés de nanofibres de kératine par electrospinning. Les données ont été analysées en utilisant des méthodes statistiques pour valider les résultats. Les plumes ont pu être recyclées comme matière première pour l'industrie du textile et des matériaux. Les plumes sont facilement utilisables en raison de leur qualité, leur faible coût et les quantités disponibles. Ainsi, des plumes recyclées non seulement réduisent les coûts du produit final, mais aussi créent un mouvement écologique pour développer une économie durable.

Mots-clés : Plume, Fibre, Recyclage, Nontissé, Nanofibre, Caractérisation.

The poultry industry produces billions tons of chicken, duck, turkey and goose feathers and down feathers worldwide annually. Most of these waste products are incinerated in landfills resulting in pollution of atmosphere and land. For these reasons, it was crucial to develop new ideas for commercial applications of feathers and downs as a fiber byproducts. In this thesis work, feathers and down as fibers were characterized in physical, mechanical, thermal and acoustic scopes and two commercial products were developed using feather and down feathers: nonwoven by dry laid needle punched process and nanofibers nonwovens of keratin by electrospinning process. The results were analyzed using statistical methods to validate the analysis. Thereby, feathers were recycled and used as a raw material for the textile and materials industry. Furthermore, they are easily usable due to their quality, low cost and the available quantity. Moreover, recycled feathers not only reduce the costs of the final product but also create an environmental movement to develop an eco-friendly circular economy.

Keywords: Feather, Fiber, Recycling, Nonwoven, Nanofiber, Characterization.

Lista de Figuras

Capítulo I

- Figura 1.** Produção mundial de Frango, Peru e Pato em 2012
- Figura 2.** Frango (a); Peru (b); Pato (c); Ganso (d)
- Figura 3.** Penas de Contorno (a); Penugem ou Penas de Baixo (b); Semiplumas (c); Filoplumas (d)
- Figura 4.** Pena de Frango (a); Pena de Peru (b); Pena de Pato (c) e Pena de Ganso (d)
- Figura 5.** Estrutura da pena (a) e (b) adaptado pela autora. Estrutura da pena (c)
- Figura 6.** Vista esquemática de três principais componentes estruturais da ráquis das penas
- Figura 7.** Bárbule de penugem com nós (a) Eixo externo da Anterior Bárbule (b) Anterior Bárbule da parte superior com ganchos (c) Anterior bárbule da parte inferior com espinhos e dentes de arpão (d) Nó da Anterior Bárbule da pena de Frango (e) Nó do Anterior Bárbule da pena de Peru (f) (Desenvolvido pela autora) Nó do Anterior Bárbule da pena de Pato (g) Nó da Anterior Bárbule da pena de Ganso (f)
- Figura 8.** α -hélice da α - Queratina (a) e β -folha da β -Queratina (b)
- Figura 9.** Microscopia da fibra de lã (a) Estrutura da superfície 500x (b) Vista longitudinal 500x (c) Secção transversal da fibra de lã Merino e (d) Vista longitudinal 500x
- Figura 10.** Gráfico de carga e extensão de fibras de lã (1) com boa uniformidade e (2) menos uniforme
- Figura 11.** Diferentes tipos de estruturas têxteis: malha (a); tecido plano (b) e não-tecido (c)
- Figura 12.** Imagem MEV de um fio de cabelo recoberto por nanofibras

Capítulo II

- Figura 13.** Penas de frango dentro de um saco para a esterilização (a); Banho das penas de frango à 75° C em solução com detergente ECE (b) e Enxágue das penas de frango (c)
- Figura 14.** Etapas da preparação das amostras: penugens (a); fibras das penugens (b); penas (c); fibras de penas (d) e ráquis de penas e de penugens (e)
- Figura 15.** Suporte circular com as fibras (a) e aparelho TEXTTEST em funcionamento (b).
- Figura 16.** Digitalização da amostra através de um escâner acoplado a um computador com software específico
- Figura 17.** Tela de programação do software EPSON Scan (a) e tamanho da imagem sendo definido sobre a amostra (b)
- Figura 18.** Penas de frango escaneadas com uma escala numérica
- Figura 19.** Ângulo de inclinação da amostra e o eixo do feixe de elétrons. Amostra inclinada (1), feixe de elétrons (2), amostra (3), ângulo de inclinação (4)
- Figura 20.** Placa metálica com as amostras de pena e de penugem da fibra de frango, peru, pato e ganso.
- Figura 21.** Microscópio eletrônico de varredura acoplado a uma videocâmara de

- captação digital de imagens (a); placa de metal com as amostras sendo inserida no MEV (b)
- Figura 22.** Preparação dos corpos de prova com esmalte incolor e óleo secante (a); aparelho de corte de precisão (b)
- Figura 23.** Suporte do MEV para visualização seccional do material (a); suporte acoplado dentro do microscópio (b)
- Figura 24.** Dinamômetro *Instron* acoplado a um sistema informático (a); garras de 10 mm e sistema de silicone para que as fibras não escorreguem (b) e realização do teste com uma fibra de pena de frango (c)
- Figura 25.** Dimensões da amostra de não tecido para encaixe nas pinças do dinamômetro
- Figura 26.** Placa de pressão e suporte da amostra do aparelho KES-FB3 (a); Amostra sob compressão (b)
- Figura 27.** Instrumento KES-FB3 de determinação da espessura
- Figura 28.** Curva de compressão do KES-FB3
- Figura 29.** Aparelho de compressão com diversas possibilidades de massas.
- Figura 30.** Dispositivo experimental para a medição do ângulo de contato estático
- Figura 31.** Dispositivo comprimindo a gota de água
- Figura 32.** Modelização do ângulo de contato de uma gota
- Figura 33.** Suporte para o banho de fervura (a) e autoclave (b)
- Figura 34.** Instrumento KES-F7 de medição do fluxo de energia elétrica
- Figura 35.** Tubo de Kundt do Brasil (a) suporte do tubo com as fibras de pena posicionadas (b) e Tubo de Kundt com suporte para o teste do coeficiente de absorção da França (c)
- Figura 36.** Diagrama esquematizado do tubo de impedância com dois microfones do método função-transferência. Onde; (1) Terminação rígida; (2) Teste da amostra; (3) e (4) Microfones e (5) Auto-falante
- Figura 37.** Agulhadeira e suas divisões (a) (European Disposables and Nonwovens Association, 2003) e movimento de entrada e saída das agulhas sobre as fibras de pena (b)
- Figura 38.** Penugem cortada em três partes iguais
- Figura 39.** Amostra de fibras de frango acopladas entre duas camadas de polipropileno (a); entrada da amostra na agulhadeira (Modelo: Oskar Dilo Maschinenfabrik) (b); agulhadeira e saída da amostra (c) amostra no cilindro de saída e placa com agulhas
- Figura 40.** Solução de hidróxido de sódio com penas (a) e queratina em pó (b).
- Figura 41.** Análise de Espectroscopia por Infravermelho (Modelo Platinum ATR Vertex 70 marca Bruker em micro-ATR)
- Figura 42.** Espectro infravermelho da queratina de pena de frango
- Figura 43.** Electrospinning construído no LPMT (a) Diagrama esquemático do processo de electrospinning (b)
- Figura 44.** Comparação visual entre as médias dos diferentes grupos através do t-student teste (a) e ângulos de intersecção por cada par (b)
- Figura 45.** Correlação perfeita (a), correlação forte (b), correlação fraca (c) e ausência de correlação (d)
- Figura 46.** Correlação positiva (a) e negativa (b)
- Figura 47.** Interpretação do coeficiente de correlação.
- Figura 48.** Exemplo de linha de regressão

- Figura 49.** Fibras de penugens de frango esterilizadas e separadas da ráquis
- Figura 50.** Identificação da microscopia longitudinal das fibras de penas (a) Aumento de 135 vezes da fibra de pena de frango [SEAWRIGHT, 2013]; (b) aumento de 50 vezes da fibra de pena de peru; (c) aumento de 125 vezes da fibra de pena de peru; (d) aumento de 400 vezes da fibra de pena de peru
- Figura 51.** Microscopia longitudinal da fibra de frango (a) e (b) e Microscopia longitudinal da penugem de frango (c) e (d). Ambas com aumento de 50 e 600 vezes
- Figura 52.** Microscopia transversal da pena da fibra de frango (a) e (b) Microscopia transversal da penugem da fibra de frango (c) e (d). Ambas com aumento de 300 e 1000 vezes seu tamanho original
- Figura 53.** Secção transversal da fibra de penugem de peru (a) penugem de ganso (b) pena de pato (c) e pena de ganso (d) ampliada 300 vezes
- Figura 54.** Secções transversais existentes de fibras têxteis
- Figura 55.** Gráfico de resiliência de acordo com as secções transversais das fibras têxteis
- Figura 56.** Gráfico de brilho de acordo com as secções transversais das fibras têxteis
- Figura 57.** Gráfico de volume de acordo com as secções transversais das fibras têxteis
- Figura 58.** Gota de água sobre uma pena de peru antes e depois da pressão.
- Figura 59.** Superfície dos não tecidos de penugem de (a) frango (b) peru (c) pato (d) ganso e pena de (e) frango (f) peru (g) pato e (h) ganso
- Figura 60.** Queratina em pasta, queratina após secagem e queratina líquida
- Figura 61.** Queratina em pó extraída de penas inteiras
- Figura 62.** Fotos feitas de nanofibras com gotas-amostra 2 (a) e nanofibras sem gotas- amostra 7 (b)
- Figura 63.** Microscopias da queratina de pena extraída com aumento de 4.000x (a); 8.000x (b) e 15.000x (c)
- Figura 64.** Polímero com 30% de queratina de lã e 70% de poliamida (a), 50% de queratina de lã e 50% de poliamida e 70% de queratina de lã e 30% de poliamida
- Figura 65.** Microscopias do ensaio de número 7
- Figura 66.** Microscopias do ensaio de número 8
- Figura 67.** Microscopias do ensaio de número 9
- Figura 68.** Microscopias do ensaio de número 10
- Figura 69.** Nanofibras de queratina de lã

Lista de Tabelas

Capítulo I

Tabela 1.	Evolução da produção de aves entre 2009 e 2012 na França
Tabela 2.	Propriedades físico-mecânicas das fibras de lã e seda
Tabela 3.	Propriedades mecânicas das fibras de pena de frango
Tabela 4.	Densidade linear e propriedades mecânicas das fibras de pena de peru
Tabela 5.	Densidade linear e propriedades mecânicas de fios produzidos com fibras de pena de peru
Tabela 6.	Volume e propriedades físicas e mecânicas das fibras de pena de ganso
Tabela 7.	Propriedades mecânicas das fibras de pena de frango, peru e ganso

Capítulo II

Tabela 8.	Classificação dos ângulos de contatos da superfície dos materiais
Tabela 9.	Identificação de fibras têxteis pela técnica de combustão
Tabela 10.	Características dos odores de combustão
Tabela 11.	Teste qualitativo de combustão das principais fibras têxteis
Tabela 12.	Classificação do Coeficiente de Absorção Sonoro
Tabela 13.	Plano de experiência dos não tecidos de pena e de penugem de frango, pato, peru e ganso
Tabela 14.	Testes realizados para definir os melhores parâmetros da extração
Tabela 15.	Testes realizados para definir os melhores parâmetros da filagem por electrospinning
Tabela 16.	Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados

Capítulo III

Tabela 17.	Legenda de abreviações das penas e penugens de cada animal
Tabela 18.	Teste qualitativo da combustão da pena de frango, peru, pato e ganso
Tabela 19.	Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação ao título
Tabela 20.	Significância da média do título das fibras de penas
Tabela 21.	Significância da média do título das fibras de penas
Tabela 22.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 23.	Significância do comprimento do diâmetro das fibras de penas e penugens
Tabela 24.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 25.	Significância da média do diâmetro das fibras de penas
Tabela 26.	Resultado do Conteúdo Percentual de Umidade e Recuperação Percentual de Umidade das fibras de pena e penugem. Desenvolvido segundo as normas ISO/TR 6741-1/87 e NF EN 1161/97
Tabela 27.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 28.	Significância da média da espessura das fibras de penas
Tabela 29.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 30.	Significância da média da permeabilidade ao ar das fibras de penas

Tabela 31.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 32.	Significância da média do alongamento das fibras de penas
Tabela 33.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 34.	Significância da média da tenacidade das fibras de penas
Tabela 35.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 36.	Significância da média da força de ruptura das fibras de penas
Tabela 37.	Ângulo de contato do antes e do depois da compressão mecânica
Tabela 38.	Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem
Tabela 39.	Significância da média da condutividade térmica das fibras de penas
Tabela 40.	Resultado de retração à fervura da fibra de penas
Tabela 41.	Coeficientes de absorção acústico de fibras
Tabela 42.	Resumo das propriedades das fibras de pena
Tabela 43.	Resumo das propriedades das fibras de penugem
Tabela 44.	Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados das fibras de pena.
Tabela 45.	Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados das fibras de penugem.
Tabela 46.	Resumo dos resultados de correlação entre as fibras de penas.
Tabela 47.	Resumo dos resultados de correlação entre as fibras de penugem.
Tabela 48.	Legenda de abreviações das penas e penugens de cada animal.
Tabela 49.	Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem.
Tabela 50.	Significância da média da espessura dos nãotecidos de 2g
Tabela 51.	Significância da média da espessura dos nãotecidos de 4g
Tabela 52.	Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem
Tabela 53.	Significância da média da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 2g
Tabela 54.	Significância da média da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 4g
Tabela 55.	Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem
Tabela 56.	Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem
Tabela 57.	Significância da média do alongamento dos nãotecidos de 2g
Tabela 58.	Significância da média do alongamento dos nãotecidos de 4g
Tabela 59.	Significância da média da força de ruptura dos nãotecidos de 2g
Tabela 60.	Significância da média da força de ruptura dos nãotecidos de 4g
Tabela 61.	Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem
Tabela 62.	Significância da média da condutividade térmica dos nãotecidos de 2g
Tabela 63.	Significância da média da condutividade térmica dos nãotecidos de 4g
Tabela 64.	Coeficientes de absorção acústico dos nãotecidos e sua classificação
Tabela 65.	Resumo das propriedades dos nãotecidos de pena
Tabela 66.	Resumo das propriedades dos nãotecidos de penugem e penugem cortada
Tabela 67.	Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados do nãotecido de 2g
Tabela 68.	Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados do nãotecido de 4g
Tabela 69.	Resumo dos resultados de correlação entre os nãotecidos de pena e penugem de 2g e 4g
Tabela 70.	Propriedades químicas da proteína seca extraída de penas e da queratina de pelo de cavalo
Tabela 71.	Resultados da média e do coeficiente de variação das amostras
Tabela 72.	Análise da variância dos diâmetros das nanofibras de penas
Tabela 73.	Significância da média do diâmetro das nanofibras de penas

Lista de Gráficos

Capítulo I

- Gráfico 1.** Evolução dos principais países produtores de aves entre 1994 e 2012.

Capítulo II

- Gráfico 1.** Curva de compressão do KES-FB3.

Capítulo III

- Gráfico 1.** Título das penas e das penugens de frango, peru, pato e ganso
Gráfico 2. Teste de normalidade do título das penas
Gráfico 3. Teste de normalidade do título das penugens
Gráfico 4. Análise de variância (ANOVA) do título das penas e penugens
Gráfico 5. Comparação do título de diferentes fibras de penas e penugens (t student)
Gráfico 6. Comparação do título de diferentes fibras de penas (t student)
Gráfico 7. Comparação de títulos de diferentes fibras têxteis comerciais e de penas e penugens
Gráfico 8. Histograma do comprimento das penas e das penugens
Gráfico 9. Histograma do diâmetro das penas e das penugens
Gráfico 10. Resultados de *regain* das penas e penugens de frango, peru, pato e ganso
Gráfico 11. Comparação de *regains* de fibras comerciais e as fibras de penas
Gráfico 12. Histograma do comprimento das penas (sem a pena de peru) e das penugens
Gráfico 13. Histograma da permeabilidade ao ar das penas e das penugens
Gráfico 14. Curva de força por alongamento de 50 fibras de pena de pato
Gráfico 15. Histograma do alongamento das penas e das penugens
Gráfico 16. Histograma da tenacidade das penas e das penugens
Gráfico 17. Histograma da força de ruptura das penas e das penugens
Gráfico 18. Ângulo de contato (θ) antes e depois da compressão mecânica
Gráfico 19. Teste de diferença entre médias do antes e do depois da compressão da gota de água
Gráfico 20. Boxplot da média da diferença entre o ângulo de contato do antes e do depois da compressão
Gráfico 21. Histograma da condutividade térmica das penas e das penugens
Gráfico 22. Coeficiente de absorção acústico das penas de frango, pato, peru e ganso.
Gráfico 23. Correlações dos parâmetros estudados nas fibras de penas
Gráfico 24. Regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica
Gráfico 25. Regressão linear da força de ruptura em relação ao diâmetro
Gráfico 26. Regressão linear do diâmetro em relação à força de ruptura
Gráfico 27. Análise de APC das fibras de penas
Gráfico 28. Análise multivariada dos componentes principais do grupo
Gráfico 29. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2

- Gráfico 30.** Correlações dos diversos parâmetros estudados nas fibras de penugens
- Gráfico 31.** Regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao título
- Gráfico 32.** Regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao comprimento
- Gráfico 33.** Análise de APC das fibras de penugens
- Gráfico 34.** Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2
- Gráfico 35.** Análise multivariada dos componentes principais do grupo 3
- Gráfico 36.** Força de ruptura e alongamento dos nãotecidos de polipropileno e penugem de frango cortada
- Gráfico 37.** Histograma da espessura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g
- Gráfico 38.** Histograma da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g
- Gráfico 39.** Curva de força por alongamento de nãotecidos de pena de peru de 4g
- Gráfico 40.** Histograma do alongamento e da força de ruptura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g
- Gráfico 41.** Histograma da condutividade térmica dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g
- Gráfico 42.** Coeficiente de absorção acústico do nãotecido de pena de frango 2g
- Gráfico 43.** Matriz do gráfico de nuvens de pontos das correlações dos parâmetros estudados dos nãotecidos de 2g
- Gráfico 44.** Matriz do gráfico de nuvens de pontos dos nãotecidos de 4g
- Gráfico 45.** Regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica
- Gráfico 46.** Regressão não linear da espessura em relação ao coeficiente de absorção sonoro
- Gráfico 47.** Regressão não linear da permeabilidade ao ar e a força de ruptura
- Gráfico 48.** Regressão linear da permeabilidade ao ar e o alongamento
- Gráfico 49.** Regressão não linear da espessura em relação à condutividade térmica
- Gráfico 50.** Regressão não linear da espessura em relação à permeabilidade ao ar
- Gráfico 51.** Regressão linear da espessura em relação à força de ruptura
- Gráfico 52.** Regressão não linear da condutividade térmica e a permeabilidade ao ar
- Gráfico 53.** Regressão não linear da permeabilidade ao ar e o alongamento
- Gráfico 54.** Regressão linear da permeabilidade ao ar e a força de ruptura
- Gráfico 55.** Análise de APC das propriedades dos nãotecidos de 2g
- Gráfico 56.** Análise de APC das propriedades dos nãotecidos de 4g
- Gráfico 57.** Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2
- Gráfico 58.** Espectro de absorção da queratina extraída da pena de frango
- Gráfico 59.** Infraruge em ATR da queratina extraída das penas de frango e pato
- Gráfico 60.** Espectro de absorção da água
- Gráfico 61.** Diâmetro das nanofibras de queratina de penas de frango e pato
- Gráfico 62.** Teste de normalidade do diâmetro das nanofibras de penas
- Gráfico 63.** Análise de variância do diâmetro das nanofibras de penas
- Gráfico 64.** Comparação do diâmetro das nanofibras de penas (t student)

Schéma 1.	Principales étapes du processus de caractérisation des fibres de plumes
Fluxograma 1.	Principais etapas do processo de caracterização das fibras de penas
Schéma 2.	Processus de production et de caractérisation des non tissés de plumes
Fluxograma 2.	Principais etapas do processo de produção e caracterização dos não tecidos de penas
Schéma 3.	Processus d'extraction de la kératine et la production de nano fibres de plumes
Fluxograma 3.	Principais etapas do processo de extração da queratina e produção de nanofibras de penas
Fluxograma 4.	Atual ciclo de vida das penas (a) e proposição de um novo ciclo de vida (b)

Nomenclatura

bits.	Número de diferentes tons de cores
cfm.	Pés cúbicos por minuto
C.	Comprimento da fibra; m
CPU.	Conteúdo Percentual de Umidade (Teor de Umidade); %
CM.	Quadrado médio
CV.	Coefficiente de variação
Ddl.	Grau de liberdade
DP.	Desvio Padrão
dpi.	Número de pixels existentes em uma polegada
dtex.	Decitex
EMC.	Compressibilidade; %
F.	Carga de Ruptura; cN
F5.	fractile F de Fisher pour un risque alpha de 5 %
g/d.	Gramas por denier
h.	Espessura; mm
H_A.	Hipótese alternativa
H₀.	Hipótese nula
K.	Condutividade Térmica; W/cm °C
LC.	Linearidade de compressão
Lm.	Fluxo luminoso ou lúmen
M_m.	Massa Média da fibra ou do feixe; g
MS.	Massa Seca; g
MU.	Massa Úmida (Peso Original); g
RC.	Resiliência de compressão; %
RPU.	Recuperação Percentual de Umidade (<i>Regain</i>); %
S.	Superfície; cm ²

SCE.	Soma dos quadrados
T.	Título; tex
T_m.	Título Médio
T_M.	Espessura da amostra; mm
T₀.	Espessura da amostra à P.A de 6gf/cm ² ; mm
W.	Fluxo de energia elétrica; W
WC.	Energia de compressão; gf.cm/ cm ²
γ.	Tenacidade; cN/tex
σ.	Sigma
ΔT.	Diferença de temperatura entre as placas; °C

Siglas

AATCC.	<i>The American Association of Textile Chemists and Colorists</i>
ABNT.	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA.	Análise de Variância
ASTM.	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BS.	<i>British Standards</i>
EN.	<i>European Standards</i>
EUA.	Estados Unidos da América
FAO.	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
NF.	<i>Norme Française</i>
ISO.	<i>International Organization for Standardization</i>
UE.	União Européia
UHA.	<i>Université de Haute-Alsace</i>
USP.	Universidade de São Paulo
MEV.	Microscópio eletrônico de varredura

Considerações Iniciais e Justificativa

A reciclagem da matéria-prima apresenta um papel essencial e necessário na sustentabilidade do meio-ambiente. A matéria-prima têxtil é quase 100% recuperada após o processo de reciclagem. Por esta razão, fibras naturais são ideais já que são abundantes e são renováveis ecologicamente por natureza.

A preferência de uma parte considerável dos consumidores por materiais ecologicamente corretos faz com que as empresas busquem novas possibilidades de materiais que aliem economia, sustentabilidade e funcionalidade.

Fibras de pena e penugem são consideradas como materiais de descarte, na maioria das vezes, incineradas em aterros. A incineração, por sua vez, causa poluições na atmosfera e contaminação nos solos. Além da reciclagem das penas evitarem a queima, estas fibras provenientes de animais poderão substituir as fibras sintéticas (fonte não renovável) provenientes do petróleo. No entanto, poucos estudos têm sido encontrados na literatura sobre a reciclagem e a valorização de penas na área têxtil e de materiais.

A produção de penas de aves está diretamente ligada com a consumação de carnes. Verifica-se que em 2012, a produção mundial de carne de aves aumentou em 2,4% [FAO, 2013]. Atualmente, EUA, China, Brasil, União Européia (França como primeiro país Europeu) e Índia são os maiores produtores de carne de aves no mundo inteiro [ABRA, 2012]. Em 2013, aproximadamente 82 milhões de toneladas de carne de aves foi produzida pela indústria da avicultura [UBABEF, 2014]. Devido a essa vasta produção, as penas se tornaram um problema relativo ao seu descarte. Por exemplo, 788 toneladas de penas no Brasil e 9 toneladas na França encontraram o caminho da incineração [SÉVILLANO, 2004]. Por isso o estudo se justifica plenamente pelo fato de que a indústria da avicultura descarta milhões de toneladas de penas que, na maioria das vezes, são incineradas.

Observa-se que os não tecidos são, atualmente, o segmento na indústria têxtil que mais cresce de maneira que o seu uso está se tornando mais comum graças aos bons consumidores nas áreas de não tecidos de higiene (32%), construção (18,2%), fraldas (15,8%) e filtração (6,9%). Na atualidade a produção mundial dos não tecidos é estimada

em aproximadamente 7,6 milhões de toneladas em 2011 com crescimento de 8% e um mercado estimado a 5,6 bilhões de euros [PAYEN, 2013]. De acordo com EDANA (2015) a produção global dos não tecidos somente na Europa cresceu em cerca de 5% em 2014 alcançando mais de 2 milhões de toneladas.

A nanotecnologia, por sua vez, é um forte domínio em crescimento de uma tecnologia multiuso com aplicações potenciais em muitos setores da economia global. Além do mais, é susceptível de ter um impacto profundo na economia e na sociedade no século 21.

Em 2015, o mercado mundial de nanotecnologia tem demonstrado um crescimento impressionante. Estudos mostram que dentro de uma década o mercado de nanotecnologia pode exceder 2,6 trilhões de dólares [TEXAS NANOTECHNOLOGY REPORT, 2008] e o mercado de nanotecnologia mundial deverá crescer cerca de 17,5% durante 2016 - 2022. Assim, encontra-se uma enorme oportunidade para os participantes da indústria para explorar o mercado em rápido crescimento [GLOBAL NANOTECHNOLOGY MARKET OUTLOOK, 2015].

Por estas razões, o objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de produtos à partir de penas. Foram utilizados diferentes tipos de penas e penugens de aves, como as penas de galinha, pato, ganso e peru.

Entre os materiais têxteis que podem ser obtidos à partir de penas, o nosso estudo foi limitado para a realização dos não tecidos por agulhamento. Este produto é mais adequado tendo em conta a relativa simplicidade do processo de produção e a heterogeneidade das penas.

Estes materiais podem então encontrar o seu lugar no setor de transportes (isolamento no interior de veículos) e construção (isolamento acústico e térmico).

Antes da confecção sob a forma de não tecidos, as estruturas das fibras, bem como, suas propriedades físicas, mecânicas, acústicas e térmicas individuais foram estudadas, a fim de serem comparadas com as fibras "convencionais" tais como a lã e o algodão por exemplo.

Depois da confecção dos não tecidos, outros produtos têxteis foram desenvolvidos para a produção de vários tipos de materiais feitos à partir de penas.

Para isso, a queratina de penas e penugens de frango e pato foi extraída por um método simples, ecológico, de baixo custo, e não nocivo para os usuários. Suas propriedades químicas foram estudadas para certificar que o produto é realmente a queratina.

Assim, o estudo teve como objetivo a produção de nanofibras de queratina extraídas pelo método electrospinning. Os não tecidos de nanofibras foram analisados por um microscópio electrónico de varredura, pelo qual a superfície e o diâmetro das nanofibras foram estudados.

Este material se mostra apropriado devido à simplicidade da produção e a regularidade do produto final. As nanofibras poderiam então possuir uma possível aplicação em biomedicina e biomateriais.

Esses produtos contribuirão para desenvolver uma economia circular, a qual pode ser proveitosa para os países anteriormente mencionados, devido ao seu baixo custo e a sustentabilidade dos materiais e dos processos de produção. A reciclagem das penas fará parte de um sistema *eco-friendly* vantajosa o qual irá, certamente, diminuir o impacto ambiental causado pelo descarte da indústria da avicultura.

No final, os resultados numéricos da fase experimental foram desenvolvidos e organizados em tabelas e gráficos e a interpretação dos dados pela análise estatística foi feita.

Assim, este estudo está baseado na necessidade e na análise da possibilidade de inserção de novos produtos ecológicos provenientes de materiais de origem natural no mercado.

Objetivo

Com o intuito de reciclar milhões de toneladas de penas de aves descartadas anualmente no mundo e de desenvolver produtos originais, este trabalho teve como objetivo geral a valorização comercial desse dejetos, transformando-os em produtos sustentáveis de consumo para a indústria têxtil e de materiais. Os produtos desenvolvidos foram não tecidos e nanofibras à partir da queratina de penas e penugens.

Os objetivos específicos foram divididos em 4 partes, à saber:

Na primeira parte, o levantamento bibliográfico sobre as fibras têxteis convencionais, a estrutura e a composição química das penas, as técnicas e processos de caracterização, dados econômicos de produção e descarte da matéria-prima foram detalhados, bem como, as aplicações existentes, os dados sobre não tecidos e suas técnicas de produção e os dados sobre queratina e nanofibras.

A segunda etapa parte do desenvolvimento de uma metodologia específica de fabricação de não tecidos por agulhadeira via seca. Aplicada no laboratório, ela permitiu a realização de amostras que foram caracterizadas.

A produção dos não tecidos de penas e penugens foi feita com diferentes materiais de base (fibras de pena, fibras de penugem e penugem cortada em três partes iguais) e diferentes massas.

Nesta etapa são apresentados os trabalhos realizados para a caracterização de fibra de penas e de não tecidos. Os seguintes testes foram realizados:

- Físicos e Mecânicos - título, diâmetro, comprimento, alongamento, elasticidade, resistência, espessura, hidrofobicidade, permeabilidade ao ar, determinação do teor de *regain* e umidade e microscopias longitudinais e transversais;
- Acústicos - coeficiente de absorção sonora;
- Térmicos - condutividade térmica, teor de retração da fibra;
- Químicos - combustão.

A terceira parte apresenta um método simples e ecológico que foi desenvolvido para a extração da queratina das penas. O método se divide em três vias: a extração da queratina, a filagem de nanofibras por electrospinning e a caracterização da superfície e do diâmetro das nanofibras por microscopia.

A quarta etapa se destina às análises estatísticas dos resultados e proposições de aplicações para os não tecidos.

A tese se finaliza com um capítulo de conclusão o qual evoca as perspectivas de trabalhos futuros.

Estrutura da Tese

Fluxograma explicativo da estrutura da tese.

1.1. Considérations Initiales et Justification

Le recyclage des matières premières représente une part importante et nécessaire dans le développement durable et l'environnement. La matière première textile est presque 100% récupérée après le processus de recyclage. Pour cette raison, les fibres naturelles sont idéales car elles sont abondantes et écologiquement renouvelable par nature.

La préférence d'une considérable partie des consommateurs pour des matériaux favorables à l'environnement fait que les entreprises cherchent de nouvelles possibilités pour les matériaux qui combinent coût, durabilité et fonctionnalités.

Les fibres de plumes et duvet sont considérées comme des déchets et la plupart du temps elles sont incinérées. L'incinération, provoque une pollution atmosphérique et la contamination des sols. Au-delà du recyclage des plumes pour éviter l'incinération, ces fibres animales peuvent remplacer les fibres synthétiques obtenues à partir du pétrole (source non renouvelable). Cependant, peu d'études ont été trouvées dans la littérature sur le recyclage et la récupération des plumes pour des applications textiles.

La production de plumes de volaille est directement liée à la consommation de viande. On constate que, en 2012, la production mondiale de viande de volaille a augmenté de 2,4% [FAO, 2013]. Actuellement, les États-Unis, la Chine, le Brésil, l'Union Européenne (la France est le premier pays Européen) et l'Inde sont les plus grands producteurs de volailles dans le monde entier [ABRA, 2012]. En 2013, environ 82 millions de tonnes de viande ont été produites par l'industrie de la volaille [UBABEF, 2014]. En raison de cette importante production, l'élimination des plumes est devenue un problème. Par exemple, 788 tonnes de plumes ont été incinérées annuellement au Brésil et 9 tonnes en France [SÉVILLANO, 2004]. Par conséquent, l'étude envisagée est entièrement justifiée par le fait que l'industrie de la volaille produit des millions de tonnes de plumes, qui dans la majorité des cas, sont incinérés.

On observe que les non-tissés sont le segment qui se développe actuellement le plus dans l'industrie textile. Leur utilisation est de plus en plus fréquente dans les domaines de non-tissés d'hygiène (32%), de la construction (18,2%), des couches (15,8%) et de la filtration (6,9%). Actuellement, la production mondiale de non-tissés est estimée à environ 7,6 millions de tonnes en 2011 avec une croissance de 8% et un marché estimé à 5,6 milliards d'euros [PAYEN, 2013]. Selon EDANA (2015), la production mondiale

de non-tissés en Europe a progressé d'environ 5% en 2014 atteignant plus de 2 millions de tonnes.

Les nanotechnologies, d'autre part, sont des technologies multi-usages avec des applications potentielles dans de nombreux secteurs de l'économie mondiale. Elles sont susceptibles d'avoir un impact profond sur l'économie et la société du 21^e siècle.

En 2015, le marché mondial des nanotechnologies a montré une croissance impressionnante. Des études montrent que dans une décennie, le marché des nanotechnologies peut dépasser 2,6 milliards de dollars [TEXAS NANOTECHNOLOGY REPORT, 2008] et il est prévu une croissance mondiale d'environ 17,5% au cours de 2016 - 2022. Ainsi, c'est une énorme opportunité pour les industries d'investir dans ce marché en croissance rapide [GLOBAL NANOTECHNOLOGY MARKET OUTLOOK, 2015].

Pour ces raisons, l'objectif de cette recherche a été le développement des produits issus des plumes. Différents types de plumes et de duvets d'oiseaux ont été utilisés, comme la poule, le canard, l'oie et la dinde.

Parmi les matériaux textiles qui pourraient être obtenues à partir de plumes, notre étude s'est limitée à la réalisation de non-tissés par aiguilletage. Ce produit semble à priori être plus approprié compte tenu de la relative simplicité du procédé et de l'hétérogénéité des plumes.

Ces matériaux pourraient alors trouver leur place dans le secteur des transports (isolation intérieur des véhicules) et de l'habitat (isolation acoustique et thermique).

Avant de procéder à leur assemblage sous la forme de non-tissés, les structures des fibres tout comme leur propriétés physiques, mécaniques, acoustiques et thermiques individuelles auront été étudiées afin d'être comparées à des fibres « classiques » comme la laine et le coton par exemple.

Après avoir confectionné les non-tissés, d'autres produits textiles ont été développés afin de produire différents types des matériaux obtenus à partir de plumes.

Pour cela, la kératine de plumes et duvets de poule et canard a été extraite par une méthode simple, écologique, à faible coût et non nocive pour les utilisateurs. Leurs propriétés chimiques ont été étudiées pour se certifier que le produit s'agitait bien de la kératine.

Sur ces entrefaites, l'étude s'est intéressée à la production de nano fibres de la kératine extraite par la méthode d'electrospinning. Les non-tissés de nano fibres ont été analysés

par un microscope électronique à balayage, grâce auquel la surface et le diamètre des nano fibres ont été étudiés.

Ce produit se montre approprié due à la simplicité de production et à la régularité du produit final. Les nano fibres pourraient alors avoir une possible application dans la biomédecine et les biomatériaux.

Ces produits aideront à développer une économie circulaire, qui peut être profitable pour les pays mentionnés ci-dessus, en raison du faible coût et de la durabilité des matériaux et des procédés de production. Le recyclage des plumes fera partie d'un système écoresponsable intéressant qui va certainement réduire l'impact environnemental causé par les activités de l'industrie de la volaille.

A la fin, les résultats numériques de la phase expérimentale ont été organisés et développés sous forme de tableaux et de graphiques et l'interprétation des données par l'analyse statistique a été faite.

Ainsi, cette étude est basée sur la nécessité et l'analyse de la possibilité d'inclure de nouveaux produits respectueux de l'environnement à partir de matériaux d'origine naturelle sur le marché.

Objectif

Afin de recycler des millions de tonnes de plumes d'oiseaux mis au rebut chaque année dans le monde entier et de développer des produits originaux ce travail a eu comme objectif général la valorisation commerciale de ces déchets en les transformant en produits de consommation durables pour l'industrie du textile et des matériaux. Les produits développés ont été des non-tissés et de nano fibres à partir de la kératine de plumes et de duvets.

Les objectifs spécifiques ont été divisés en 4 parties, à savoir:

Dans la première partie, l'étude bibliographique partant sur les fibres textiles classiques, la structure et composition chimique des plumes, des techniques et procédés de caractérisation, données économiques de production et d'élimination des matières premières seront détaillés tout comme les applications existantes, les données sur les non-tissés et leurs techniques de production ainsi que les données sur la kératine constituant la plume et les nano fibres.

La deuxième partie porte sur le développement d'une méthodologie spécifique de fabrication de non-tissés par aiguilletage à voie sèche. Appliqué au laboratoire elle a parmi la réalisation des échantillons qui serait caractérisés.

La production de non-tissés de plumes et duvets a été faite avec différentes matières de base (fibres de plumes, fibres de duvets et duvets coupés en trois parties égales) et à énumérer pour différentes masses surfaciques.

Dans cette partie sont présentés les travaux menés pour la caractérisation des plumes et des non-tissés. Les tests suivants ont été réalisés :

- Physique et Mécanique - titre, diamètre, longueur, élongation, élasticité, résistance, épaisseur, hydrophobie, perméabilité à l'air, détermination de la teneur de regain et de l'humidité et longitudinale et transversale au microscope;
- Acoustique - coefficient d'absorption acoustique;
- Thermique - conductivité thermique, le contenu de la rétraction de la fibre et comportement à feu.

La troisième partie présente la méthode simple et écologique qui a été développée pour extraire la kératine de plumes. Elle comporte trois volets : l'extraction de la kératine; le

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Equações.....	x
Lista de Gráficos.....	x
Nomenclatura	xi
Siglas.....	xii
INTRODUÇÃO	
Considerações Iniciais e Justificativa.....	xii
Objetivo.....	xii
Estrutura da Tese.....	xii
1.1 Produção de Aves e Descarte de Penas	11
1.1.1 Setor Brasileiro.....	13
1.1.2 Setor Francês	14
1.2 Aves e suas Características: Frango, Peru, Pato e Ganso.	16
1.3 Tipos de Penas	17
1.3.1 Diferenças entre as Penas de Frango, Peru, Pato e Ganso.	20
1.3.2 Estrutura da Pena.....	21
1.3.3 Composição da Pena	26
1.4 Fibra Têxtil	29
1.4.1 Fibra Têxtil Natural de Origem Animal	29
1.5 Pena: Fibras Alternativas.....	32
1.5.1 Fibras de Pena	32
1.5.2 Fibra de Pena de Frango.....	32
1.5.3 Fibra de Pena de Peru.....	34
1.5.4 Fibra de Pena de Pato	35
1.5.5 Fibra de Pena de Ganso	35
1.5.6 Resumo das Propriedades das Penas	36
1.6 Métodos de Produção Têxtil.....	37
1.6.1 Não tecidos por Agulhadeira.....	37

Contribution à la Caractérisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur
Valorisation Textile

1.6.2	Nãotecidos por Electrospinning	38
1.7	Caracterização e Propriedade das Fibras e dos Nãotecidos.....	40
1.7.1	Propriedades Físicas e Mecânicas	40
1.7.2	Testes Microscópicos	41
1.7.3	Propriedades Acústicas	41
1.7.4	Propriedades Térmicas	42
1.8	Eco Têxteis: Desenvolvimento de Têxteis a Partir de Material de Descarte.....	43
1.9	Conclusão do Capítulo 1.....	45
2		51
2.1	Procedência do Material	51
2.2	Preparação das Amostras.....	51
2.2.1	Amostragem: Penas e Penugens.....	52
2.3	Climatização das Amostras	55
2.4	Caracterização das Fibras e dos Nãotecidos.....	55
2.4.1	Caracterização Física.....	56
2.4.2	Caracterização Mecânica.....	66
2.4.3	Caracterização Térmica.....	75
2.4.4	Caracterização Acústica: Coeficiente de Absorção	80
	Segunda Parte	84
2.5	Produção dos Nãotecidos.....	84
2.6	Extração da Queratina	88
2.6.1	Caracterização da Queratina.....	89
2.7	Considerações Sobre o Processo de Electrospinning	91
2.7.1	Processos de Caracterização.....	93
	Quinta Parte.....	94
2.8	Análises Estatísticas	94

Contribution à la Caractérisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur Valorisation Textile

2.8.1	Representação Numérica dos Dados	94
2.8.2	Características de Tendência Central	95
2.8.3	Média Aritimética	95
2.8.4	Característica de Dispersão	95
2.8.5	Desvio Padrão (α).....	95
2.8.6	Coeficiente de Variação	96
2.8.7	Modelo de Probabilidade e Aleatoriedade	96
2.8.8	Intervalo de Confiança	96
2.8.9	Teste de Aderência: Distribuição Normal ou Gaussiana.....	97
2.8.10	Análise de Variância F (ANOVA)	98
2.8.11	Teste de T Student.....	99
2.8.12	Análise de Médias por Pares de Círculos	100
2.8.13	Nuvens de Pontos na Correlação de Pearson	101
2.8.14	Análise de Regressão	103
2.8.15	Análise em Componentes Principais (ACP)	104
2.9	Conclusão do Capítulo 2.....	106
3		110
3.1	Elementos de Suporte à Apresentação dos Resultados	110
3.2	Preparo do Material	111
3.3	Análise Física e Mecânica das Penas e Penugens	111
3.3.1	Análise de Superfície: Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 111	
3.3.2	Comportamento ao Fogo	120
3.3.3	Determinação do Título das Fibras	121
3.3.4	Medição do Comprimento das Fibras	127
3.3.5	Medição do Diâmetro das Fibras	129

3.3.6	Determinação da Recuperação Porcentual de Umidade (Regain) e do Conteúdo Percentual de Umidade (Umidade) das Fibras	131
3.3.7	Medição da Espessura das Fibras	134
3.3.8	Medição da Permeabilidade ao ar das Fibras	136
3.3.9	Ensaio de Tração de Fibras	138
3.3.10	Teste de Molhabilidade Sob Compressão	147
3.4	Análise Térmica das Penas e Penugens	151
3.4.1	Medição da Condutividade Térmica das Fibras	151
3.4.2	Determinação da Taxa de Retração	153
3.5	Análise Acústica das Penas e Penugens: Coeficiente de Absorção (α)	154
3.6	Resumos dos Resultados das Propriedades das Fibras	157
3.7	Nuvem de Pontos pelo Método Multivariados e Análise dos Componentes Principais: Coeficiente e Círculo de Correlação entre os Parâmetros Estudados	159
3.7.1	Correlação dos Parâmetros das Fibras de Penas	159
3.8	Análise de Componentes Principais das Penas e Análise Multivariada de Componentes Principais das Penas	165
3.9	Correlação dos Parâmetros das Fibras de Penugens	168
3.9.1	Permeabilidade ao Ar X Título	171
3.9.2	Permeabilidade ao Ar X Comprimento	172
3.10	Análise de Componentes Principais e Análise Multivariada de Componentes Principais das Penugens	173
3.11	Conclusão dos Resultados de Correlação das Fibras de Pena e Penugem	176
Segunda Parte		179
3.12	Produção de Nãotecidos e Caracterização dos Nãotecidos de Penas e Penugens de 2g e 4g. 179	
3.12.1	Análise Visual da Superfície	180

3.13	Análise da Influência do Nãotecido de Polipropileno na Caracterização dos Nãotecidos de Penas e Penugens.....	181
3.14	Medição da Espessura dos Nãotecidos	182
3.15	Medição da Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos	185
3.16	Ensaio de Tração: Alongamento e Força de Ruptura dos Nãotecidos	189
3.17	Medição da Condutividade Térmica dos Nãotecidos	196
3.18	Medição do Coeficiente de Absorção Sonoro dos Nãotecidos	199
3.19	Resumos dos Resultados das Propriedades dos Nãotecidos de 2g e 4g	203
3.20	Nuvem de Pontos pelo Método Multivariados e Análise dos Componentes Principais: Coeficiente e Círculo de Correlação entre os Parâmetros Estudados	205
3.20.1	Correlação dos Parâmetros dos Nãotecido de Penas e Penugens de 2g e 4g ...	205
3.20.2	Espessura x Condutividade Térmica dos Nãotecidos de 2g.....	210
3.20.3	Coeficiente Sonoro x Espessura dos Nãotecidos de 2g.....	211
3.20.4	Permeabilidade ao Ar x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 2g.....	212
3.20.5	Permeabilidade ao Ar x Alongamento dos Nãotecidos de 2g.....	213
3.20.6	Espessura x Condutividade Térmica dos Nãotecidos de 4g.....	214
3.20.7	Espessura x Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos de 4g.....	215
3.20.8	Espessura x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 4g.....	216
3.20.9	Condutividade Térmica x Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos de 4g.....	217
3.20.10	Permeabilidade ao Ar x Alongamento dos Nãotecidos de 4g	218
3.20.11	Permeabilidade ao Ar x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 4g	219
3.21	Análise de Componentes Principais e Análise Multivariada de Componentes Principais dos Nãotecidos de Penas e Penugens de 2g e 4g.....	220
3.22	Conclusão dos Resultados de Correlação dos Nãotecidos de Pena e Penugem de 2g e 4g	223
3.23	Conclusões e Aplicações para as Fibras e Nãotecidos de Penas e Penugens	224
3.24	Extração da Queratina.....	229

3.25	Desenvolvimento de Nanofibras por Electrospinning	232
3.26	Caracterização da Queratina	233
3.26.1	Espectroscopia de Infravermelho	233
3.27	Caracterização Microscópica	236
3.27.1	Análise Microscópica da Queratina	236
3.27.2	Análise Microscópica das Nanofibras de Queratina	237
3.28	Análise da Normalidade, Média, Variância do Diâmetro das Nanofibras de Penas e da Comparação de Médias do Diâmetro das Nanofibras por Pares de Círculos.....	241
3.29	Aplicação e Viabilização Comercial da Queratina e da Nanofibra de Queratina de Penas e Penugens	245
	Recommandations pour les Travaux Futurs	250
4	Conclusão	251
I.4.22.	Determinação da Taxa de Retração	336
	Apresentação dos Resultados dos Testes Físicos, Mecânicos, Térmicos e Acústicos.....	369
1.1.1.	Análise de Variância do Comprimento das Fibras das Penas e Penugens	370
1.1.2.	Análise de Variância do Diâmetro das Fibras das Penas e Penugens.....	372
1.1.2.1	Teste de Comparação de Médias do Diâmetro por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.....	374
1.1.3.	Análise de Variância da Espessura das Fibras das Penas e Penugens	375
1.1.4.	Análise de Variância da Permeabilidade ao Ar das Fibras das Penas e Penugens...	377
1.1.5.	Análise de Variância da Alongamento das Fibras das Penas e Penugens.....	380
1.1.6.	Análise de Variância da Tenacidade das Fibras das Penas e Penugens	382
1.1.7	Análise de Variância da Força de Ruptura das Fibras das Penas e Penugens.....	385
1.1.8	Análise de Variância da Condutividade Térmica das Fibras das Penas e Penugens.	387
	Tabela 11. Testes Físicos, Mecânicos, Térmicos e Acústicos.....	391
2.1.1.	Análise de Variância da Espessura dos Não tecidos	392

2.1.2	Teste de Comparação de Médias da Espessura por Pares de Círculos.....	394
2.1.3	Análise de Variância da Permeabilidade ao Ar dos Não tecidos	395
2.1.4	Testes de Normalidade da Permeabilidade ao Ar dos Não tecidos.....	396
2.1.5	Teste de Comparação de Médias da Permeabilidade ao Ar por Pares de Círculos...	397
2.1.6	Análise de Variância do Alongamento dos Não tecidos	399
2.1.7	Testes de Normalidade do Alongamento dos Não tecidos.....	400
2.1.8	Teste de Comparação de Médias do Alongamento por Pares de Círculos.....	401
2.1.9	Análise de Variância da Força de Ruptura dos Não tecidos	402
2.1.10	Testes de Normalidade da Força de Ruptura dos Não tecidos	403
2.1.11	Teste de Comparação de Médias da Força de Ruptura dos Não tecidos por Pares de Círculos.	405
2.1.12	Teste de Comparação de Médias da Força de Ruptura dos Não tecidos por Pares de Círculos.	406
2.1.13	Análise de Variância da Condutividade Térmica dos Não tecidos	407
2.1.14	Testes de Normalidade da Condutividade Térmica dos Não tecidos.....	408
2.1.15	Teste de Comparação de Médias da Condutividade Térmica dos Não tecidos por Pares de Círculos.....	409
4	Seda: Fibra Têxtil Natural de Origem Animal	410

Dans ce chapitre, nous introduirons les questions abordées dans cette thèse à partir d'une étude approfondie de la littérature. Nous examinons donc successivement les questions générales suivantes concernant : les données économiques de la production et de l'élimination des plumes ; la présentation de la structure physique et de la composition chimique des plumes, l'introduction aux matériaux fibreux non-tissés et aux matériaux fibreux à l'échelle nanométrique (nano fibres) dont la réalisation peut être envisagée à partir des plumes et enfin les caractérisations des fibres, non-tissés et nano fibres obtenus à partir de ces fibres.

Selon Itavi (2015) les plus grands producteurs de viande de volailles dans le monde sont les Etats-Unis, la Chine, le Brésil, l'Union Européen, l'Inde et la Russie. De ce fait, il est possible de constater que la production mondiale de volailles a augmenté de 2,4% en 2012 [FAO, 2014]. Approximativement 2,27 milliards de kg de plumes de volailles sont produits chaque année par l'industrie de la volaille [GEORGE, 2006].

En raison de l'importante production de volailles, l'élimination des plumes s'est révélée un problème. En effet, ce matériau est considéré comme un «déchet» dans plusieurs pays puisque son élimination est un processus difficile. La combustion de plumes, très courante dans ces pays, entraînant une pollution de l'air, les plumes sont donc déposées en décharges. Cependant, elles se décomposent très lentement et nécessitent beaucoup de terrain.

Dans cette thèse nous nous sommes intéressés aux plumes et duvets de poule, dinde, canard et oie. Ces quatre animaux appartiennent au règne Animalia et filo chordata.

Les plumes sont les attributs les plus marquants des oiseaux, composant ainsi 2-3 fois la masse osseuse de l'animal. Chaque oiseau doit avoir environ 25.000 plumes sur son corps. En général, il existe quatre types de plumes : plumes de contour (pennes), plumules (duvets), semiplumes et filoplumes.

En ce qui concerne la structure physique des plumes nous pouvons constater la présence des barbes (fibres), vexille (ensemble de fibres), rachis (tige centrale) et calamus (partie plus épaisse du rachis).

La composition chimique des plumes est constituée d'environ 91% de β -kératine, 1,3% de graisse et 7,7% d'eau [BARONE, 2005] [RAMANAN, 2010] [ORNITHOLOGY, 2010].

Pour extraire la kératine il existe plusieurs méthodes différentes. La technique qui a inspiré

l'extraction de la kératine de plumes dans cette étude a été la méthode de Hamouche (2012). C'est une procédure simple, écologique, qui ne nécessite pas beaucoup de produits chimiques et a un faible coût.

La littérature en général, est très rare sur les fibres de plumes et sur leurs applications, par contre la littérature existante fournit des données récentes. Selon Yang (2007) la structure et les propriétés des fibres d'oiseaux en font des fibres uniques pour diverses applications. La présence de structures creuses semblables à un nid d'abeilles, la faible densité de ces matériaux, leur grande flexibilité, leur compressibilité, leur excellente capacité de résilience, les rendent a priori candidats pour des usages en terme d'isolation acoustique et de rétention de la chaleur. Leur spécificité en terme de structure les rend capables de présenter des propriétés uniques, différentes de toutes les autres fibres naturelles ou synthétiques.

Le chapitre de bibliographie est centré sur deux types de produits finaux potentiels à base de plumes : les non-tissés obtenus par aiguilletage et les nano fibres obtenus par électrospinning.

Le non-tissé est une structure plate, souple et poreuse constituée d'un voile de fibres ou de filaments orientés de façon aléatoire ou directionnelle, consolidée par procédé thermique mécanique ou chimique [NBR-13370/02].

Selon Liu (2008), les fibres de plumes peuvent conduire à des non-tissés au moyen de processus à sec de fabrication de non-tissés, car elles ont des capacités mécaniques suffisantes.

Dans ce processus, la technique de consolidation par aiguilletage a été privilégiée dans le cadre de cette étude. Le principe consiste essentiellement à donner une cohésion à la couverture fibreuse entrelaçant ses fibres et filaments. Cette imbrication résulte de l'action des aiguilles et des crochets traversant la couverture qui se déplacent en va-et-vient. Les fibres se lient aux crochets des aiguilles et celles-ci imposent que les fibres traversent la couverture. Une fois que les fibres ont traversé la couverture, elles sont libérées par les aiguilles qui retrouvent leur position d'origine [IFTH 2002].

L'autre voie de valorisation explorée dans ce travail est dans le domaine des nanotechnologies. Ce domaine se définit comme l'ingénierie et la fabrication des matériaux de la même échelle de taille qu'un atome ou une molécule [OMID al, 2009]. Ainsi à l'échelle du nanomètre (nm), le facteur d'amplitude correspond à 10^{-9} .

L'avantage d'un nanomatériau avec une très grande surface par rapport au volume qui le constitue est qu'il permet de larges potentialités en termes de fonctionnalisation de surface. Un exemple est l'amélioration des performances mécaniques par rapport à un autre matériau

« conventionnel » et la possibilité d'ajouter des produits à la surface des nanomatériaux [PATRA, 2012].

Il existe plusieurs méthodes pour la production de nano fibres : soufflage, filage centrifuge, auto-assemblage, séparation de phase, filage humide et électro filage. L'électrofilage est reconnu comme une technique efficace pour la fabrication de nano fibres c'est un procédé facilement maîtrisable, simple et peu coûteux. De nombreux travaux ont été menés grâce à cette technique pour imiter des matériaux à partir de composés de polymères naturels [TONIN et al, 2010].

Le procédé d'électrofilage est réalisé entre la pointe de l'aiguille qui délivre la solution de polymère et qui est reliée à la sortie positive d'un générateur à haute tension et une plaque métallique mise à la terre (collecteur) sur laquelle les nano fibres se déposent sous forme de structure en non tissées.

Les principes des techniques de caractérisation physiques, mécaniques, thermiques et acoustiques pour mesurer les propriétés des fibres, des non-tissés et des nano fibres sont également abordés dans ce chapitre.

Enfin, les méthodes statistiques utilisées pour analyser les résultats numériques de la phase expérimentale sont développées pour achever le chapitre.

Neste capítulo são introduzidos, de acordo com um estudo na literatura recente, os assuntos discutidos nesta tese. Portanto, são abordados os temas gerais de Dados econômicos de produção e descarte de penas (1); Apresentação detalhada da estrutura das penas (2); Introdução às fibras têxteis de origem animal (3); Fibras ecológicas (4); Caracterização das fibras têxteis (5); Introdução aos não tecidos (6) e Nanofibras (7).

1.1 Produção de Aves e Descarte de Penas

“Segundo estimativas da FAO datadas de setembro de 2013, a produção mundial de carne de aves aumentou em 2,4% em 2012”¹. Os maiores produtores de carne de aves no mundo são Estados Unidos, China, Brasil, União Européia, Índia e Rússia [ITAVI, 2013] (Gráfico 1).

Gráfico 1. Evolução dos principais países produtores de aves entre 1994 e 2012 [FAO, 2014 apud ITAVI, 2015]. Legenda: Autres = outros; Thaïlande = Tailândia; EU = União Européia; Brésil = Brasil; Chine = China e USA = EUA

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango e peru, primeiro maior exportador mundial de carne de frango e segundo maior exportador de carne de peru [UBABEF,

¹ « Selon les estimations de la FAO datées de septembre 2013, la production mondiale de viande de volaille a progressé de 2,4 % en 2012 » (ITAVI, 2013).

2015] e a França é o primeiro país produtor de aves da União Europeia, e primeiro maior produtor de peru seguida da Alemanha [ITAVI, 2015].

A figura 1 apresenta de uma forma didática a produção mundial de cada ave em 2012.

Figura 1. Produção mundial de Frango, Peru e Pato em 2012 [ITAVI, 2013].

Devido a grande produção avícola, as penas se tornaram um problema de descarte. Desta forma, esse material é considerado um "lixo" em vários países, pois a 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.

Os setores de produção brasileiro e francês foram analisados.

1.1.1 Setor Brasileiro

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 12,2 milhões de toneladas de carne de frango sendo 1,100 milhões de penas descartadas em 2010. Em 2013 a produção aumentou para 12,3 milhões e hoje o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frangos, sendo, portanto, o descarte de penas em 9% do valor de produção, ou seja, aproximadamente 1,107 milhões de toneladas descartadas em 2013. Además, a produção de carne de peru em 2010 era de 337 mil toneladas e em 2013 passou a serem 363,5 mil toneladas, sendo aproximadamente 32,7 mil toneladas de penas descartadas em 2013. Em 2004 o Brasil exportou 134 mil toneladas de carne de peru e esse número cresceu para 161 mil toneladas em 2013. A produção de pato em 2013 foi de 12,93% da produção de todas as aves e a exportação de demais aves como ganso, pato, marreco, faisão, codorna e avestruz em 2013 foram de 2.519,230 Kg [UBABEF, 2014].

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 apud SEAWRIGHT et al, 2013].

Apesar de o Brasil ser considerado um país com baixo risco de apresentar BSE, banuiu-se quase 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 de corte, o descarte de penas se torna quase inaproveitável, salvo alguns produtores que se arriscam e ainda continuam produzindo farinha como alimentação para os animais de corte, o que segundo o ABRA (2011) o valor é de aproximadamente 33%, ou seja, 0,387 milhões de toneladas de penas ainda são direcionadas para a produção de farinha. Outros mercados de destinação das penas são as rações de animais domésticos (Pet Food) e eventualmente fabricação de adubos (compostagem).

Diante dos fatos expostos, um estudo de reaproveitamento de 788 milhões de toneladas de penas descartadas, se torna indiscutivelmente viável. Além do mais, no mundo, a cada ano, são produzidas mais de 4 bilhões de toneladas de penas de frango [WINANDY, 2003].

Ao que tange os aspectos econômicos o valor comercial das penas no Brasil é de R\$ 0,10/Kg e da farinha de pena é de R\$ 0,70 a 0,92/ Kg [ABRA, 2011].

1.1.2 Setor Francês

A produção de aves na UE passou os 12 milhões de toneladas em 2012. Segundo, ITAVI (2013) em 2012 a França exportou 474,2 toneladas de frango (+ 8% em 2013), 103,3 toneladas de peru (- 6,9% em 2013) e 51,4 toneladas de pato (+ 7,13% em 2013). Em 2012, a consumo de aves por habitantes foi de 25,5 kg/ano sendo 15,6 kg de frango, 5,3 Kg de peru e 3,1 Kg de pato [ITAVI, 2013].

A França produziu em 2012 aproximadamente 75.000,000 de aves como, por exemplo, pato *Gras* do tipo *Mulard* e pato *Maigre* do tipo *Barbarie* e gansos. A distribuição ao longo de vários anos é de $\pm 47\%$ de Pato *Mulard*, $\pm 47\%$ de Pato *Barbarie* (ambos são equilibrados em partes iguais dependendo do ano), mas provavelmente se produz mais Pato *Mulard* e o restante da

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 consequentemente 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].

produção é destinada à carne de ganso, sendo que a produção de ganso na França vem decrescendo cada vez mais. Esse tipo de aves é abatido principalmente para a consumação da carne [CATUSSE, 2013 - Anexo I. 1].

Penas e penugens constituem um subproduto. Esse material deve ser tratado por estabelecimentos que estejam em conformidade com a norma EN 1069/2009. O objetivo é o tratamento e o enobrecimento de penas e penugens, a fim de fazer um produto para o setor de roupa de cama e têxteis em geral. As penas e penugens quando lavadas são em seguida tratadas e classificadas de acordo com seus vários usos finais [CATUSSE, 2013].

Pode-se considerar que a produção em 2012 de penas e penugens brutas foi de ± 9.000 toneladas e a seleção desse material em penugem lavada e preparada foi de ± 1.250 toneladas - produto pronto para ser manufacturado [CATUSSE, 2013].

Todas as penas e penugens são provenientes de matadouros industriais, cujo principal objetivo é a produção de carne. As penas são apenas um subproduto e são retiradas de aves as quais não estão mais vivas [CATUSSE, 2013].

A França respeita normas estritas que são relacionadas com aspectos de bem-estar das aves. Unidades de processamento, normas sanitárias e veterinárias decorrentes das directivas da União Européia [CATUSSE, 2013].

Ao que tange os aspectos econômicos, segundo Ernest & Young o valor comercial das penas de tamanho grande na França são de 0,45 €/ Kg, das penugens de 5 a 10 €/Kg e das demais penas de 1,50 a 2,00 €/ Kg [NOGUER et al, 2002].

A tabela 1 apresenta a evolução de produção de aves na França.

Tabela 1. Evolução da produção de aves entre 2009 e 2012 na França [PRODUCTION DES IAA, 2011] [ITAVI, 2013].

Animal Abatidos	2009 (ton)	2010 (ton)	2011 (ton)	2012 (ton)
Frango	1.008,0	1.045,9	1.096,3	1.087,9
Peru	423,7	409,2	405,0	414,7
Pato	235,9	239,8	242,7	235,8
Ganso	2.368,0	1.736,0	1.458,0	-
Todos	1.708,6	1.744,7	1.767,4	-

Majoritariamente as penas são transformadas em farinhas e dessa farinha 10% são incineradas, 5% são incorporadas na fabricação de adubos, 5% são transformadas em alimentos para animais domésticos e 80% são estocadas [FEDEREC, 2013].

As aplicações das penas e penugens na França que não são transformadas em farinha se distribuem da seguinte forma: produtos para cama (50%), móveis (35%), vestimentas de inverno e equipamentos para alpinismo e expedições polares (10% a 15%), isolamento civil [FEDEREC, 2013].

Detalhes sobre cada animal estudado neste trabalho serão discutidos no próximo tópico.

1.2 Aves e suas Características: Frango, Peru, Pato e Ganso.

As características gerais das aves, segundo Rodriguez et al (2012) são: cordados, vertebrados, bípedes, craniados, possuem penas e são ovíparas (desenvolvimento do embrião dentro do ovo). As aves são homeotérmicas, ou seja, capacidade de manter a temperatura do corpo constante e são vertebradas. A reprodução é sexuada com fecundação interna.

“O principal avanço das aves em relação aos répteis reside em sua capacidade de controlar a temperatura do corpo, mantendo-a constante, independente de variações ambientais: são vertebrados homeotérmicos” [RODRIGUEZ et al, 2012].

A figura 2 permite a visualização das diferentes tipos de aves estudadas nessa tese.

Figura 2. Frango (a) [FIGUEIREDO, 2003]; Peru (b) [LA DINDE, 2011]; Pato (c) [DUCK, 2013]; Ganso (d) [GATESHEAD COUNCIL, 2014].

O frango (Figura 2 - a) pertence ao reino Animália, filo Cordata, ordem Galiformes, família *Phasianidae*, gênero *Gallus*, espécie *G. gallus* e subespécie *Gallus gallus domesticus*. Inúmeras raças são classificadas em classes como a Americana, Asiática, a Inglesa, a Mediterrânea, a Continental e outras raças padrão [GOIX, 2014].

O peru (Figura 2 - b) pertence ao reino Alimália, filo Cordata, ordem Galliformes, família *Phasianidae*, subfamília *Meleagridinae* e possui duas espécies; *M. Gallopavo* e *M. ocellata*. Sua massa varia entre 3 a 11 kg e sua expectativa de vida pode chegar até 10 anos. Sua alimentação é baseada em insetos [NEW WORLD ENCYCLOPEDIA, 2014].

Pertencente ao reino Animália, o pato (Figura 2 - c) é classificado no filo Cordata, ordem Anseriformes, família *Anatidae* e subfamília *Dendrocygninae*, *Anatinae*, *Merginae* e *Oxyurinae*. Presentes em ambientes úmidos, essas aves são encontradas em todos os continentes com exceção da Antártida. De tamanho médio, os patos, bem como os outros *Anatidae*s, são adaptados à vida aquática e são divididos em dois grupos importantes; patos de superfície e patos mergulhadores [GOIX, 2014].

O ganso (Figura 2 - d), assim como os demais, pertence ao reino Animália, filo Cordata, ordem Anseriformes, família *Anatidae* e possui o *Anser* e o *Branta* como gêneros. Essa ave pode ser selvagem ou doméstica, tendo assim inúmeras raças e diversidades. Sua massa pode chegar a até 4,5 Kg. Segundo GOIX (2014) o ganso de Poitou e de Touraine são as raças que fornecem a melhor qualidade de plumagem.

Os tipos de penas existentes e suas características físicas serão discutidos no próximo tópico.

1.3 Tipos de Penas

As penas são os atributos mais marcantes das aves, compondo, desta forma, 2 a 3 vezes a massa óssea do animal, além do mais, cada ave deve possuir aproximadamente 25 mil penas ao longo de seu corpo.

As penas crescem por meio da proliferação de queratinócitos que são células produtoras de queratina da epiderme. Queratina são filamentos de proteínas os quais formam a estrutura sólida ou a pena propriamente dita.

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 3 apresenta os tipos de penas e como se classificam de acordo com suas definições:

Figura 3. Penas de Contorno (a); Penugem ou Penas de Baixo (b); Semiplumas (c); Filoplumas (d) [FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011].

As penas são fundamentais para vários aspectos da vida da ave como, por exemplo, a comunicação, a camuflagem, a isolamento e o aerodinamismo nos vôos.

As penas de contorno dão à ave sua forma arredondada com características suaves, sua coloração visual e, além do mais, 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 as penas de voo têm 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. Normalmente as penas de baixo não possuem ráquis ou são tão curtas como a barbs. 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]. A semipluma 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 semipluma é proporcionar forma e volume para a ave. Para identificar uma semipluma, deve-se constatar que a ráquis é maior que a fibra [FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011].

Filoplumas são penas muito pequenas e possuem apenas algumas penugens em sua ponta. Elas crescem em torno das penas de contorno. Acredita-se que a filopluma 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. Cada pena de voo deve ter entre 8 a 12 filoplumas ligadas na base da asa [FERNBANK SCIENCE CENTER].

Para voar as penas têm que ter uma forma aerodinâmica e uma baixa massa total. Cerca de 50% da 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, representando, deste modo, a disponibilidade de 8% das fibras de aves consumidas anualmente no mundo. Uma vez que as fibras proteicas naturais - lã e seda - são fibras relativamente caras. Utilizando, fibras de baixo custo, como as fibras de aves, o uso 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 [SEAWRIGHT et al, 2013].

Para uma completa análise das penas, o próximo tópico mostra as diferenças das penas de cada animal estudado nesta tese.

1.3.1 Diferenças entre as Penas de Frango, Peru, Pato e Ganso.

A figura 4 apresenta as principais diferenças das penas de cada animal estudado.

Figura 4. Pena de Frango (a) (Norma NF EM 1885/98 – Plumes et Duvets: Termes et Définitions, 1998); Pena de Peru (b) [GRETCHEN KAI HALPERT - SCIENCE-ART.COM, 2003]; Pena de Pato (c) e Pena de Ganso (d) (Norma NF EM 1885/98 – Plumes et Duvets : Termes et Définitions, 1998).

A pena de peru, excepcionalmente das demais, possui um formato diferenciado, já que sua extremidade é, geralmente, quadrada (Figura 4 - b). As outras possuem uma forma arredondada muito similar uma da outra. Por outro lado, o formato das penas pode variar entre raças da mesma espécie de ave. A estrutura física das penas será discutida no próximo tópico.

1.3.2 Estrutura da Pena

Segue detalhadamente a estrutura da pena na figura 5 e a estrutura da ráquis na figura 6:

Figura 5. Estrutura da pena (a) e (b) [BACK YARD CHICKENS, 2012] [FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011 apud SEAWRIGHT et al, 2013] adaptado pela autora. Estrutura da pena (c) (Norma NF EM 1885/98 – Plumes et Duvets : Termes et Définitions), 1998.

Figura 6. Vista esquemática de três principais componentes estruturais da ráquis das penas [THEAGARTEN LINGHAM-SOLIAR et al., 2009].

Percebe-se em (a) (i) nas camadas superficiais da fibra, a melhor classe de grandeza na hierarquia dos filamentos de queratina de penas (cerca de 6 μm de diâmetro) entornando a circunferência ao redor da ráquis (ii) a maioria das fibras se estende paralelamente ao eixo radial e através da profundidade do córtex. Parte da secção é puxada para trás de modo que as fibras e as fibrilas sejam reconhecidas em cortes histológicos. As fibrilas não serão visíveis se um corte longitudinal que não seja na superfície da fibra for feito (iii) Metalóide com estruturas poliédricas cheios de gás na medula (com base em imagens do MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura). Na secção, parte de um malha com nós é usado em tecnologia de engenharia para reforçar as estruturas de arranha-céus, análogo às fibras raquidais (b) secção transversal esquemática das fibras e "matriz" biodegradada: (i) fibras; (ii) citosol de queratinócitos; (iii) membrana plasmática dos queratinócitos originais com proteínas do envelope córneo associados (c) uma secção esquemática tridimensional transversal da ráquis mostrando a espessura aproximada (MEV) das três camadas de queratina compreendendo: (i) circunferencial, (ii) as fibras longitudinais do córtex e (iii) poliedros de metalóide na medula. 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 [XIULING, 2008].

As penas têm uma forma básica composta por um eixo central oco, chamado ráquis, raque ou 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 pena é, majoritariamente, constituída por fibras. A base da pena é chamada de cálamo e juntamente com a ráquis é chamado de pena propriamente dita [XIULING, 2008]. A massa das penas consiste em 50% vexil e 50% raquis [REDDY et al, 2007].

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 ráquis. A ráquis é sólida e é definida como uma área a qual as fibras estão ligadas a ela [FERNBANK SCIENCE CENTER, 2011].

As fibras 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 (fibras), forma-se uma série de raminhos curtos chamados anteriores bárbule. Ganhchos pequenos servem para amarrar as barbas juntas. Este arranjo, complexo, cria uma estrutura forte, porém leve; a pena [CORNELL UNIVERSITY, 2010].

A Figura 7 ilustra a estrutura da anterior bárbule da fibra de cada animal.

Figura 7. Bárbule de penugem com nós (a) Eixo externo da Anterior Bárbule (b) Anterior Bárbule da parte superior com ganchos (c) Anterior bárbule da parte inferior com espinhos e dentes de arpão (d) Nó da Anterior Bárbule da pena de Frango [Norma NF EM 1885/98 – Plumes et Duvets: Termes et Définitions, 1998] (e) Nó do Anterior Bárbule da pena de Peru (f) (Desenvolvido pela autora) Nó do Anterior Bárbule da pena de Pato (g) Nó da Anterior Bárbule da pena de Ganso (f) [Norma NF EM 1885/98 – Plumes et Duvets : Termes et Définitions, 1998].

A massa volúmica da fibra de frango é de aproximadamente $0,8 \text{ g/cm}^3$ comparada com $1,5 \text{ g/cm}^3$ referente às fibras celulósicas e $1,3 \text{ g/cm}^3$ referente às fibras de lã [JONES, 1998]. Nenhuma das fibras naturais ou sintéticas possui uma massa volúmica tão baixa quanto à de pena de frango. O diâmetro da fibra é de aproximadamente 5 a $50 \mu\text{m}$ e o comprimento, pode variar de 3 a 13 mm [YANG, 2007]. 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.

No setor de transportes, o uso das fibras e dos não tecidos de penas e penugens contribui grandemente durante o desempenho do veículo, ao que tange o consumo e a emissão de energia, já que, as fibras de penas são as que possuem a menor massa volúmica já encontrada na literatura. A substituição de fibras de vidro ($2,50 \text{ g/cm}^3$) por fibras de cânhamo ($1,25 \text{ g/cm}^3$) reduzem no total de 32Kg de um veículo. Por essa razão, se a fibra de pena ($0,80 \text{ g/cm}^3$) é empregada, o total de redução seria de 43,5Kg em relação à fibra de vidro [BALTAZAR-Y-JIMENEZ, 2012 apud SCHLOESSER, 2004] [AMBRÓSIO et al., 2008] [SUARDANA et al., 2010] e [JONES, 1998].

Segundo Baltazar-y-Jimenez apud Schloesser (2004) a energia utilizada para fabricar um não tecido de fibras naturais é apenas 9,7 MJ/Kg, ou seja, um sexto do que se necessita para produzir um não tecidos de fibra de vidro (54,8 MJ/Kg).

Após a análise estrutural das penas a composição química será abordada no tópico seguinte.

1.3.3 Composição da Pena

Em relação à análise das penas, em geral, a sua composição química corresponde à do fio de cabelo, embora as penas tenham muito menos oxigênio e muito mais ácido silícico. A queratina é a principal substância constituinte das penas, pois representa cerca de 90% da massa das penas. Assim, as penas de aves contêm cerca de 90% de proteínas (mais de 750g de queratina pura extraída de 1kg de queratina bruta), além de ser uma fonte barata e renovável [BARONE, 2005] [RAMANAN, 2010].

A queratina é a chave de muitas estruturas como, por exemplo, a pele, as unhas, os cabelos e é encontrada em répteis, pássaros, anfíbios e mamíferos. Basicamente existem dois tipos de queratinas; α - Queratina encontrada em cabelos, lãs, unhas, garras, cascos e chifres de mamíferos; e a β -Queratina encontrada em unhas, penas, garras de répteis e cascos. Esse tipo

de queratina é formado primariamente em lâminas [RAMANAN, 2010]. As penas possuem alta porcentagem de α -hélice enquanto que a ráquis possui majoritariamente β -folha [AMAN et al, 2011] (Figura 8).

Figura 8. α -hélice da α - Queratina (a) e β -folha da β -Queratina (b).

Segundo o site Ornithology (2010) as penas são constituídas de cerca de 91% de proteínas (β -Queratina), 1,3% gordura e 7,7% água. Uma pena de tamanho médio e jovem consiste das seguintes substâncias químicas: 42,65% de água; 53,63% de compostos de nitrogênio; 1,69% de gorduras e 2,03% de cinzas.

O nitrogênio é o mais abundante elemento, que compreende cerca de 15% da pena. Outros elementos encontrados nas penas são; 2,57% de enxofre, 0,53% de cloro, 0,34% de fósforo, sob a forma de pentóxido, 0,22% de silício, sob a forma de ácido silícico, 0,10% de cálcio e o óxido. Amino ácido sulfúrico cristalino chamado cistina pode ser extraído das penas. No entanto, um tipo de pena pode ser diferente do outro, na sua composição química. Por exemplo, o teor de gordura das penas de pato e de ganso é maior do que a das penas de frango e peru. Além do mais, as penas são higroscópicas, de modo que seu conteúdo de água depende da umidade atmosférica de seus arredores [GANS, 2008].

Para extrair a queratina das penas existem alguns métodos. O tópico seguinte apresentará os detalhes da extração.

1.3.3.1 Extração da Queratina

Muitos métodos de extração da queratina foram desenvolvidos desde o século passado. Observa-se que a β -Queratina - tipo de queratina encontrada nas penas - é insolúvel em água quente ou outros reagentes orgânicos por isso necessita-se de um reagente redutor e oxidativo para extrair a queratina. Os reagentes irão quebrar as pontes de dissulfeto, hidrogênio e ligações de sal da queratina para que se dissolva em solução de proteínas [ANEJA et al, 2010].

Um dos métodos de extração da queratina por sulfitólise necessita de fibras cortadas e uma solução aquosa contendo ureia (8M), m-bissulfeto (0,5M), e sulfato dodecil de sódio (SDS, 0,05M). O pH deve ser de 6,5 usando 5M de hidróxido de sódio (NaOH). A solução é aquecida em 65 °C e agitada por 5h. Filtrada e dialisada com água destilada durante 3 dias [ALUIGI et al, 2006] [SHUAI et al, 2014].

Outro método de extração por líquido iônico hidrofóbico utilizou penas, 40g de líquido iônico, 1g de bicarbonato de sódio (NaHSO_3) e água. A mistura foi agitada em 80 °C por 4h. Depois do processo finalizado foi adicionado na mistura, água e sistemas trifásicos contendo líquidos iônicos, partes de penas solubilizados e solução de queratina foram formados após centrifugação. A solução foi filtrada e dialisada por 48h [YUN-XIAN, 2012].

Nota-se que todos os métodos pesquisados na literatura apresentam vários componentes químicos. Esses componentes dificultam a purificação da solução em queratina pura e além do mais não são sustentáveis.

O método que inspirou a extração da queratina de penas foi o trabalho de tese de Hamouche (2012) pois é um método simples, barato, ecológico e sem inúmeros componentes químicos. Basicamente, usou-se NaOH em pastilhas com massa molecular de 40g/mol dissolvendo-as em uma solução aquosa para obter a concentração de 2%. Assim, ele propôs 2g de NaOH para 100ml de água destilada. Em uma placa, utilizou um agitador magnético por 5 minutos, a fim de se obter uma dissolução completa. Desta maneira, Hamouche testou várias concentrações de NaOH.

O tópico seguinte, mostra definições e detalhes sobre uma das partes mais importantes das penas.

1.4 Fibra Têxtil

A definição de fibra pode variar. De acordo com Denton e Daniels (2002) apud Eichhorn et al (2009) o Instituto Têxtil define fibra têxtil como: matéria-prima têxtil, geralmente caracterizado pela flexibilidade e alta relação entre comprimento e espessura. Segundo a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) fibra têxtil é um termo genérico utilizado para qualquer um dos vários tipos de materiais que formam os elementos básicos de um têxtil, e que é caracterizado por ter um comprimento de pelo menos 100 vezes o seu diâmetro.

A classificação das fibras 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 lyocell® 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, poliacrilnitrilo, poliuretano) [HAMLYN, 2010].

Segundo o *Institut Français Textile-Habillement* (1994), as fibras naturais são inúmeras, porém as suscetíveis ao emprego industrial são limitadas, por causa das qualidades exigidas. Para a fibra possuir a capacidade industrial ela deve possuir algumas características, como por exemplo; divisibilidade, homogeneidade, resistência, flexibilidade, devem possuir alongamento superior a 15 mm e capacidade de tingimento. Além do mais a fibra deve ser abundante na natureza para existir propósito comercial.

1.4.1 Fibra Têxtil Natural de Origem Animal

As fibras de origem animal mais conhecidas e utilizadas no mercado são a lã e a seda, caracterizadas pela presença de queratina; estrutura proteica fibrosa. Embora a estrutura química das fibras animais seja parecida, as características físicas são diferentes, principalmente, pelo formato da secção transversal, cor, contorno da superfície, estrutura química, assim como, o comprimento e o diâmetro [ZIABICKI, 1976 apud NAYAK et al, 2012].

De acordo com a estrutura química a lã é a fibra mais complexa e fisicamente ela apresenta boas características como: o baixo diâmetro, a tenacidade, a elasticidade, não é inflamável, possui propriedade antialérgica, de isolamento, proteção ultravioleta (UV), baixa energia estática, controle de respiração e transpiração [KUFFNER et al, 2012]. Uma característica única à fibra de lã é a capacidade de absorver e liberar a umidade, proporcionando um produto que pode se adaptar em diferentes situações climáticas, por isso as utilizações para a lã surgem principalmente pela sua capacidade de isolamento [INSTITUT FRANÇAIS TEXTILE - HABILLEMENT, 1994].

Além do mais, a fibra contém alta proporção de água e nitrogênio, o que a torna, naturalmente, um retardante de chamas, excluindo, desta maneira, dependendo do objetivo do produto, a necessidade de tratamentos químicos retardantes de chama. Favorecendo a purificação da atmosfera, a fibra de lã também pode absorver carbonos insalubres (BABU, 2012).

Graças à capacidade de filtragem dessas fibras, destinam-se para a fabricação, diversos tipos de filtros e também para outros domínios como; móveis, revestimentos de poltronas, sofás, e em colchões [INSTITUT FRANÇAIS TEXTILE - HABILLEMENT, 1994]. Em resumo, a lã é um dos materiais mais sustentáveis que existe, pois além de ser natural, também é renovável, biodegradável, possui baixo impacto de carbono e contém energia eficiente. Algumas características recorrentes da fibra de lã são; antichamas, antialérgicas, anti-insolação, protetor UV, possui baixa eletricidade estática, boa absorção sonora boa respirabilidade, redutor de odor, durabilidade, boa resistência e boa capacidade de tingimento [KUFFNER, 2012].

Quanto à morfologia química da fibra de lã, segundo Kuffner (2012) compõe-se de 50% de carbono, 7% de hidrogênio, 22% de oxigênio, 16% de nitrogênio e 5% de enxofre. Outras fibras de lã como alpaca, camelo, *cachemire*, coelho, mohair, lhama, vicunha, dentre outras também são utilizadas na indústria têxtil [SALÉM, 2010].

Para um melhor conhecimento da fibra de lã, de acordo com a norma ASTM D 276/49 as vistas longitudinais e transversais da fibra seguem na Figura 9.

Figura 9. Microscopia da fibra de lã (a) Estrutura da superfície 500x (b) Vista longitudinal 500x (c) Secção transversal da fibra de lã Merino e (d) Vista longitudinal 500x. (Norma ASTM D 276/ 12 - Identification of Fibers in Textiles), 2012.

Com intuito de comparação, algumas características físico-mecânicas das fibras de lã e da seda são apresentadas na tabela 2 e na figura 10.

Tabela 2. Propriedades físico-mecânicas das fibras de lã e seda [PERRY et al, 1975] [HOUCK, 2009] [NAYAK et al, 2012] [BEZERRA, et al, 2003] e [MACEDO, 2012].

Fibra	Massa Volúmica (g/cm ³)	Regain (%)	Diâmetro (μm)	Comprimento (mm)	Tenacidade (g/den)	Alongamento de Ruptura (%)
Lã	1,31	18,25	18 - 55	25 - 30	1,0	30
Seda	1,32 - 1,60	11,00	8 - 15	Muito longo	2,4 - 5,1	10 - 25

Figura 10. Gráfico de carga e extensão de fibras de lã (1) com boa uniformidade e (2) menos uniforme [COLLINS et al, 1960].

1.5 Pena: Fibras Alternativas

Fontes fibrosas geralmente não associadas à indústria têxtil ou de materiais, como a indústria da avicultura, têm sido examinadas para o desenvolvimento de novas fibras, as quais oferecem propriedades únicas e desejadas [GEORGE, 2006].

Aproximadamente 2,27 bilhões de quilos de penas de aves são produzidas anualmente pela indústria de avicultura [SCHMIDT, 2004 apud GEORGE, 2006]. Geralmente as penas são destinadas à fabricação de ração para os próprios animais.

1.5.1 Fibras de Pena

A literatura, em geral, é muito escassa sobre as fibras de pena e suas aplicações, porém a literatura existente fornece alguns dados recentes. Segundo Yang (2007) a estrutura e as propriedades das fibras da pena de aves tornam as fibras exclusivas para diversas aplicações, pois a presença de estruturas ocas parecidas com o favo de mel, baixa massa volúmica, alta flexibilidade, compressibilidade, excelente capacidade de resiliência, isolamento do som, retenção de calor e a interação estrutural possível com outras fibras são capazes de fornecer propriedades únicas e diferentes de quaisquer outras fibras naturais ou sintéticas.

De acordo com Liu (2008), fibras de penas podem dar origem a não tecidos, já que, possuem capacidades mecânicas suficientes por meio dos processos Airlaid (processo de fabricação de não tecido aerodinâmico por via seca), agulhagem e térmico. O não tecido de penas é, portanto, utilizado na filtração de águas residuais para remover cálcio, magnésio, cobre e íons metálicos de zinco.

1.5.2 Fibra de Pena de Frango

A fibra de frango, por se tratar de alto volume de descarte da indústria avícola, é a fibra mais estudada entre as fibras de aves.

Propriedades de tensão das fibras de frango em termos de força e Módulo de Young (módulo de elasticidade) mostram que a tensão entre a fibra de pena e a fibra de lã são semelhantes, porém o alongamento da pena é inferior [YANG, 2007].

Para Barone e Jones (2005; 1998), a massa volúmica 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. Desta forma, nenhuma das fibras naturais ou sintéticas disponíveis comercialmente hoje tem uma massa volúmica tão baixa quanto às de penas de frango.

Outra característica da fibra de pena é a composição de aproximadamente 90% de proteína além de ser uma fonte barata e renovável. As fibras constituem cerca de 50% do peso das penas e os outros 50% é composto pela ráquis [BARONE, 2005].

Algumas pesquisas sobre penas focam as propriedades de absorção e a adequação em produtos como fraudas, absorventes, lenços umedecidos ou em outros produtos nos quais essa propriedade é desejada [SCHMIDT, 2001]. Removem, além do mais, metais pesados como ouro, platina, cobre, chumbo através do processo de bio-soro. Alguns estudos têm sido desenvolvidos com penas como reforço em compósitos e modelagem de transferência de resina [GEORGE et al, 2006].

Tais propriedades estudadas 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, conseqüentemente, as fibras, são baratas, disponíveis em abundância e uma fonte renovável em fibras proteicas [YANG, 2007]. No entanto, fibras de penas comercialmente disponíveis são fibras com comprimento cerca de 1,3 centímetros.

Os valores de testes físicos com a fibra de pena de frango seguem na tabela 3.

Tabela 3. Propriedades mecânicas das fibras de pena de frango [JONES et al, 1998]
[EVAZYNAJAD et al, 2002 apud YANG, 2007].

Fibra	Comprimento (cm)	Média (tex)	Média Tenacidade (g/f)	Média Alongamento Ruptura (%)	Média Módulo (g/f)	Regain (%)
Pena de frango	1,3 – 4,5	8,44	1,44 ± 0,46	7,7 ± 0,85	35,6 ±11,15	9,7

Desta forma, essas fibras podem não possuir comprimento necessário para serem processadas em máquinas têxteis, portanto, não é adequado para a fabricação, por exemplo, de fios constituídos com 100% de fibras de penas. Para conseguir produzir um fio de fibra de pena é necessário realizar uma mistura com outras fibras naturais ou químicas [YANG, 2007]. Embora as penas *in natura* não possam ter o mesmo processo produtivo que as fibras de lã e seda devido a sua estrutura complexa, as estruturas secundárias das penas, ou seja, as fibras possuem estruturas e propriedades que as tornam adequadas para utilização como fibras de proteínas naturais [YANG, 2007]. Segundo Evazynajad (2002) as atuais aplicações da pena de frango são principalmente em compósitos e não tecidos.

1.5.3 Fibra de Pena de Peru

Segundo George (2006), fios de fibra de peru foram feitos misturando-os com poliamida nas proporções; 70% poliamida e 30% peru, 80% poliamida e 20% peru e 90% poliamida e 10% peru. As fibras, em geral, são bastantes rígidas devido ao seu largo diâmetro e, portanto, tornam-se difíceis de serem processadas pelo sistema convencional de fiação. Existem, entretanto, dois processos diferentes que são usados para converter a fibra de pena em tecido, dependendo se será produzido o fio e depois o tecido entrelaçado ou convertido diretamente em não-tecido. Além do mais, por causa do largo diâmetro o valor da tenacidade é muito baixo. Os valores dos testes físicos com a fibra de pena de peru (barba e penugem) e com o fio de poliamida e pena de peru seguem nas tabelas 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4. Densidade linear e propriedades mecânicas das fibras de pena de peru [GEORGE, 2006].

Fibra de pena de peru	Comprimento (cm)	Média título (tex)	Média Tenacidade (g/f)	Média Alongamento Ruptura (%)	Média Módulo (g/f)
Penugem	4,1	5,8	0,36	16,43	4,47
Barba	5,2	15,7	0,83	7,96	15,55

Tabela 5. Densidade linear e propriedades mecânicas de fios produzidos com fibras de pena de peru [GEORGE, 2006].

Fio	Densidade linear (g/tex)	Média Tenacidade (g/f)	Média Alongamento Ruptura (%)	Média Módulo (g/f)
100% poliamida	74,2	1,82	36,6	26,9
90% poliamida 10% fibra de peru	55,5	1,79	33,6	40,0
80% poliamida 20% fibra de peru	70,8	1,42	32,3	37,7
70% poliamida 30% fibra de peru	62,0	1,69	33,0	42,4

Segundo George (2006) a aplicação da fibra de pena de peru foi bem sucedida em não-tecidos, porém em relação às características finais de flexibilidade, foi comparada com a fibra de juta e a fibra de côco. Comparando-a com o fio 100% poliamida, a fibra da pena de peru misturada com poliamida possui as propriedades mecânicas reduzidas, por causa da rigidez que o material

apresenta quando misturado. No entanto esse material oferece um custo baixo e um desempenho similar se comparado com outros materiais têxteis já empregados comercialmente.

1.5.4 Fibra de Pena de Pato

Segundo Yuyang et al (2008) a fibra de pato apresenta superfície microscópica rugosa com micro estruturas ramificadas e textura de multi-escalas dimensionadas, o que determina as propriedades repelentes à água de acordo com a lei de Cassie.

De acordo com a equação de Cassie a fração de ar entre a fibra de pena e a superfície da água corresponde à aproximadamente 85% a 96,86% [GAO et al. apud YUYANG et al, 2008]. Desta forma, o ar é preso na estrutura de protuberância nanométrica e forma uma “almofada” de ar na interface água-pena apresentando uma superfície de baixa energia a qual impede a pena de ser humedecida [BORMASHENKO et al, 2007].

Além do mais, a fibra de pato é bastante utilizada comercialmente como isolante natural. Esse isolante possui propriedades térmicas e acústicas remarcáveis, no entanto, na maioria das vezes, os isolantes são ligados com fibras de poliéster, o que faz diminuir as propriedades sustentáveis do produto [MERCIER et al, 2011].

Ademais, a fibra de pato, bem como a de ganso, são os melhores materiais para enchimento de produtos de cama e de roupas de inverno, embora a penugem de pato tende a ter mais problemas de odor do que a pena de ganso. Assim, nenhum sintético pode ser equiparado à qualidade do desempenho dessas fibras por massa [ANEJA et al, 2012].

1.5.5 Fibra de Pena de Ganso

O volume é o parâmetro mais comum para distinguir diferentes classes de penugens de ganso para produtos têxteis. Segundo Aneja et al. (2012), o volume possui alta influência no valor do produto.

De acordo com uma análise macroscópica, a penugem de ganso possui forma arredondada, possui um nódulo central acoplado a muitas fibras. Esses grupos esféricos possuem fibras com diâmetro de aproximadamente 5mm a 70mm e uma média de comprimento de 20mm. O espaçamento entre as estruturas primárias (fibra) e a estrutura secundária (anterior bárbule) é de 0,06mm e o comprimento médio da estrutura secundária é de 0,65mm. Além do mais, a estrutura secundária apresenta grande capacidade de se recuperar completamente de deformações permanentes e por isso pode armazenar uma grande quantidade de energia elástica

durante a deformação, fato o qual, contribui para a propriedade de resiliência da fibra [ANEJA et al, 2012].

Com Aneja et al. (2012), calculou-se a média de algumas propriedades físicas e mecânicas de cada fibra na tabela 6.

Tabela 6. Volume e propriedades físicas e mecânicas das fibras de pena de ganso [ANEJA, 2012].

Fibra	Média do Volume “fill power”	Média do título (tex)	Média Módulo (g/f)	Tenacidade (g/f)	Alongamento (%)
Pena de Ganso	662	0,54	17	0,84	8,4

Segundo o *International Down and Feather Laboratory and Institute* (2010) a fibra de ganso costuma a ser um produto com melhores propriedades se comparada com a fibra de pena de pato pelo fato de possuir, por exemplo, um volume maior. Ademais, as penugens de ganso são geralmente de aves mais velhas e maiores, por causa disso a penugem de ganso tende a ser mais resistente e mais duradoura do que a penugem de pato. Além da pena de ganso apresentar uma imagem de marketing muito mais valiosa em comparação com a pena de pato.

1.5.6 Resumo das Propriedades das Penas

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado sobre as propriedades físicas e mecânicas das fibras de penas, a tabela 7 apresenta o resumo dessas informações.

Tabela 7. Propriedades mecânicas das fibras de pena de frango, peru e ganso [JONES et al, 1998] [EVAZYNAJAD et al, 2002 apud YANG, 2007] [GEORGE, 2006] [ANEJA, 2012].

Fibra	Tipo	Comprimento (cm)	Título (tex)	Tenacida de (g/f)	Alongame nto (%)	Módulo (g/f)	Rega in (%)	Volume “fill power”
Frango		1,3 – 4,5	8,4	1,44 ± 0,46	7,7 ± 0,85	35,6 ±11,15	9,7	662
Peru	Pena	5,2	15,7	0,83	7,96	15,55	-	-
	Penu gem	4,1	6,1	0,36	16,43	4,47	-	-
Ganso		-	0,5	0,84	8,4	17	-	-

Na indústria têxtil existem alguns métodos de transformação de fibras ou fios em tecidos. Desta forma, o próximo tópico tratará dos métodos de produção de interesse neste trabalho.

1.6 Métodos de Produção Têxtil

Para transformar fibras ou fios em tecidos existem diferentes métodos de produção como a tecelagem, malharia e nãotecido. Neste estudo, interessou-se no método de transformação de fibras em nãotecidos por agulhadeira - pela simplicidade de produção e pela estrutura ser indicada para produtos de isolamento acústica e térmica - e no método de nãotecidos de nanofibras por electrospinning - por ser um novo produto e uma nova área de interesse têxtil a qual pode possibilitar diferentes aplicações.

1.6.1 Nãotecidos por Agulhadeira

Nãotecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico, químico ou térmico [NBR-13370/02] (Figura 11).

Figura 11. Diferentes tipos de estruturas têxteis: malha (a); tecido plano (b) e nãotecido (c) [Forwallpaper, Dreamstime].

Existem alguns tipos de processos para a fabricação de nãotecidos: via seca, via úmida, via pneumática e via fundida. No método de via seca existe a técnica de consolidação da manta por agulhagem. O princípio consiste basicamente em dar coesão à manta fibrosa entrelaçando suas fibras e filamentos. Este entrelaçamento resulta da ação das agulhas e dos colchetes que atravessam a manta em movimentos de vai-e-vem. As fibras se ligam nos colchetes das agulhas e estas obrigam as fibras à atravessar a manta. Uma vez que as fibras atravessaram a manta elas são liberadas pelas agulhas que voltam em sua posição inicial [IFTH, 2002].

As aplicações mais comuns dos nãotecidos são nos domínios de higiene, construção, engenharia civil, transporte, mobiliário, produtos de cama, decoração, solo, limpeza, filtração de gás e líquido, entreteias, uso medical, calçados e couro, confecção, etc [IFTH, 2002].

1.6.2 Nãotecidos por Electrospinning

Nanotecnologia é a engenharia e a manufatura de materiais da mesma escala de tamanho que um átomo ou uma molécula [OMID et al. 2009]. Assim, as nanofibras de polímeros naturais representam uma importante classe de materiais em várias aplicações devido à pequena estrutura (área de superfície muito grande em comparação com o volume).

Na escala nano (nm), o fator de grandeza corresponde a 10^{-9} . Assim, quando se fala de 1 nanômetro, refere-se a um metro dividido por um bilhão (1 nanómetro = 1nm = 10^{-9} metros), ou seja, um bilionésimo do metro (0,000 000 001 m).

Esse tamanho é aproximadamente 100 mil vezes menores do que o diâmetro de um fio de cabelo, 30 mil vezes menor que um fio de uma teia de aranha ou 700 vezes menor que um glóbulo vermelho. É exatamente nessa escala de tamanho que a nanotecnologia é trabalhada e que os objetos nanotecnológicos são concebidos. Nessa mesma escala estão os átomos e as moléculas [ABDI, 2010].

Na área têxtil, existem diferentes classificações de fibras. A classificação quanto à composição e ao modo de fabricação (método tradicional de classificação de uma fibra têxtil) e a classificação pela dimensão estrutural, ou seja, o diâmetro da fibra. Essa segunda classificação é mais recente e ainda passa por pesquisas de otimização e aprimoramento das propriedades mecânicas, químicas e físicas das fibras. O objetivo das pesquisas é de obter têxteis técnicos que acompanhem a evolução da tecnologia nos domínios automobilístico, aeronáutico, naval, mas também esportivo e medical [WEI QUFU, 2012].

Nanofibra é um material relacionado ao seu diâmetro e pode ser considerado um material nanoestruturado [RAMAKRISHNA et al, 2005]. Desta forma, quanto a classificação ao tamanho, as nanofibras possuem de 10 e 1000 nanômetros e as nanopartículas de 1 e 100 nanômetros. A vantagem de um nanomaterial com área superficial muito grande em relação ao volume é que ele permite a flexibilidade em relação às funcionalidades de superfícies. Um exemplo é o aprimoramento de performances mecânicas comparadas a outro material comum e a facilidade de adição de produtos na superfície dos nanomateriais [PATRA, 2012].

A figura 12 apresenta de forma didática uma imagem microscópica feita pelo MEV de um fio de cabelo (50µm) coberto por nanofibras (10-20µm).

Figura 12. Imagem MEV de um fio de cabelo recoberto por nanofibras [WENDORFF, 2012].

A nanotecnologia é um forte domínio em crescimento de uma tecnologia multiuso com aplicações potenciais em muitos setores da economia global. Além do mais é susceptível de ter um impacto profundo na economia e sociedade no século 21.

Pesquisa em ciência e tecnologia na nanotecnologia promete avanços em áreas como materiais e fabricação, filtros, a nanoelectronica, medicina, saúde e administração de fármaco, energia, biotecnologia, roupas de proteção, agricultura, têxteis técnicos, tecnologia da informação e segurança nacional. É amplamente evidente que a nanotecnologia será a próxima revolução industrial [BHUSHAN, 2010] [PATRA, 2012].

Em 2015, o mercado mundial de nanotecnologia tem demonstrado um crescimento impressionante apoiado por alguns fatores importantes, como a obtenção de quantidades significativas de investimentos públicos e privados em P&D, parcerias e alianças estratégicas entre os países [GLOBAL NANOTECHNOLOGY MARKET OUTLOOK, 2015].

Estudos mostram que dentro de uma década o mercado de nanotecnologia pode exceder 2,6 trilhões de dólares [TEXAS NANOTECHNOLOGY REPORT, 2008] e o mercado de nanotecnologia mundial deverá crescer cerca de 17,5% durante 2016 - 2022. Assim, encontra-se uma enorme oportunidade para os participantes da indústria para explorar o mercado em rápido crescimento [GLOBAL NANOTECHNOLOGY MARKET OUTLOOK, 2015].

Existem vários métodos de fabricação de nanofibras como por exemplo o sopro em solução, fiação centrífuga, auto-montagem, separação de fases, *drawing*, *template synthesis*, fiação húmida e electrospinning. No entanto, para essa tecnologia, o electrospinning é o método mais apropriado e com melhor controle sobre o produto final [KIYAK et al, 2014].

Electrospinning é reconhecido como sendo uma técnica eficiente para a fabricação de nanofibras. Além do mais, é simples e de baixo custo. Grandes esforços tem sido feito através dessa técnica para imitar a natureza produzindo materiais somente compostos por polímeros naturais [TONIN et al, 2010].

1.7 Caracterização e Propriedade das Fibras e dos Não tecidos

A identificação de fibras e tecidos é importante para a confecção do vestuário, designers, indústrias automotivas, ciência forense e outros setores, pois o conhecimento das propriedades das fibras é a base para quaisquer desenvolvimentos de materiais posteriores. Para a identificação desse material, diferentes métodos têm sido usados, como por exemplo, normas específicas e adaptadas de uma empresa do setor ou a combinação de diferentes testes [NAYAK et al, 2012].

Alguns organismos de normalização mais reconhecidos mundialmente são a ASTM e ISO. Independentemente da norma, o propósito das análises de parâmetros comuns é determinar e caracterizar a fibra nos quesitos morfológico, químico, físico e ótico, já que, as diferenças entre propriedades físicas e químicas são a base para a identificação de fibras.

1.7.1 Propriedades Físicas e Mecânicas

Todo material possui propriedades e características químicas e físicas. Segundo Morton et al (2008), toda matéria é composta por átomos ligados entre si por pontes de ligação com diferentes forças. É exatamente o arranjo dos átomos e a força das pontes que determinam as propriedades físicas dos materiais.

Para isso, algumas técnicas de identificação e caracterização das fibras foram e ainda são desenvolvidas. Algumas técnicas mais conhecidas de avaliação física e mecânica para as fibras têxteis são testes de flexão e alongamento, elasticidade, resistência, determinação do comprimento, título das fibras, permeabilidade ao ar, análise do fill-power e testes microscópicos longitudinais e transversais das fibras, já que as fibras naturais se diferem uma

das outras na secção transversal, contorno de superfície, estrutura, bem como comprimento e diâmetro [ZIABICKI, 1976 apud NAYAK et al, 2012].

Outro teste físico de caracterização é o de molhabilidade. Com essa técnica, observa-se a tensão superficial que uma gota de água, por exemplo, é associada às forças de coesão interna das moléculas dos líquidos quando em contato com superfícies sólidas. O grau de molhabilidade pode ser determinado à partir do ângulo de contato que o líquido forma na superfície do produto. Assim, quanto maior o ângulo de contato, menor a molhabilidade do produto. O seu valor pode variar de acordo com composições químicas do líquido, a presença de um surfactante ou apenas a temperatura [MELKI, 2014].

1.7.2 Testes Microscópicos

As fibras têxteis vistas a olho nu podem parecer todas iguais ou podem ser bem semelhantes. Na realidade, as fibras, no 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 microscópico das fibras na longitudinal, ou seja, caracterizar as fibras ao longo de sua superfície, como por exemplo, as propriedades de volume, variações de escamas, camadas grossas ou finas, distribuição de pigmentos, etc., ou na transversal, ou seja, caracterizar o interior da fibra, por meio da secção transversal, como por exemplo, as propriedades de tubulações, variações de espessura, se a fibra é oca, inteiriça, presença de lúmen (característica de fibras vegetais), o formato do contorno da fibra (redondo, achatado, triangular, trilobal) dentre outras propriedades.

Enfim, as análises microscópicas são essenciais para distinguir fibras naturais (celulósicas ou animais) de fibras sintéticas e caracterizar suas propriedades físicas [ASTM, 2000].

1.7.3 Propriedades Acústicas

Para o controle de ruído no meio ambiente e tratamento acústico de lugares fechados, é necessário materiais que absorvam energia sonora e que possuam arquitetura e estrutura apropriadas.

O funcionamento das ondas acústicas acontece quando a energia sonora a partir de uma fonte ao ambiente incide sobre um elemento absorvedor e reflete ao ambiente com uma intensidade de energia diminuída. As ondas sonoras, desta forma, precisam de ar para circular e o restante

da energia é de alguma forma, transformada pelo elemento, em energia térmica [OLIVEIRA et al, 2005].

As propriedades acústicas são as mais afetadas pela arquitetura da estrutura. Certas formas de estruturas podem ser capazes de reter melhor as diferentes frequências de som (número de vezes que o som vibra quando enviado através de um determinado meio em unidade Hertz) [KIM, 2012].

Além do mais, os materiais considerados bons absorvedores acústicos são maleáveis, porosos, de baixa massa volúmica e que possuem fibras ou poros (estruturas de espaços vazios) são interessantes pela capacidade de absorção de vibrações sonoras no centro de sua estrutura [OLIVEIRA et al, 2005].

Portanto, o conhecimento do coeficiente de absorção sonoro é fundamental, pois, por meio dele, pode-se selecionar a melhor opção de materiais acústicos usados como revestimentos de ambientes, ductos e silenciadores para a atenuação de ruídos de acordo com a aplicação desejada. Assim, a medição das impedâncias acústicas das fibras e a determinação do coeficiente de absorção sonora são realizadas a partir de medições em um tubo de impedância através de propagações de ondas planas ao longo do tubo.

1.7.4 Propriedades Térmicas

A propriedade térmica - reação do material à aplicação de calor - envolve vários parâmetros. Para direcionar o material estudado para diferentes aplicações é necessário observar, através das análises térmicas, o comportamento do material em relação a sua condutividade térmica (taxa de transferência de calor ao longo do corpo de uma superfície por condução), calor específico (altamente influenciado pelo teor de humidade do material), sua variação em relação à temperatura, coeficiente de expansão térmica, ponto de fusão e o calor latente de fusão [MORTON et al, 2008].

Além do mais as propriedades térmicas quando modificadas, podem alterar as estruturas químicas e mecânicas dos materiais [WASIM et al, 2011].

Segundo Moran et al. (2006), a condutividade térmica de um material aumenta quanto maior for a sua porosidade.

O próximo tópico discute a importância dos eco têxteis feitos de materiais de descarte.

Alguns métodos de caracterização das propriedades de fibras têxteis que serão utilizadas neste trabalho serão descritos no próximo tópico.

1.8 Eco Têxteis: Desenvolvimento de Têxteis a Partir de Material de Descarte

Recentemente a resposta usual para os problemas ambientais era de reduzir a poluição e os resíduos depois de terem sido produzidos. Atualmente, as empresas mais avançadas estão sendo pró-ativas nas necessidades de consumo e na formação de mercados futuros para o material de descarte. Elas veem o meio-ambiente como uma oportunidade e não uma ameaça e reconhecem que é melhor tratar o descarte na prevenção antes que se torne um problema [BHAMRA, 2007]. Existem várias vantagens para as empresas que adotam a ação ecológica, como por exemplo: economia de custos (quantidade reduzida de matéria-prima, menor quantidade de material de descarte, eficiência de energia e água), regulações legislativas (legislações para material operante e países que exportam), competição (companhias pioneiras em eco produtos possuem vantagens competitivas), pressão de mercado (melhorar o desempenho associado às questões ambientais), exigências de clientes (questionamento de fornecedores aos compradores para o desenvolvimento de um produto mais sustentável), inovação (novas oportunidades para indústrias que desenvolvem produtos e processos sustentáveis), responsabilidade da empresa (competitividade com outras empresas que adotam políticas sustentáveis) e comunicação (*merchandising* para promover os produtos ou serviços da empresa) [BHAMRA, 2007].

Sendo assim, constata-se que as fibras têm sido recuperadas quando o produto têxtil chega ao final de sua vida útil ou mesmo no processo de produção em forma de refugo dos filamentos sintéticos, por exemplo. Porém a recuperação de fibras a partir de outros materiais de descarte ainda é muito rara, além do mais existem poucos estudos sobre esse reaproveitamento de matéria-prima.

Em tempo de escassez de matéria-prima não renovável, a reciclagem de têxteis se torna necessária e eficiente para empresas e artesãos encontrarem uma solução para o problema. Desta maneira, os têxteis descartados gera uma fonte de matéria-prima valiosa [GULICH, 2006].

O material têxtil designado por ser de fácil reciclagem é caracterizado pelo potencial de se separar ou de se desintegrar facilmente e pelo potencial de ser reusado. Ambas as características são concernidas a processos econômicos. Desta forma, os produtores estão cada vez mais interessados em conciliar o baixo preço do processo produtivo e o mínimo de gastos com matérias-primas. Além de reduzir o custo da matéria-prima, consequentemente se diminui o

volume do material descartado e o produto se torna sustentável; uma boa ferramenta de *merchandising* para as vendas [GULICH, 2006].

Para a indústria têxtil, segundo Gulich (2006) a melhor matéria para reciclar são as fibras descartadas para fazer outros têxteis combinados com outras fibras ou não tecidos a fim de encontrar funcionalidade e destinação ao material.

As características das fibras recicladas de tecidos mudam, por isso são geralmente destinadas à produção de não tecidos e fios. O dano que as fibras sofrem durante a produção implica em uma ampla porcentagem de fibras com comprimento curto.

Na maioria dos casos as fibras recicladas possuem maiores características desejadas se misturadas com outras fibras, como por exemplo, para o processo produtivo, as fibras têm que possuir um comprimento suficiente para a máquina de fiação. No entanto, a adequação do processo depende das características do material de descarte e seu valor [GULICH, 2006].

O material descartado requer uma avaliação dos produtores para: o pré-tratamento do material (se o material pode ser lavado, se pode ser separado dos outros componentes não têxteis, se possui cor e se já é cortado ou quebrado), a variação dos parâmetros do processo (determinar os pré-requisitos técnicos para definir o controle dos parâmetros, como por exemplo, a velocidade do transporte do material e a velocidade do cilindro de fiação), pós-tratamento e a qualidade do produto (eliminação de fibras curtas, fácil limpeza, compatibilidade com outras fibras) [GULICH, 2006].

Segundo Wang (2000) uma das possíveis aplicações para as fibras recicladas de penas é reforço para concreto. O concreto é o material mais pesado do mundo usado em construções. No entanto, possui baixa tenacidade, flexibilidade e energia de absorção. A causa intrínseca do baixo comportamento à tração do concreto é a baixa rigidez e a presença de defeitos. Por isso, uma solução para aumentar a rigidez, a durabilidade e evitar o encolhimento do material é adicionar e misturar pequenas fibras ao concreto. Segundo Gulich (2006) também é possível desenvolver não tecidos, fios, tecidos automotivo, tapetes, compósitos, entre outros.

Assim, encontrar fontes alternativas para substituir, pelo menos, uma parte dos 67 milhões de toneladas de fibras sintéticas atualmente em utilização, é relevante, devido à redução da disponibilidade de recursos não renováveis necessários para produzir materiais sintéticos [REDDY, 2005].

1.9 Conclusão do Capítulo 1

No capítulo 1 desta tese, pode-se observar o levantamento de informações bibliográficas concernentes ao tema abordado.

O termo fibra têxtil e fibra natural foi introdutoriamente tratado à fim de estabelecer noções sobre o material fibroso. Os tipos de animais – frango, peru, pato e ganso – foram estudados bem como a variedade de penas existentes – penas de contorno, penugem, semiplumas e filoplumas. O conhecimento sobre a estrutura física das penas – cálamio, vexil, ráquis, fibra, anterior bárbule, pena posterior e penugem – foi aprofundada. Discutiu-se, também, a composição química das penas – 91% de queratina, 1,3% de gordura e 7,7% de água – e os métodos mais utilizados para a extração da queratina.

Depois do levantamento de informações básicas sobre as fibras e penas, considerou-se também o estudo de eco têxteis a partir de materiais de descarte, fibras ecológicas e suas aplicações existentes.

O setor econômico foi outro plano abordado no capítulo 1. Os setores de produção de penas brasileiro e francês foram discutidos, apontando números de descarte anual e outros dados de produção de penas em diversos países.

Uma rápida aproximação aos tipos de caracterização física, mecânica, acústica e térmica foi desenvolvida.

Como último plano deste capítulo, as noções de não tecidos, nanotecnologia e nanofibras foram levantadas para introduzir o conhecimento desses materiais que serão posteriormente fabricados neste trabalho de tese.

Le chapitre 2 porte sur les matériaux et les procédés qui ont été développés et utilisés pour la partie expérimentale de la thèse. Les tests ont été basés, dans la mesure du possible, sur les normes techniques existantes. Le développement de nouvelles méthodologies a été détaillé lorsque cela était le cas. Ainsi, ce chapitre a été divisé en plusieurs parties : caractérisation des fibres et des non-tissés ; fabrication de non-tissés; extraction de la kératine de plumes ; électro filage de nano fibres à partir de la kératine extraite et analyses statistiques.

Les schémas 1, 2 et 3 décrivent plus précisément les étapes développées pour chaque objectif.

Schéma 1. Principales étapes du processus de caractérisation des fibres de plumes.

Dans l'étape de caractérisation des fibres, les plumes et les duvets ont été collectés auprès d'abattoirs domestiques au Brésil et en France. Les échantillons ont été lavés à l'eau et au détergent afin que le matériel soit stérilisé. Après séchage, les échantillons ont été climatisés à une température de 20°C et une humidité relative de 65%. Les tests suivants de caractérisations ont été menés : titre, diamètre, longueur, microscopies longitudinales et transversales (caractérisation structurale) ; élongation, élasticité, résistance, épaisseur, hydrophobie, perméabilité à l'air, détermination de la teneur de regain et de l'humidité et (caractérisation physique et mécanique) ; coefficient d'absorption acoustique (caractérisation acoustique) ; Thermique - conductivité thermique, rétraction et comportement à feu des fibres

(caractérisation thermique). Les analyses statistiques ont été développées avec les données obtenues à partir des mesures réalisées.

Schéma 2. Processus de production et de caractérisation des non tissés de plumes.

La deuxième partie du chapitre 2 s'intéresse au développement d'une méthodologie spécifique de fabrication de non-tissés par aiguilletage en voie sèche. Appliquée au laboratoire, elle a permis la réalisation d'échantillons qui ont été caractérisés.

La production de non-tissés de plumes et duvets a été faite avec différentes matières de base (fibres de plumes, fibres de duvets et duvets coupés en trois parties égales) et pour différentes masses surfaciques. Dans cette partie, sont présentés les travaux menés pour la caractérisation physique et mécanique, incluant la caractérisation acoustique et thermique des non tissés : élongation, épaisseur, résistance et perméabilité à l'air, coefficient d'absorption acoustique et conductivité thermique. Cette partie comporte les analyses statistiques des résultats et des propositions d'applications pour les non-tissés.

Schéma 3. Processus d'extraction de la kératine et la production de nano fibres de plumes.

La troisième et dernière partie du chapitre de matériaux et méthodes est dédiée à l'extraction de la kératine avec une solution de NaOH. Le filage de nano fibres par électrospinning a été réalisé à partir d'une solution comprenant la kératine extraite dissoute dans l'acide formique. La caractérisation de la surface des nano fibres a été faite par microscopie et les diamètres ont été mesurés par analyse d'image. Enfin, les analyses statistiques du diamètre des nano fibres ont été menées.

Neste capítulo são elaborados os processos utilizados para o desenvolvimento da tese fundamentados em normas técnicas e, ademais, quando necessário, o desenvolvimento de novas metodologias. Logo, por questões didáticas o capítulo 2 foi composto em 5 partes: Caracterização das fibras e dos não tecidos (1); Confeção dos não tecidos (2); Extração da Queratina (3); Filagem no Electrospinning (4) e Análises estatísticas (5).

Para um entendimento mais didático das etapas a serem desenvolvidas neste capítulo, o fluxograma 1, 2 e 3 foram descritos. Cada fluxograma representa um objetivo deste trabalho.

Fluxograma 1. Principais etapas do processo de caracterização das fibras de penas.

Fluxograma 2. Principais etapas do processo de produção e caracterização dos não tecidos de penas.

Fluxograma 3. Principais etapas do processo de extração da queratina e produção de nanofibras de penas.

Primeira Parte

2.1 Procedência do Material

Algumas penas de frango, peru, pato e ganso foram coletadas em fazendas na cidade de Paranapanema, interior de São Paulo no Brasil, a qual cria animais para consumo próprio e para pequeno comércio. Ademais, penugens de patos foram doadas pela empresa *Société Nouvelle Interplume* a qual se situa na cidade de Sainte-Hermine na França. Penas de peru foram também recebidas de um abatedouro na cidade de Boersch na França chamado *Volailles Koerckel* e penas de peru e frango foram doadas por abatedouros domésticos na cidade de Huningue e Spechbach-le-Bas também na França. Finalmente, algumas penas de ganso foram coletadas na fazenda *La Ferme Schmitt* situada em Bischoffsheim.

2.2 Preparação das Amostras

Segundo a norma ISO 6741-3 as penas devem ser lavadas, a fim de serem esterilizadas com detergente. As penas necessitam ser fechadas dentro de um saco o qual possua tramas bem abertas, para que o líquido possa circular livremente e grande o suficiente para que, quando fechado, o material não seja comprimido. O saco e o cordão devem ser constituídos de poliamida ou poliéster e devem estar higienizados (Figura 12 - a e Apêndice I. 1. 1). O detergente em pó ECE sem fosfato é sugerido pela norma ISO 6330/09 e sua composição consiste em: alquil-benzeno sulfonato de sódio, 3,5% de álcool etoxilado C12-18 (7 EO), 2,8% de sabão de sódio, 8 % de concentrado anti-espumante em suporte inorgânico, 5% de silicato de alumínio e 25% de sódio, 9,1% de carbonato de sódio, sal de sódio de um copolímero de ácido acrílico, 4% de maleico, 2,6% de silicato de sódio, 1% de carboximetilcelulose, 0,6% de dietileno penta triamina, 6% sulfato de sódio, 9,4% água, 20% de perborato de sódio tétra-hidratado e 3% de tétra-acetil etileno diamina. A quantidade ministrada deve ser de 5g/l.

A figura 13 indica o processo de esterilização das penas segundo a norma ISO 6741-3.

Figura 13. Penas de frango dentro de um saco para a esterilização [ISO 6741-3] (a); Banho das penas de frango à 75° C em solução com detergente ECE [ISO 6741-3] e [ISO 6330/09] (b) e Enxágue das penas de frango [ISO 6741-3] (c).

Em um recipiente adequado imerge-se o saco fechado com as amostras a uma temperatura de 70 a 75 °C dissolvendo 5g de detergente por litro de água com dureza inferior à 5mg/l de carbonato de cálcio. Deixa-se as amostras emergidas na solução durante 30 minutos, mantendo a temperatura entre 70 a 75 °C (Figura 12 - b e Apêndice I. 1. 1. 3.) Depois deste período, acrescenta-se água até que a espuma desapareça (Figura 12 - c e Apêndice I. 1. 1. 4.). Retira-se o saco e seu conteúdo e extrai-se todo o líquido possível através do processo de centrifugação. Enxagua-se em dois banhos sucessivos de água a 85 °C, mantendo o material em movimento, durante 5 minutos em cada banho. Finalmente, enxagua-se durante 5 minutos em água destilada a 85 °C. Centrifuga-se as amostras após cada processo de lavagem.

2.2.1 Amostragem: Penas e Penugens

Após a esterilização, utiliza-se a norma ASTM D4524/12 a qual especifica métodos para a preparação de amostras de penas e penugem respectivamente. As dimensões e natureza da massa da amostra devem ser suficientes para atenuar de maneira adequada as variações da massa de origem e também para facilitar a manipulação no laboratório.

A seleção das penas deve ser realizada aleatoriamente. Um recipiente com dimensão apropriada deve ser utilizado para misturar as penas. Os equipamentos utilizados são recipientes com dimensões suficientemente capazes de permitir a mistura entre as penas para o preparo das amostras.

Baseando-se ainda nas normas ASTM D4524/12 e NF EM 1883/98 segue detalhadamente a preparação das amostras de penas e penugens.

As penas devem estar armazenadas em um só recipiente, a fim de serem cuidadosamente misturadas com as mãos. Três amostras devem ser coletadas, utilizando luvas, em cada parte do reservatório (parte superior, do meio e inferior).

No caso de mais de um recipiente, porém proveniente do mesmo lote, amostras são colhidas aleatoriamente entre os diferentes refratários. O número de amostras individuais e a quantidade de penas extraídas de cada reservatório foram determinados de acordo com a tabela 8. As amostras devem ser devidamente identificadas com número e massa em gramas.

Tabela 8. Preparação de amostras: quantidade em gramas a ser preparada para cada corpo de prova [NF EN 1883/98].

Números de unidades no recipiente	Número de recipientes	Massa de cada amostra a coletar no recipiente (g)	Massa total a ser retirada do recipiente (g)
1	1	135	405
2 a 15	2	70	420
16 a 25	3	45	405
26 a 50	4	35	420
51 a 90	5	30	450
91 a 150	7	20	420
151 a 280	10	20	600
281 a 500	15	15	675
501 a 1200	20	15	900
Acima de 1200	25	15	1125

A massa de cada uma das três amostras individuais tiradas de cada recipiente e a massa total do lote mostrado na tabela 8 deve ser suficiente se as análises realizadas requerem uma massa total de amostras de teste igual ou menor do que os previstos na tabela. Porém, se a massa total do teste necessária para realizar as análises requeridas com as amostras é maior do que a massa total existente, a massa de cada uma das três amostras individuais deve ser tal que a massa total de amostras de laboratório seja suficiente para a realização de análises previstas. Depois de preparadas em amostragens, as fibras devem ser separadas de sua ráquis cuidadosamente com a ajuda de uma pinça ou manualmente (Figura 15). Depois, a fim de retirar alguma fibrila de penugem ou resíduos acumulados, prende-se a fibra entre o polegar e o indicador de uma das mãos e passa-se um pincel nas fibras.

Separa-se as penas de frango, peru, ganso e pato em 4 refratários diferentes tarados e mexe-se delicadamente com as mãos o conteúdo de cada reservatório. Se houver fibras danificadas deposita-se em outro recipiente. Separa-se, igualmente, cada parte da pena: penugem, pena e ráquis em um recipiente diferente e tarado. Os demais resíduos que sobram devem ser colocados em outro reservatório. Cada recipiente deve conter aproximadamente 0,0001g de material.

A figura 14 ilustra as etapas de separação da ráquis e das fibras.

Figura 14. Etapas da preparação das amostras: penugens (a); fibras das penugens (b); penas (c); fibras de penas (d) e ráquis de penas e de penugens (e).

2.3 Climatização das Amostras

A norma ISO 139/2005, a ASTM D 1776/08 e a NBR 8428/84, estabelecem controles, condições de ensaio, modo de operação, equipamentos e utilização de atmosferas normalizadas para o condicionamento, a fim de determinar as propriedades físicas e mecânicas de produtos fibrosos para ensaios.

Os requisitos estabelecidos pela norma são; atmosfera normal com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%. A zona de tolerância para atmosfera normal é de ± 2 °C para a temperatura e de $\pm 4\%$ de tolerância para a umidade relativa do ar.

A norma sugere que um pré-condicionamento antes do condicionamento final pode ser necessário. Neste caso, o pré-condicionamento deve ter entre 10% e 25% de umidade relativa e não exceder a 50 °C de temperatura. A norma não especifica um tempo de condicionamento exato, devido à variedade de materiais fibrosos, porém encontra-se a recomendação de condicionamento do algodão de 24 horas à 48 horas segundo a norma ASTM D5867/12 e 24 horas ou menos segundo a norma BS EN 20139/92.

Antes da realização do ensaio, é necessário condicionar e colocar o material em um ambiente de teste para que o ar possa atravessar livremente e mantê-lo o tempo necessário até atingir o equilíbrio com a atmosfera. Sugere-se que quando as fibras atingirem o equilíbrio atmosférico realizem-se pesagens com intervalo de 2 horas para se assegurar que não haja variação da massa superior a 0,25%. As amostras devem sempre ser bem identificadas.

2.4 Caracterização das Fibras e dos Não tecidos

O desenvolvimento de várias tecnologias as quais tornam nossa existência mais confortável tem sido associado com a acessibilidade de materiais adequados. O avanço no entendimento de um tipo de material é, muitas vezes, o precursor para a progressão gradual de uma nova tecnologia. Portanto, a ciência de materiais envolve a pesquisa de relações que existem entre a estrutura e as propriedades dos materiais [CALLISTER et al., 2009]. Ainda segundo Callister, os quatro componentes da disciplina de ciência e engenharia de materiais e suas interrelações são; *processamento – estrutura – propriedades – performance*.

Focando-se na caracterização, descreve-se, segundo Mansur (2013) os aspectos de composição e estrutura - incluindo defeitos - dos materiais, dentro de um contexto de relevância para um processo, produto ou propriedade em particular.

A caracterização de fibras têxteis e dos não tecidos é realizada por diversos motivos, como por exemplo, a determinação da qualidade e a adequação e direcionamento de fibras/tecidos para determinadas aplicações [HARWOOD et al., 2012]. Por esta razão, esta tese é baseada, em sua primeira parte, na caracterização de fibras e não tecidos de penas para pesquisar e definir suas qualidades inerentes, no que eles se diferem e no que eles se assemelham em relação as fibras e aos não tecidos de materiais já existentes. Esta pesquisa é composta, portanto, na primeira etapa da metodologia, de testes e análises de caracterizações físicas, mecânicas, térmicas e acústicas de fibras e não tecidos de penas e penugens de frango, peru, pato e ganso

As amostras foram climatizadas antes da realização de cada teste de caracterização [ISO 139/2005] [ASTM D 1776/08] e [NBR 8428/84].

Os testes realizados nos não tecidos de fibra de penas e penugens foram apenas: permeabilidade ao ar, tração, análise de superfície, coeficiente de absorção acústica, condutividade térmica e espessura.

2.4.1 Caracterização Física

Para realizar os testes físicos foram utilizadas apenas fibras esterilizadas, pré-tratadas e climatizadas. A temperatura e a umidade relativa estão de acordo com a norma de condicionamento de materiais têxteis [ISO 139/2005] e [NBR 8428/84] a qual indica $20 \pm 2^\circ \text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 4\%$. Estes parâmetros foram utilizados em todos os testes e ensaios desta tese.

2.4.1.1 Classificação da Fibra

Segundo a norma ASTM D 276/12, os métodos de ensaio para classificação da fibra são geralmente um meio confiável de identificar os tipos genéricos de fibras presentes em uma amostra do material têxtil de composição desconhecida. A identificação das fibras em grupos ou “famílias” da mesma origem é feita, principalmente, por meio de testes microscópicos com ampliação de 100x a 500x e análises das microscopias longitudinais e principalmente transversais da fibra devidamente esterilizada e condicionada.

2.4.1.2 Medição do Comprimento das Fibras

O método escolhido para a determinação do comprimento das amostras foi o método manual, já que se trata do método mais preciso para fibras curtas. O teste é baseado nas normas NF G07-009/81 e ISO 6989/81.

A determinação do comprimento da fibra de pena deve ser realizada individualmente com uma amostra de no mínimo 50 fibras de cada animal com o método manual. Primeiro retira-se fibra por fibra da amostra preparada no item 3.1.2.3. Em seguida, separa-se ao menos 50 fibras identificando-as devidamente com números. Ao longo de uma régua e com uma pré-tensão aplicada em suas duas extremidades, medem-se as fibras e anotam-se os valores.

2.4.1.3 Determinação do Título das Fibras

Densidade linear, massa por unidade de comprimento ou título é a medida de diâmetro mais usada em fibras. Uma vez que o comprimento da fibra é definido (item 3.1.2.6.) a densidade linear é facilmente identificada quando determinada a massa de cada fibra em balança analítica. Basicamente, divide-se a massa de cada fibra pelo comprimento [MORTON, 2008].

O sistema de titulação utilizado para a pesquisa é o Título Direto, pois representa a massa de um comprimento determinado de fio (no título tex o comprimento é fixado em 1.000 m e no dtex 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 [PITTOLI, 2012]. Para a determinação do título, utiliza-se a norma NBR 13216/94.

Calcula-se o título médio pela seguinte equação:

$$\text{dtex}_m = \frac{M_m \cdot 10.000}{C}$$

Onde: (Eq.1)

dtex_m = Título Médio (dtex);

M_m = Massa Média da fibra ou do feixe (g);

C = Comprimento da fibra (m).

2.4.1.4 Determinação da Recuperação Porcentual de Umidade (*Regain*) e do Conteúdo Percentual de Umidade (*Umidade*).

Diferentes fibras têxteis podem absorver e reter diferentes quantidades de umidade provenientes da atmosfera dependendo da sua estrutura química [NAYAK et al., 2012]. O princípio desse ensaio consiste em determinar a quantidade de água contida em um corpo de prova (massa original) submetido à alta temperatura até a sua massa se tornar estável (massa seca), após a devida identificação e pesagem.

Segundo a norma ISO TR 6741-1/87 e a norma NF EN 1161/97, o procedimento consiste em pesar cerca de 2g da amostra climatizada em balança analítica com sensibilidade de 0,1mg. Deve-se preparar, segundo a norma, 5 corpos de prova para o teste. Em seguida realiza-se a secagem em estufa com placa de petri sem a tampa e recirculação forçada de ar a 105 ± 2 °C até sua massa se tornar constante durante $2h \pm 12min$. A velocidade da circulação de ar forçado deve ser ao menos 0,2 m/s e de preferência não ser superior a 1 m/s.

Após a secagem, cobrir as placas de petri e transferi-las rapidamente, a fim de não ocorrer a variação de umidade, para um dessecador utilizando pinças próprias. Desta maneira, as amostras devem ser taradas novamente em balança analítica e pesadas o mais rápido possível, para que se obtenha a massa antes e depois da secagem.

Deste modo, o Conteúdo Percentual de Umidade (*Umidade*) é definido como a massa da água calculada como uma percentagem da massa original da amostra:

$$CPU = \frac{MU - MS}{MU} \cdot 100$$

Onde: (Eq. 2)

CPU = Conteúdo Percentual de Umidade (Teor de Umidade), %;

MU = Massa Úmida (Peso Original), g;

MS = Massa Seca (Peso Seco em estufa a 105 ± 2 °C até atingir massa constante), g.

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

$$RPU = \frac{MU - MS}{MS} \cdot 100$$

Onde: (Eq. 3)

RPU = Recuperação Percentual de Umidade (*Regain*), %;

MU = Massa Úmida (Peso Original), g;

MS = Massa Seca (Peso Seco em estufa a 105 ± 2 °C até atingir massa constante), g.

2.4.1.5 Teste de Permeabilidade ao Ar

O teste de permeabilidade ao ar determina de uma maneira simples, rápida e segura o fluxo de ar que atravessa perpendicularmente uma superfície em condições de diferença de pressão aplicada em relação ao tempo determinado [TEXTTEST, 2010] [NF EN ISO 9073-15/08]. Para isso, as normas utilizadas para este teste são ASTM D 737/46, NF EN ISO 9237/95 e NF EN ISO 9073-15/08.

Segundo a norma NF EN ISO 9237/95 o aparelho se constitui de um sistema de bomba potente, eficaz e insonora, que aspira o ar através de um cabeçote de medição permutável. Para a execução do ensaio, introduz-se no aparelho o suporte circular de amostras de medida indicado pelas normas: 5 cm², 20 cm², 50 cm² ou 100 cm². O sistema de trava permite de fixar a amostra ao cabeçote suficientemente forte para evitar o vazamento do fluxo de ar pelas laterais sem que a amostra seja deformada.

Para que as fibras não fossem sugadas pelo fluxo de ar do aparelho, utilizou-se um não tecido de poliéster como suporte. Previamente, realizou-se o teste nessa estrutura e o valor final do teste com as fibras foi subtraído o valor do ensaio com o suporte.

A imagem 15 evidencia o teste de permeabilidade ao ar das amostras de fibras e dos não tecidos de penugens de peru.

Figura 15. (a) Suporte circular com as fibras, (b) teste em fibras e (c) teste em não tecidos aparelho TEXTTEST (modelo FX 3300 Luftdurchlassigkeits – Prüfgerat) em funcionamento.

A tolerância relativa ao ar da superfície do ensaio não deve passar de $\pm 0,5 \%$. A amostra é colocada no suporte e em seguida seleciona-se a pressão recomendada pela norma. A fixação da amostra aciona automaticamente a aspiração e depois de alguns segundos, a permeabilidade ao ar da amostra é exibida numericamente na unidade de medida escolhida. Registra-se o valor do débito de ar no máximo até 1 minuto depois da estabilização das condições.

A norma ASTM D 737/46, recomenda 5 corpos de prova, porém para obter um número amostral suficiente para análises estatísticas realizou-se 60 testes de cada tipo de fibra. Para os não tecidos, utilizou-se portando 5 não tecidos de cada fibra de cada animal e testou-se 6 vezes cada não tecido para obter um número amostral suficiente para análises estatísticas. A pressão utilizada é de 196 Pa [NF EN ISO 9237/95] e a unidade de medida é expressa em $\text{l/m}^2/\text{s}$ [ASTM D 737/46] e a superfície 20 cm^2 [NF EN ISO 9237/95].

Sensores de pressão garantem uma excelente precisão de medida e uma alta reprodutibilidade dos resultados de ensaio.

2.4.1.6 Análise de Superfície

A obtenção de imagens a partir do escâner permite a nítida visualização da estrutura das fibras bem como a identificação de suas diferenças.

O escâner (Epson Perfection 4990 Photo) é acoplado ao computador e as imagens são captadas através do software Epson Scan para identificar a estrutura das penas e não tecidos de cada animal como mostra a figura 16.

Figura 16. Digitalização da amostra através de um escâner acoplado a um computador com software específico.

O software foi programado para criar imagens em cores com 48 bits. A resolução foi programada para 2400 dpi. E o tamanho escolhido foi de 10 cm por 10 cm para as imagens dos

nãotecidos e para as penas o tamanho variou conforme a grandeza do material em relação à régua.

A imagem 17 apresenta a tela do programa com a programação e a amostra ao lado.

(a) (b)
Figura 17. Tela de programação do software EPSON Scan (a) e tamanho da imagem sendo definido sobre a amostra (b).

As penas, por sua vez, foram escaneadas com uma régua na lateral para determinar o tamanho aproximado das amostras de acordo com cada tipo de animal (Figura 18 e Apêndice I. 5).

Figura 18. Penas de frango escaneadas com uma escala numérica.

As imagens obtidas por este método foram tratadas para realçar os contrastes, permitindo identificar as diferenças entre os diversos materiais.

2.4.1.7 Caracterização Microscópica

O microscópio eletrônico de varredura (Hitachi, modelo S2300) criado em 1960 é utilizado para digitalizar a superfície com um feixe de elétrons em imagens de alta resolução com aparência tridimensional para analisar superfícies ou estruturas internas das amostras [NF ISO 16700/06] [HARWOOD et al., 2012] (Figura 22).

A microscopia pelo MEV permite analisar a microestrutura por possuir boa capacidade de foco, determinando a espessura, identificando defeitos e fraturas na superfície, além de obter imagens numa gama de ampliação superior (de 10x a 18000x), com uma profundidade de campo de 30 a 100 μ m [MONTEIRO, 2005].

A análise microscópica é dividida em análise longitudinal e análise de secção transversal. Na análise longitudinal uma pequena quantidade de fibra é identificada em uma ampliação específica e determinada, a qual confere uma exata identificação do tipo de fibra analisada. Na análise de secção transversal, o corte da fibra é preparado com um dispositivo de corte e acoplado em um suporte próprio do microscópio (Figura 22 - a).

2.4.1.7.1 Princípio de Funcionamento

Na figura 19, para melhor entendimento, verifica-se o ângulo de inclinação entre a superfície inclinada da amostra e o plano perpendicular ao eixo do feixe de elétrons dentro do microscópio.

Figura 19. Ângulo de inclinação da amostra e o eixo do feixe de elétrons. Amostra inclinada (1), feixe de elétrons (2), amostra (3), ângulo de inclinação (4) [NF ISO 16700/06].

Segundo a norma XP ISO/TS 24597/11, recomenda-se que a amostra possua um ângulo de inclinação de 0° para que não afete a nitidez da imagem. É aceitável um erro de $\pm 3^\circ$ do ângulo de inclinação da amostra.

Recomenda-se utilizar a pressão de aceleração do MEV em 18 kV ou de acordo com o diâmetro de cada material.

Para a capturação e a reglagem das imagens utiliza-se o software Quartz para as microscopias longitudinais e transversais. Ao programar a imagem no MEV por meio desse software, verificou-se, segundo a norma XP ISO/TS 24597, que a nitidez da imagem depende da própria amostra e de sua irregularidade, por isso, seleciona-se uma parte da amostra a qual possua a superfície mais lisa e plana possível (integridade e regularidade estrutural). Além do mais, outros aspectos que influenciam na nitidez da imagem é o fundo da imagem, a quantidade de brilho e o contraste programado.

Por fim, para determinar o diâmetro das fibras, medem-se, com a ajuda do software, diâmetros de cada microscopia em 600x de ampliação do tamanho original da fibra de pena e de penugem de frango, peru, pato e ganso. Para medir, segundo a norma ISO 17751/09, em cada imagem, calibra-se o comprimento em microns com o marcador de escala localizado na legenda da foto capturada e em seguida aplicam-se as duas extremidades do cursor calibrado ao longo das duas bordas das extremidades de cada diâmetro de cada fibra. Nota-se que as amostras possuem o comprimento do diâmetro com as fibras secas, e, por esta razão, aconselha-se a acrescentar o valor de 5% a 10% do diâmetro médio para calcular o aumento do diâmetro quando há a absorção de umidade na atmosfera de ensaio indicada pela norma ISO 139/05.

2.4.1.7.2 Preparação das Amostras e Microscopia Longitudinal das Fibras

A preparação das amostras para o MEV foi feita a partir de uma pequena quantidade de material de pena e de penugem de cada animal depositada em uma placa metálica com ajuda de uma pinça e fixada com fita adesiva, a qual serve de divisórias entre as amostras para a localização de cada imagem da amostra através do software (Figura 20).

Figura 20. Placa metálica com as amostras de pena e de penugem da fibra de frango, peru, pato e ganso.

A placa com as amostras é em seguida metalizada com a incidência de feixes de elétrons acelerados. Esses elétrons percorrem a amostra com tensão que varia entre 0 e 40KV a fim de que sua superfície seja condutora para permitir um fluxo de elétrons em excesso [MONTEIRO, 2005]. As amostras são desta forma, depositadas dentro da câmara de metalização e a pressão é aumentada através da introdução do gás árgon (Ar). Um forte campo elétrico é aplicado entre um cátodo e um ânodo do suporte que porta as amostras. Os elétrons livres impulsionados por um sistema magnético colidem com átomos de Ar, o que gera íons de Ar⁺. Estes cátions são acelerados em direção ao cátodo que se colide com energia suficiente para extrair átomos que cubram a superfície da amostra, formando assim uma fina camada condutora. Este processo impede que a amostra seja carregada à carga elétrica quando exposta no MEV.

Este ensaio está fundamentado na norma NF ISO 16700/06 e na XP ISO/TS 24597/11. As microscopias longitudinais foram realizadas com aumento de 50, 125, 250, 400 e 600 vezes do tamanho original.

A ilustração 21 mostra o aparelho MEV acoplado ao computador.

Figura 21. Microscópio eletrônico de varredura (Hitachi, modelo S2300) acoplado a uma videocâmera de captação digital de imagens (a); placa de metal com as amostras sendo inserida no MEV (b).

2.4.1.7.3 Preparação das Amostras e Microscopia Transversal

A microscopia oferece o único método direto de medição absoluta das características da fibra a partir da secção transversal [HARWOOD et al., 2012]. Desta maneira, desenvolveram-se corpos de prova a partir de uma metodologia desenvolvida pela autora.

Os materiais utilizados foram: fibras, fita adesiva, folha sulfite, lâmina de precisão, esmalte incolor para unhas Risqué®, óleo secante para unhas Risqué® e suporte apropriado ao MEV. Primeiro, prende-se um feixe de fibras em uma folha sulfite com uma fita adesiva, em seguida aplica-se o esmalte incolor, para formar uma camada de resina que envolva a fibra, e logo após, aplica-se o óleo secante para o endurecimento das fibras assim, desenvolve-se um envolto rígido para que as fibras fiquem na posição vertical para realizar o corte de precisão na transversal e acoplar as fibras no suporte do MEV (Figura 22).

Figura 22. Preparação dos corpos de prova com esmalte incolor e óleo secante (a); aparelho de corte de precisão (b).

As microscopias desenvolvidas com o MEV em secção transversal são utilizadas para estudos minuciosos para obter o máximo de informação sobre a dimensão transversal de uma fibra e seu formato interior [MORTON, 2008].

A imagem 23 apresenta o suporte para visualização da secção transversal do material e o interior do microscópio.

Figura 23. Suporte do MEV para visualização seccional do material (a); suporte acoplado dentro do microscópio (b).

2.4.2 Caracterização Mecânica

O processo de caracterização mecânica é desenvolvido pelo teste de tração de fibras e não tecidos até o seu rompimento utilizando o aparelho chamado dinamômetro, o qual indica a força de tração exercida e o alongamento das amostras testadas.

2.4.2.1 Ensaio de Tração de Fibras

A resistência dinamométrica estabelece o comportamento de um fio ou de uma amostra em relação à sua tração.

As normas NF EN ISO 5079/96, ASTM D3822/07 e NBR 13385/95 prescrevem métodos e condições de ensaio para a determinação da força de tensão ou resistência de ruptura (cN), do alongamento (deformação) de ruptura (%) e da tenacidade de ruptura (cN/tex) de fibras individuais condicionadas ou molhadas. A fórmula de tenacidade de ruptura é mostrada na equação 4.

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

Onde: (Eq. 4)

γ = Tenacidade, cN/tex;

F = Carga de Ruptura, cN;

T = Título, tex.

A determinação dessas propriedades das fibras, quando efetuadas em diversos aparelhos de testes, não ocasiona resultados idênticos. A fim de evitar essas diferenças, a norma se limita somente ao teste com o dinamômetro.

O princípio do teste consiste em colocar uma fibra individual com uma pré-tensão e velocidade constantes até a ruptura do material. O dinamômetro é automático e conectado à um sistema informático (Figura 23 - a). Utiliza-se, portanto, um software para determinar a curva de força-extensão, ou seja, a força e o alongamento máximo no momento da ruptura. A força-extensão e a densidade linear (título) são utilizadas para calcular a tenacidade e o alongamento.

Para a acoplagem das fibras no dinamômetro é necessário com o auxílio de pinças apropriadas colocarem as fibras individualmente com a pré-tensão indicada de 0,1 N e analisar a necessidade ou não de um suporte de silicone ou borracha para que as fibras não escorreguem entre as garras. A distância entre as garras deve ser de 10 mm e a velocidade constante deve ser de 25 mm/min e os mordentes com dimensões de 2,5 mm x 2,5 mm.

A figura 24 demonstra o dinamômetro acoplado ao computador e o teste sendo realizado com uma fibra de pena de frango.

Figura 24. Dinamômetro *Instron* (modelo 33R4204, Estados Unidos) acoplado a um sistema informático (Testworks 4) (a); garras de 10 mm e sistema de silicone para que as fibras não escorreguem (b) e realização do teste com uma fibra de pena de frango (c).

A variação sob a força indicada não deve ultrapassar $\pm 1 \%$ da força de ruptura média da amostra. A variação sob a extensão das garras indicada não deve ultrapassar $\pm 0,1 \text{ mm}$, a variação sob o alongamento inicial não deve ultrapassar $\pm 0,2 \text{ mm}$ e a velocidade constante de deslocamento das garras não deve ultrapassar $\pm 5 \%$. Ao menos 50 corpos de prova foram submetidos ao ensaio.

Um completo diagrama de deformação é produzido com os resultados. A força máxima necessária para a ruptura das fibras pode ser exibida juntamente com o alongamento à tensão máxima e/ou no ponto de ruptura. A resistência das fibras é normalmente expressa pela tenacidade, isto é, a força máxima (Newtons) necessária para romper a fibra dividida pela densidade linear (tex) no ponto da ruptura [HARWOOD et al., 2012].

A ilustração 25 apresenta as dimensões dos nãotecidos para a realização do teste no dinamômetro.

Figura 25. Dimensões da amostra de nãotecido para encaixe nas pinças do dinamômetro [NF EM 29073-3] e [NF EN ISO 13934-1/13].

O comprimento deve ser suficiente pra que a distância inicial do nãotecido seja de 15 cm e a altura das garras seja de 4,5 cm. Além do mais, a amostra deve ser bem centralizada entre as garras de 100 N com uma pré-tensão aplicada. A velocidade deve ser de 100 mm/min.

Foram realizados 5 testes de cada tipo dos diferentes nãotecido como indica as normas NF EM 29073-3 e NF EN ISO 13934-1/13.

2.4.2.2 Comportamento Sob Compressão

A espessura das fibras é uma das mais importantes características, pois pode determinar a qualidade do material têxtil produzido por elas. A espessura pode afetar, por exemplo, a rigidez do tecido, tornando-o mais maleável e com uma sensação mais suave. Afeta também na rigidez de torção do fio - quando a finura aumenta, a rigidez de torção do fio diminui proporcionalmente, na reflexão de luz - as fibras mais finas também influenciam no brilho do tecido, na absorção de corantes - a quantidade de corante absorvida depende da quantidade de área de superfície acessível do corante para dado volume de fibras, na facilidade do processo de fiação - a fibra fina conduz a uma maior coesão de fibra, e na uniformidade do fio ou tecido

- a uniformidade do fio é diretamente proporcional ao número de fibras na secção transversal do fio [KUSHAL, 2016]. Por esses motivos, interessou-se no teste de compressão.

O princípio do teste KES-FB3 Kawabata é medir o comportamento sob compressão de materiais delicados e pequenos como feixes de fibras, fios e tecidos [MANUAL KES-FB3]. Nos ensaios, utilizou-se o instrumento de compressão KES-FB3 (KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto - Japão, nº 9011101CT).

Para medir o comportamento de compressão o aparelho deve ser regulado segundo as recomendações do manual KES-FB3. A figura 26 mostra o o princípio do aparelho e a figura 27 mostra o aparelho em funcionamento.

Figura 26. Placa de pressão e suporte da amostra do aparelho KES-FB3 (a); Amostra sob compressão (b) [MANUAL KES-FB3 adaptado pela autora].

Figura 27. Instrumento KES-FB3 de determinação da espessura (KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto - Japão, nº 9011101CT).

Foram realizados 10 testes de cada tipo de fibra e cada amostra (2 cm² de zona de compressão) foi comprimida até atingir a pressão de 50cN/cm² (Gráfico 1). O deslocamento do aparelho em relação ao material foi de 5mm e a velocidade de 0,05m/s [MANUAL KES-FB3]. O gráfico da curva de deslocamento é mostrada na figura 28.

Figura 28. Curva de compressão do KES-FB3.

Para calcular a compressibilidade do material, utiliza-se a fórmula Eq. 7 [MANUAL KES-FB3]:

$$EMC = \frac{T_0 - T_M}{T_0} \cdot 100$$

Onde:

(Eq. 5)

T_0 = Espessura da amostra medida a 50 Pa, mm;

T_M = Espessura da amostra medida a 5000 Pa, mm;

WC = Energia de compressão, gf.cm/ cm²;

RC = Resiliência de compressão, %;

LC = Linearidade de compressão;

EMC = Compressibilidade, %.

Para a determinação da espessura dos não tecidos de acordo com as diferentes pressões sofridas a norma ISO 5084/96 foi utilizada no aparelho Sodemat 10, fabricação francesa (Figura 29). Para os não tecidos esse aparelho é mais recomendável, pois possui uma superfície de leitura

maior (5 cm^2) que o KES-FB3 (2 cm^2). O princípio desse ensaio é medir a espessura de um não-tecido ligando a distância da placa sobre a qual a amostra é depositada e uma massa de pressão paralela, exercendo, assim, uma determinada pressão sobre a superfície desejada [ISO 9073-2/97].

Figura 29. Aparelho de compressão com diversas possibilidades de massas.

Segundo o manual de utilização do equipamento, obtém-se 1 KPa de pressão utilizando a massa de número 3; 2 KPa para a massa de número 4; 5 KPa para a massa de número 5; 10 KPa para a massa de número 6 e 12 KPa para a massa de número 6+4.

A leitura dos resultados deve ser feita após 30 segundos de funcionamento até que se alcance completa estabilidade.

Em ambos os ensaios (condutividade térmica e espessura) para cada um dos 5 não-tecidos de cada fibra de cada animal, realiza-se 6 medições em lugares diferentes para obter um resultado mais realista possível.

2.4.2.3 Teste de Molhabilidade Sob Compressão

O teste de molhabilidade sob compressão da gota por uma força externa é bem recente e eficaz. Basicamente uma gota de água de $5 \mu\text{L}$ é depositada cuidadosamente na superfície da pena (vexil) através de uma pipeta. A gota de aproximadamente 2mm de diâmetro permite abranger uma escala suficiente de superfície rugosa na pena. O interesse neste teste por compressão de gotas está na verificação da permeabilidade do líquido em contato com forças mecânicas, como por exemplo na análise de um produto em contato com objetos. Além do mais, este teste permite analisar a molhabilidade de um líquido após uma compressão, analisando assim, a

permeabilidade da gota apenas sobreposta na pena e a permeabilidade da gota sob compressão. A figura 30 mostra o dispositivo experimental.

Figura 30. Dispositivo experimental para a medição do ângulo de contato estático [MELKI, 2014].

A gota é comprimida com um dispositivo do aparelho Kawabata (funcionamento do aparelho explicado no item 3.1.4.2) que possui 2cm^2 de superfície o qual foi recoberto por uma película de Téflon a fim de que seja menos umedecido (Figura 31). O dispositivo desce ao encontro da pena com uma velocidade de $0,2\text{ mm.s}^{-1}$ comprimindo a gota até alcançar a força de $0,2\text{N}$ correspondendo à uma pressão de 1 KPa .

Finalmente a imagem da gota em compressão e relaxação foi capturada via uma vídeo-câmera (IDS UI-1485LE-M; Stemmer Imaging) e transmitida para o software uEye Cockpit. Capturou-se 3 imagens e com o software VirtualDub foi possível selecionar as imagens dos teste antes e após a compressão [MELKI, 2014]. A figura 31 mostra o dispositivo comprimindo a gota.

Figura 31. Dispositivo comprimindo a gota de água [MELKI, 2014].

Utilizou-se o software de tratamento de imagem ImageJ combinado à um método de interpolação Dropsnake para calcular o ângulo de contato do lado direito (θ_d) e o ângulo de contato do lado esquerdo (θ_e) onde o ângulo de contato estático ou ângulo de molhamento (θ^*) - ângulo formado entre a interface sólido/ líquido e a interface sólido/ gás - é a média entre (θ_d) e (θ_e) [MELKI, 2014] Figura 32.

Figura 32. Modelização do ângulo de contato de uma gota pelo modelo matemático de Young-Laplace [UFPI, modificado pela autora].

Calcula-se o ângulo de molhamento pela seguinte equação:

$$\theta = 90 - \tan^{-1} \left(\frac{r - b}{\sqrt{2rb - b^2}} \right)$$

Se:

(Eq.6)

$\theta = 0^\circ$ a superfície é altamente hidrofílica;

$\theta < 90^\circ$ a superfície é hidrofílica;

$\theta \geq 90^\circ$ a superfície é hidrofóbica;

$\theta > 140^\circ$ são super hidrofóbicas.

A tabela 8 apresenta a classificação dos ângulos de contatos de acordo com cada tipo de superfície [MELKI, 2014].

Tabela 8. Classificação dos ângulos de contatos da superfície dos materiais.

Ângulo de Contato (θ)	Tipo de Superfície
0	Superhidrofílico
> 30	Hidrofílico
30-90	Intermediário
90-140	Hidrofóbico
+140	Superhidrofóbico

2.4.3 Caracterização Térmica

2.4.3.1 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 com capacidade de 137 litros, 1,7 kgf/cm², sob condição de livre encolhimento [SEAWRIGHT, 2013]. 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 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 33). Uma segunda medida é efetuada, sob condições idênticas, após o feixe ter sido submetido a um tratamento térmico em água à fervura durante 15 minutos. A alteração do comprimento foi calculada em porcentagem em relação à medida inicial. Para o experimento, utiliza-se 5 corpos de prova de cada tipo de fibra. O comprimento do feixe deve ser o mais longo possível, permitido pelo material fibroso [SEAWRIGHT, 2013].

Figura 33. Suporte para o banho de fervura (a) e autoclave (b) (FABBE – 3707 SV 006, 2012).

2.4.3.2 Condutividade Térmica

O método utilizado para os testes de condutividade térmica não se baseia em normas regulamentadas, mas sim no sistema Kawabata (*Kawabata Evaluation System* - KES) desenvolvido pelo professor Sueo Kawabata da Universidade de Kyoto do Japão em 1970.

Este sistema mede várias propriedades mecânicas: KES-FB1 (Propriedades de tração e corte), KES-FB2 (Propriedades de flexão simples), KES-FB3 (Propriedades de compressão), KES-FB4 (Propriedades de superfície) e KES-FB7 (Propriedades térmicas) [NOGUEIRA, 2011].

Nos ensaios, utilizou-se o instrumento de medida e precisão de propriedades térmicas KES-F7 [KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto - Japão, nº 9310521TL].

Para medir a constante de condutividade térmica (fluxo de energia elétrica em Watt) com o aparelho KES-F7 primeiro faz-se circular água em temperatura ambiente (21°C) no “*Water-Box*” (1). Amostras de 5cm x 5cm devem ser colocadas na superfície “*Water-Box*” aquecida à 31,3 °C (2) e a placa B.T. Box à temperatura (10 °C a mais que a temperatura do local) de 31 °C deve ser acoplada em cima das amostras (3). Após 1 minuto o valor de W é determinado em °C [MANUAL KES-F7] (Figura 34).

Além do mais, utiliza-se o princípio da placa de aquecimento protegida, ou seja, existe uma área ao redor da placa aquecida que não permite que o calor se dissipe com a temperatura condicionada do laboratório.

Figura 34. Instrumento KES-F7 de medição do fluxo de energia elétrica [KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto – Japão, nº 9310521TL].

Calcula-se a condutividade térmica pela fórmula Eq. 6 [MANUAL KES-FB3]:

$$K = \frac{W \cdot h}{S \cdot \Delta T}$$

Onde:

(Eq. 7)

K = Condutividade Térmica, W/cm °C;

W = Fluxo de energia elétrica, W;

h = Espessura, mm;

S = Superfície, cm²;

ΔT = Diferença de temperatura entre as placas, °C.

2.4.3.3 Comportamento ao Fogo

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

2.4.3.3.1 Teste de 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), cor da cinza e odor.

O comportamento das fibras de penas em combustão deve ser observado utilizando uma pequena porção de fibras (aproximadamente 2g) condicionadas, uma pinça de laboratório e um bico de bunsen. As fibras devem ser queimadas durante 10 segundos [NAYAK, 2012].

Analisa-se:

- Tipo da chama (tonalidade da cor e intensidade);
- Cinza (tonalidade da cor);
- Comportamento da fibra aproximando da chama;
- Combustão (queima, fusão e retraimento da fibra);
- Comportamento da fibra em contato com a chama;
- Odor (papel ou madeira queimada, pelo queimado, vinagre, salsa verde, etc.);
- Comportamento da fibra retirando da chama ou fusão (lenta, média, rápida).

Com relação ao odor e ao comportamento do material aproximando-o da chama, em contato com a chama e retirando-o da chama, a tabela 9 apresenta os tipos de comportamentos das principais categorias de fibras têxteis.

Tabela 9. Identificação de fibras têxteis pela técnica de combustão [SOUZA, 2011; MACEDO, 2012].

Fibras	Odor	Comportamento aproximando da chama	Comportamento em contato com a chama	Comportamento retirando da chama
<i>Proteicas</i>	<i>Pelo/ cabelo queimado</i>	<i>Funde e enrola</i>	<i>Queima devagar com pouco de fusão</i>	<i>Queima muito devagar. Às vezes apaga</i>
Celulósicas naturais e regeneradas	Papel queimado	Não funde, nem encolhe	Queima rapidamente sem fundir	Continua a queimar sem fundir
Polietileno e polipropileno	De parafina	Funde e encolhe	Queima devagar com fusão	Apaga-se sozinho
Acetato e triacetato	De vinagre, acre e picante	Funde lentamente e retrai longe da chama	Queima lentamente com fusão	Continua a queimar com fusão
Poliamida	De salsa verde (plástico queimado)	Funde e encolhe	Queima devagar com fusão	Apaga-se sozinho
Acrílica	De peixe podre, acre e picante	Funde lentamente	Queima com fusão com chama amarela e azul	Continua a queimar com fusão
Poliéster	De leite queimado	Funde e encolhe	Queima devagar com fusão e exala fumaça preta	Apaga-se sozinho

Seguem na tabela 10 os tipos de combustão, fusão, odor e resíduo de acordo com cada fibra têxtil, empregada hoje, no mercado.

Tabela 10. 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

2.4.4 Caracterização Acústica: Coeficiente de Absorção

O coeficiente de absorção acústico indica quanto de som é absorvido pelo material. Pode ser expresso em alfa - α (intensidade de som absorvida dividida pela intensidade de som incidente – em Hertz (Hz) – é o número de período de oscilações por segundo. O coeficiente é expresso de 0,00 a 1,00 onde 0,00 representa a ausência de absorção e 1,00 representa total absorção sonora. O coeficiente é classificado como segue na tabela 11.

Tabela 11. Classificação do Coeficiente de Absorção Sonoro.

α_w	Classificação do Coeficiente de Absorção Sonoro
0,90 to 1,00	A
0,80 to 0,85	B
0,60 to 0,75	C
0,30 to 0,55	D
0,10 to 0,25	E
0,00 to 0,09	Sem classificação

Os equipamentos utilizados foram dois tubos de Impedância ou Kundt (o primeiro fabricado pela Universidade Federal de Santa Catarina no Brasil e o outro pelo CTTM - *Centre de Transfert de Technologie du Mans* na França), um software (Pulse LabShop 12 – B&K), um

amplificador (B&K 2619), um analisador de sinais com 6 canais (B&K) e 2 microfones de ½” (B&K 4189) (Figura 35).

Figura 35. Tubo de Kundt do Brasil (a) suporte do tubo com as fibras de pena posicionadas (b) e Tubo de Kundt com suporte para o teste do coeficiente de absorção da França (c).

As normas técnicas utilizadas são ASTM E1050, ASTM C384-04/11, NF EN ISO 10534-1/03 e NF EN ISO 10534-2/03. Segundo a empresa DHJ International o aparelho foi construído para atender as exigências da norma ISO 10534-2/03.

Segundo Mareze (2013) “o princípio de funcionamento baseia-se na propagação de ondas planas ao longo do tubo e na medição da pressão sonora em duas posições distintas”. Desta forma, o objetivo é calcular o coeficiente de absorção sonora nos diferentes materiais.

O tubo possui da França possui 45 mm de diâmetro, o qual permite a medição acústica de frequência entre 200 Hz a 4,2 KHz, 2 microfones juntos ao tubo, um porta-amostra com profundidade regulável e um software para leitura dos resultados (Figura 35 - c). Detalhadamente, o tubo de impedância do Brasil é constituído de uma fonte de som

(gravação de ruído) de uma das extremidades do tubo (feito de metal) e de um porta-amostra de 20mm na outra extremidade como na figura 36.

Figura 36. Diagrama esquematizado do tubo de impedância com dois microfones do método função-transferência. Onde; (1) Terminação rígida; (2) Teste da amostra; (3) e (4) Microfones e (5) Auto-falante [GASSO-TORTAJADA et al., 2010].

O auto-falante produz ondas sonoras aleatórias, contínuas e homogêneas que se propagam como ondas planas na parte de baixo do tubo. As ondas atingem a amostra e refletem o som, o qual é captado pelos microfones. Os microfones podem mudar de posição ao longo do tubo, explorando as ondas sonoras em diversas escalas de comprimento. A propagação, o contato e a reflexão das ondas sonoras resultam em um padrão permanente de interferência da onda devido à sua superposição as quais se locomovem dentro do tubo para frente e para trás [HODA et al., 2013]. Com o software apropriado (Pulse LabShop 12) os sinais sonoros foram filtrados, amplificados e gravados para análise posterior [ASTM C384-04, 2011].

As propriedades de impedância acústica de um material de absorção do som estão relacionadas com as suas propriedades físicas, tais como resistência ao fluxo de ar, porosidade, elasticidade, e densidade [ASTM C384-04, 2011].

Ao calcular a pressão sonora nas duas localidades fixas e calcular a função de transferência complexa usando um analisador de frequência digital de seis canais, é possível determinar a absorção do som e o complexo coeficiente de reflexão e impedância acústica normal do material. A faixa de frequência utilizada depende do diâmetro do tubo e do espaço entre a posição dos microfones [HODA et al., 2013].

Devido às dimensões do tubo, a certa distância do alto-falante, pode-se considerar o campo acústico composto por ondas planas e a superposição das ondas incidentes e refletidas formam uma onda estacionária. Medindo-se os valores absolutos dos máximos e mínimos de pressão, pode-se obter o módulo do coeficiente de reflexão, e medindo-se as distâncias da superfície das

amostras em que esses máximos e mínimos ocorrem, pode-se calcular a fase do coeficiente de reflexão [ASTM E1050, 2012].

O tubo de impedância é constituído de metal, plástico e cimento ou outro material que possua baixa propriedade de absorção sonora. A secção transversal do tubo pode ser circular ou retangular desde que seja uniforme do começo ao fim. O tubo deve ser feito em linha reta ou curva, possuir a superfície lisa, não porosa e livre de quaisquer detritos para manter a atenuação do som devido a curta distância do tubo. O interior do tubo deve ser selado com tinta, epoxy e as paredes devem ser sólidas e rígidas suficientemente para que a energia da propagação do som através delas seja insignificante [ASTM C384-04, 2011].

Segundo a norma ASTM C384-04/2011 para a aplicação do teste acústico, necessita-se de 3 amostras uniformes, já que, a medição pode ser fortemente influenciada pela irregularidade das amostras. Caso as fibras não sejam irregulares, o número de amostras pode ser aumentado de acordo com a necessidade. As penugens não foram testadas por causa de limitações do equipamento.

A amostra deve ter exatamente o mesmo formato e área que a secção transversal do tubo e devem estar bem encaixadas no suporte apropriado, nem tão serrado e nem tão folgado de maneira que haja um espaço entre a borda e o suporte.

A amostra deve ser posicionada na terminação rígida (1). O campo acústico é formado pela distância entre a terminação rígida (1) e o auto-falante ou fonte sonora (5).

É importante mencionar que o tubo de Kundt não é fidedigno quanto a Câmara Reverberante. No entanto, escolheu-se esse procedimento porque o tamanho das amostras não é grande o suficiente para ser usado na Câmara Reverberante.

No entanto, neste ensaio utiliza-se 3 corpos de prova para as fibras e 5 nãotecidos de cada fibra para o teste de nãotecidos e realiza-se 6 medições em lugares distintos em cada nãotecido.

Segunda Parte

A segunda etapa é integrada ao desenvolvimento de uma manta de nãotecido com o material já caracterizado na primeira etapa.

2.5 Produção dos Nãotecidos

O processo escolhido para a fabricação de nãotecidos é o processo por via seca e entrelaçamento mecânico utilizando a agulhadeira. A agulhadeira produz mantas porosas através do emaranhamento e da compressão de fibras individuais [NF EN ISO 11111-3/2005]. A imagem 37 mostra claramente a agulhadeira, suas partes e os movimentos das agulhas.

Figura 37. Agulhadeira e suas divisões (a) (European Disposables and Nonwovens Association, 2003) e movimento de entrada e saída das agulhas sobre as fibras de pena (b)

A manta é formada, portanto, através do emaranhamento mecânico das fibras graças às centenas ou milhares de agulhas com garras que perfuram repetidamente para dentro e para fora das fibras (Figura 37 – b). No momento em que as agulhas atravessam a manta, as garras entrelaçam algumas fibras e as removem por meio de outras fibras. As agulhas se levantam até a superfície consolidando, desta forma, o nãotecido.

Assim, para a confecção do nãotecido de penas por entrelaçamento uma metodologia própria foi desenvolvida. Utilizou-se uma agulhadeira (Modelo: Oskar Dilo Maschinenfabrik) (Figura 37) para a fabricação de nãotecidos de polipropileno (Fabricantes: Fiberweb France e Wigofil) para servir de suporte para as fibras.

Para a preparação do suporte, primeiramente, cortou-se duas camadas de 1,30m por 50cm de nãotecido branco de 15g/m² em polipropileno e com uma caneta de feltro fez-se um retângulo

de 10cm por 15cm. As fibras de penas foram depositadas entre as duas camadas de poliéster (formando um “sanduíche” de polipropileno – fibra de penas – polipropileno) a fim de servir de suporte para que elas não caiam na esteira da agulhadeira e para que elas não se dissipem. As fibras foram previamente separadas da ráquis e pesadas em uma balança eletrônica (Modelo: Mettler PR 1200/3, ano: 1976). Um plano de experiência foi estabelecido para a fabricação dos nãotecidos (Tabela 12).

Tabela 12. Plano de experiência dos nãotecidos de pena e de penugem de frango, pato, peru e ganso.

Massa/ Massa por unidade de medida	2g/ (133 g/m²)	4g/ (267 g/m²)
Fibras		
	Pena de frango	Pena de frango
	Penugem de frango	Penugem de frango
		Penugem de frango cortada
	Pena de pato	Pena de pato
	Penugem de pato	Penugem de pato
		Penugem de pato cortada
	Pena de peru	Pena de peru
	Penugem de peru	Penugem de peru
		Penugem de peru cortada
	Pena de ganso	Pena de frango
	Penugem de ganso	Penugem de ganso
		Penugem de ganso cortada

Nota-se na tabela 13 que para cada tipo de animal foram confeccionados 5 tipos de amostras diferentes - pena 2g, penugem 2g, pena 4g, penugem 4g e penugem cortada 4g. A fim de obter uma amostragem representativa de cada nãotecido, foram fabricados 5 tecidos de todas amostras de cada animal citadas na frase anterior.

Em resumo, obtêm-se três estruturas de cada animal, à saber: pena (2g e 4g), penugem (2g e 4g) e penugem cortada em três partes (4g). Por razões didáticas, a figura 38, apresenta a estrutura da penugem cortada sempre em três partes iguais.

Figura 38. Penugem cortada em três partes iguais.

A produção dos não tecidos foi realizada com velocidade de 250 rpm, velocidade de avanço da esteira de 1,66 cm/seg, número de agulhas de 3cm² e número de inserção das agulhas nas fibras de 250/min. Esta velocidade foi escolhida para que as fibras não se dissipassem para fora da área demarcada (10cm por 15cm). Além do mais, para se assegurar que as fibras não se desloquem da área desejada foi necessário costurar as bordas de demarcação. A figura 39 mostra as etapas de produção na agulhaderia.

Figura 39. Amostra de fibras de frango acopladas entre duas camadas de polipropileno (a); entrada da amostra na agulhadeira (Modelo: Oskar Dilo Maschinenfabrik) (b); agulhadeira e saída da amostra (c) amostra no cilindro de saída e placa com agulhas.

Terceira Parte

Na terceira etapa é desenvolvido um novo método de extração de queratina das penas.

2.6 Extração da Queratina

Os testes foram realizados a temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ e a umidade relativa de $65 \pm 4\%$ [ISO 139/2005 e NBR 8428/84].

Alguns processos de extração de queratina foram testados. Sobretudo o mais utilizado em artigos científicos (item 2.3.4.). Porém, o processo mais eficaz foi inspirado no trabalho de Hamouche (2012). Neste trabalho extrae-se a queratina da lã utilizando Hidróxido de Sódio (NaOH). Basicamente, para a extração, acrescenta-se água destilada, penas inteiras e 2% de concentração de sódio. Utiliza-se a mesma massa para o sódio e para as penas. Por exemplo, caso se utilize 5g de sódio, também se utilize 5g de penas (Figura 40 - a).

A solução foi aquecida a uma temperatura de 35°C por 48h. E filtrada com um filtro de Buchner em porcelanato com um filtro em papel de $16\mu\text{m}$ em seu interior para eliminar todas as fibrilas que não foram totalmente solubilizadas (Apêndice I. 8. 1.). A solução foi, então, secada em uma placa elétrica à temperatura de 70°C durante 24h. Desta forma, obteve-se um produto em pó; a queratina (Figura 40 - b). Observa-se que o melhor ensaio foi o de número 9 da tabela 13. O processo além de simples é ecológico e de baixíssimo custo.

Figura 40. Solução de hidróxido de sódio com penas (a) e queratina em pó (b).

Depois dos ensaios preliminares, efetuou-se o ajustamento dos parâmetros para que se encontre o método de extração mais eficaz. Para todos os ensaios de ajustamento utilizou-se 1g de pena e pH entre 10 e 13. A tabela 13 mostra os diferentes testes realizados.

Tabela 13. Testes realizados para definir os melhores parâmetros da extração.

Ensaio	Solução de NaOH (%)	Estrutura da pena	Temperatura (°C)	Tempo (h)
1	0,5	Ráquis de penugem cortada	30	24
2	1	Fibra de pena cortada	30	24
3	2	Penugem e pena cortada em 2 partes	30	24
4	2	Fibra de pena cortada	Ambiente	48
5	2	Fibra de pena cortada	40	06
6	3	Penugem e pena cortada em 2 partes	30	24
7	5	Penugem e pena cortada em 2 partes	30	24
8	10	Ráquis de penugem cortada	30	24
9	2	Pena ou penugem inteira	35	48

Os filtros em papel utilizados variaram de 20 μ m, 16 μ m, 25 μ m e um filtro de café também foi utilizado. A filtração foi realizada a vácuo de modo que a solução seja filtrada por completo. A importância da filtração em alguns testes foi essencial para retirar as partes que não se dissolubilizaram.

2.6.1 Caracterização da Queratina

2.6.1.1 Espectroscopia de Infravermelho

A espectroscopia permite determinar a natureza de diferentes componentes de um produto. Ela é baseada na absorção de um raio de infravermelho pelo material analisado. Assim, por meio da detecção de vibrações características, é possível realizar a identificação de funções químicas - grupo de substâncias compostas que possuem propriedades químicas semelhantes – acessando, assim, a estrutura molecular dos materiais analisados. As amostras podem estar em estado sólido (massivo ou filme), líquido ou gasoso [DALIBART, 2000].

No aparelho um laser é orientado sob o objeto e um captor recupera o feixe. O aparelho em seguida analisa o comprimento de ondas absorvidas (no teste de absorção) ou o comprimento de ondas transmitidas (no teste de transmissão) em comparação à referência (feixe separado). Essas duas curvas são simplesmente invertidas e fazem aparecer picos à certos comprimentos de ondas.

O gráfico com o espectro identifica desta forma, os grupos funcionais responsáveis pelas absorções/transmissões observadas. Assim, o software poderá traçar comparações dos resultados.

Para a identificação dos componentes da pena, da água e da queratina, utilizou-se a espectroscopia de infravermelho (Figura 41). Desta forma, a pena e a queratina transformada em pó foram analisadas por Electrospina com um aparelho (Modelo Platinum ATR Vertex 70 marca Bruker em micro-ATR.) que mede espectros no intervalo de números de onda de 400 a 4.000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} em temperatura controlada.

Figura 41. Análise de Espectroscopia por Infravermelho (Modelo Platinum ATR Vertex 70 marca Bruker em micro-ATR).

Depois do teste, podem-se analisar as curvas de absorção de cada produto testado e compará-las com os picos de absorções da queratina encontrados na literatura (Figura 42).

Figura 42. Espectro infravermelho da queratina de pena de frango (WANG, 2012).

Quarta Parte

Na quarta etapa, a queratina extraída é filada no electrospinning, desenvolvendo, assim, nanofibras a partir desse material.

2.7 Considerações Sobre o Processo de Electrospinning

Eletrospinning é a técnica mais utilizada para a produção de nanofibras (fibras com diâmetro entre 100 nm e 1 μ m). Essa técnica é aplicada com polímeros naturais ou sintéticos [WENDORFF et al., 2012].

Para a produção de nanofibras por electrospinning uma alta voltagem é aplicada em um polímero fluido. Diferentemente da fiação convencional onde a fibra é gerada através de uma tensão mecânica, no eletrospinning a força de tensão é gerada pela interação de um campo eletrostático onde a solução polimérica é induzida pelo efeito eletromagnético. O polímero sai de uma agulha metálica acoplada em uma seringa para uma placa à distância regulável e forma nanofibras devido à alta voltagem. Um dos eléctrodos da fonte de alta tensão está ligado à agulha para carregar a solução e o outro eletrodo está conectado ao colector. Uma gota de solução do polímero é suspensa na ponta da agulha. A área de carga elétrica supera a tensão da gota e um jato eletricamente carregado é emitido. O jato passa da ponta da agulha ao coletor que é uma folha de alumínio. Entre a agulha e o coletor, as nanofibras são submetidas a um efeito de “esticamento”. Primeiramente, um estiramento radial causada pela repulsão entre as cadeias de polímeros carregadas positivamente e em segundo lugar um estiramento longitudinal causado pela alta atração elétrica do coletor. A corrente elétrica no jato de polímero carregado faz com que as fibras se dobrem de tal forma que, cada vez que elas se enrolam, o diâmetro se reduz. Finalmente, as fibras são coletadas em forma emaranhada na superfície do suporte [RAMAKRISHNA, 2005] [KHENOUSSI et al, 2012].

Segundo Khenoussi (2012) o polímero usado para a obtenção de nanofibras é o parâmetro mais importante para a definição das propriedades do produto final. Além do mais, uma grande variedade de soluções com diferentes polímeros podem ser usadas nesse processo. As nanofibras e nanofilamentos podem ser desenvolvidas em vários formatos - filamentos ocos e filamentos ramificados - dependendo do polímero e dos parâmetros de fiação.

A figura 43 - a mostra o Electrospinning construído no *Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles* (LPMT). A figura 43 - b apresenta um diagrama esquemático do processo de electrospinning.

Figura 43. Electrospinning construído no LPMT (a) Diagrama esquemático do processo de electrospinning (b) [VON RECUM LAB].

As partes do electrospinning consistem em: agulha metálica acoplada em uma seringa completa de solução polimérica, fonte de alta tensão e coletor para depositar as fibras.

Na filagem com o electrospinning é necessário o ajuste de alguns fatores, tais quais: o solvente adequado para compor a solução polimérica, a concentração da solução para nanopartículas e nanofibras, a viscosidade para determinar a morfologia da fibra, a voltagem para ajustar a linearidade do jato polimérico, o fluxo de evasão da solução o qual permite a variação do diâmetro da fibra, o coletor e sua distância a qual afeta o diâmetro e a morfologia da fibra, o ambiente que também pode afetar no diâmetro e na morfologia da fibra [LI et al., 2013].

Por isso, efetuou-se o ajustamento dos parâmetros para que se encontre o método de filagem mais propício e de melhor qualidade. A tabela 14 mostra os diferentes testes realizados.

Tabela 14. Testes realizados para definir os melhores parâmetros da filagem por electrospinning.

Ensaio	Concentração (%)	Voltagem (kV)	Distância do coletor (cm)	Diâmetro da agulha (mm)	Taxa de Fluxo (mL/h)	Tempo (min)
1	8	20	20	0,60	0,10	15
2	8	18	20	0,60	0,10	30
3	8	20	20	0,45	0,10	30
4	8	15	20	0,45	0,10	30
5	8	20	20	0,45	0,05	30
6	8	30	20	0,45	0,05	30
7	17	30	20	0,45	0,05	30
8	17	30	15	0,45	0,05	30
9	17	28	10	0,45	0,05	30
10	17	28	20	0,45	0,05	30

O solvente utilizado para a obtenção de nanofibras foi o ácido fórmico pois, é o solvente mais utilizado em polímeros queratinoso. Fundamentalmente, a queratina em pó foi dissolvida no ácido fórmico em concentrações de 8% e 17%. A mistura foi feita em uma placa aquecida a 30°C por 24h para certificar a homogeneidade e a viscosidade da solução.

As amostras de nanofibras foram, então, analisadas no MEV para a verificação das características das nanofibras de queratina produzidas.

2.7.1 Processos de Caracterização

2.7.1.1 Caracterização Microscópica

Como explicado no item 3.1.3. a morfologia das nanofibras também pode ser caracterizada pelo MEV [RAMAKRISHNA et al., 2005]. O método mais convencional para analisar o diâmetro das nanofibras é pelo estudo das microscopias, onde, através de um software, os diâmetros são medidos manualmente. Esse método consiste em determinar o comprimento do pixel da imagem (escala de medida), identificar os diâmetros das nanofibras nas imagens e calcular a medida perpendicular à direção fibra-axe convertendo os pixels em μm [HAGHI, 2012]. Portanto, analisou-se a textura, porosidade e convoluções do polímero de queratina e das nanofibras de maneira a comparar com a literatura. Para isso, 50 diâmetros para cada uma das 4 amostras de maior concentração foram medidas. As ampliações realizadas foram: 4.000, 8.000 e 15.000 vezes o tamanho original da amostra.

Quinta Parte

Finalmente, a quinta etapa é organizada por análises estatísticas.

2.8 Análises Estatísticas

O estudo estatístico é fundamental para analisar as diferenças entre grupos testando a mesma variável. Permite também de confrontar os modelos probabilísticos com a realidade observada [SUQUET, 2003].

Segundo Saporta (2002), a análise de dados estatísticos tem por finalidade identificar as similaridades ou diferenças entre indivíduos, observando, a ligação entre os caracteres.

Segundo Veyseyre (2014) os testes estatísticos podem ser classificados em: (a) *testes paramétricos* ou testes sobre uma hipótese relativa a um valor particular de um ou vários parâmetros; (b) *teste de ajustamento* ou teste de conformidade entre duas distribuições- distribuição teórica e distribuição experimental; (c) *teste de comparação* de duas populações (comparação de médias, variâncias, etc.); (d) *teste de independência* de dois caracteres quantitativos e qualitativos.

Além do mais, os diferentes métodos da análise de dados têm por finalidade:

- Explicar um fenómeno para encontrar uma ligação – funcional ou não – entre uma ou várias variáveis explicadas e uma ou várias variáveis explicativas. Esse método é chamado de método explicativo ou método de análise de dependência;
- Descrever e resumir as informações obtidas. Método chamado de método descritivo;
- Analisar e resumir as informações obtidas. Método chamado de método de previsão [VEYSSEYRE, 2014].

É importante notar que para cada ensaio realizado os indivíduos foram selecionados aleatoriamente como citados anteriormente no tópico 3.1.2.3, e, que os softwares utilizados para o estudo estatístico foram o Minitab 17 e o JMP 11.

2.8.1 Representação Numérica dos Dados

Segundo Veyseyre (2014), uma série de dados pode ser resumida por qualquer valor numérico chamados de características de séries estatísticas. Existem duas classificações: (1) características de tendência central e (2) característica de dispersão.

2.8.2 Características de Tendência Central

Essas características dão uma idéia de ordem de grandeza. As principais características da tendência central são: média aritmética, mediana e moda.

2.8.3 Média Aritimética

A média é o valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição [ISO 2602/80].

Cálculo da Média:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (\text{Eq. 8})$$

Esta equação é utilizada para n dados não divididos em classes. Além do mais, permite resumir com um só número toda uma série estatística.

2.8.4 Característica de Dispersão

Essa característica quantifica os valores em torno do valor central e permite observar a dispersão da série. Algumas das classificações são; (a) desvio padrão - ou o seu quadrado chamado de variância - (b) coeficiente de variação e (c) amplitude.

2.8.5 Desvio Padrão (σ)

O desvio padrão é a média da soma dos quadrados das diferenças em relação à média aritmética. Indica o quanto de variação ou de dispersão dos dados existe em relação à média; quanto mais dispersos, maior o desvio padrão.

Cálculo do Desvio Padrão:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

2.8.6 Coeficiente de Variação

O coeficiente de variação indica a magnitude relativa do desvio-padrão quando comparado com a média do conjunto de valores. Permite também observar a representatividade da média em relação à totalidade de dados.

Além do mais, o coeficiente de variação é útil para compararmos a variabilidade (dispersão) de dois conjuntos de dados de ordem de grandezas diferentes.

Cálculo do Coeficiente de Variação:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

Onde: (Eq. 10)

C_v = Coeficiente de Variação, %;

σ = Desvio Padrão;

μ = Média.

2.8.7 Modelo de Probabilidade e Aleatoriedade

A teoria de probabilidade apresenta modelos matemáticos permitindo o estudo de experiências os quais os resultados não podem ser previstos com total certeza [SUQUET, 2003].

Um experimento é chamado aleatório se for impossível de prever seu resultado e se repetida em condições idênticas, ela pode resultar, se o experimento for único, resultados distintos. Em geral, os resultados obtidos variam em certo domínio, certos resultados parecem mais frequentes que outros. Eles podem ser visualizados através de diagramas, histogramas, curvas cumulativas de frequência, porém não são previstos com certeza [VEYSSEYRE, 2014].

2.8.8 Intervalo de Confiança

Para avaliar o grau de confiança que se pode ter em uma estimação, é necessário associar um intervalo que contém certa probabilidade e o valor real do parâmetro: estimação por intervalo de confiança [VEYSSEYRE, 2014].

$$\Pr(\theta \in I) = 1 - \alpha$$

Onde: (Eq. 11)

θ intervalo de confiança de um parâmetro

I Intervalo aleatório

$(1 - \alpha)$ é a probabilidade associada ao intervalo para alocar o valor real do parâmetro.

2.8.9 Teste de Aderência: Distribuição Normal ou Gaussiana

A distribuição normal é uma distribuição de probabilidades e uma função matemática usada para descrever o padrão de variação de uma variável contínua. A função matemática que representa a distribuição normal envolve a média e a variância. A curva que a descreve tem forma de “sino” e sua principal propriedade é a simetria em torno da média [PAES, 2009].

Existem testes de hipóteses - testes de aderência - que testam hipóteses sobre a distribuição dos dados. Assim, dada uma amostra aleatória de tamanho n , observada de uma variável aleatória X , testa-se: H_0 : X tem distribuição f vs H_1 : X não tem distribuição f . Desta forma, a metodologia baseia-se na construção de uma função com os dados amostrais, comparando-a com a distribuição teórica de acordo com alguma métrica.

A suposição de que os dados seguem uma distribuição normal é reconhecida pela maior parte dos métodos estatísticos, como o teste t de Student, ANOVA, regressão linear e intervalos de confiança. Este fato somado a resultados teóricos fundamentais faz com que a distribuição normal seja a distribuição teórica mais importante em estatística. A normalidade dos dados pode ser analisada descritivamente por meio de histogramas, box-plots, análise da distância entre média, mediana e coeficientes de assimetria. Além dos métodos descritivos, existem testes de hipóteses que avaliam a normalidade, por exemplo, os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilks, Teste de Ryan-Joiner e Teste de Anderson-Darling [PAES, 2009].

O teste utilizado nesta pesquisa foi o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com o intervalo de confiança de 95%. Utilizou-se o software Minitab (Probability Plot) que pode ser usado para verificar o ajuste de uma amostra a vários tipos de distribuições.

Neste teste compara-se a função de distribuição cumulativa empírica dos dados amostrais à distribuição esperada se os dados forem normais. Se a diferença observada for grande, o teste rejeita a hipótese nula de normalidade da população. Se o valor p deste teste for menor que o alfa escolhido (0,05), pode-se rejeitar a hipótese nula e concluir que a população não é normal [MINITAB, 2015].

2.8.10 Análise de Variância F (ANOVA)

A análise de variância permite testar globalmente o conjunto de todas as amostras (mais de duas amostras) em relação à igualdade das médias [GERMA, 2015]. O objetivo dessa técnica consiste em avaliar se várias médias populacionais são iguais ou se, pelo menos uma, é diferente, por exemplo a variação de diferentes tipos de produtos.

A ANOVA de um fator calcula variações ligadas à apenas um fator. Neste estudo, o fator é a fibra ou o não tecido. Desta maneira, pelo teste de Fisher, calcula-se a variância de interprodutos sobre a variância de intraproductos, ou seja, se a variação entre as séries é mais significativa do que a variação dentro da série.

A estatística de Fisher é calculada da seguinte maneira:

$$F = \frac{S^2 \text{ interprodutos}}{S^2 \text{ intraproductos}}$$

Onde: (Eq. 12)

$S^2 \text{ interprodutos}$ = variância das médias

$S^2 \text{ intraproductos}$ = média de três variâncias

Para a análise ANOVA a seguinte hipótese foi escrita:

$$H_0: \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

H_A : pelo menos uma das médias é diferente

μ = amostra

De acordo com os resultados obtidos toma-se a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese.

$F_{\text{observado}} \geq F_{\text{crítico}} = \text{Rejeita-se } H_0$

$F_{\text{observado}} < F_{\text{crítico}} = \text{Não se rejeita } H_0$

Os resultados da ANOVA um fator são apresentados como na tabela 15.

Tabela 15. Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrados das Médias	Fisher	P Valor
Produto	SQ_e	$Gl_e = K-1$	QM_A	F_A	Valor p
Resíduo	SQ_d	$Gl_d = n-1$			
Total	SQ_t	$Gl_t = n-1$			

2.8.11 Teste de T Student

O teste t de student é utilizado para comparar dois produtos entre eles mesmos. Os valores são essencialmente uma distribuição normal para todas as amostras.

Equação geral do t student :

$$t = \frac{m_v}{ES_v} = m_v \cdot \frac{\sqrt{n}}{s_v}$$

Onde : (Eq.13)

t = valor do t student;

m_v = média;

n_v = número das amostras;

ES_v = erro padrão.

Esta fórmula se aplica para os três tipos de testes t para amostras únicas, emparelhadas e independentes.

Entre os testes paramétricos existe o teste para amostras emparelhadas. Utiliza-se este teste quando, para a mesma amostra, mede-se o antes e o depois de um evento. Na hipótese do teste compara-se os valores da diferença entre os pares analisados.

2.8.12 Análise de Médias por Pares de Círculos

A análise de multicomparação de médias por pares de círculos t-student deve ser executada apenas se o resultado seguir uma distribuição normal e não deve existir uma diferença significativa entre o desvio padrão de ambas as populações das amostras.

O software utilizado desenvolve análises, as quais são acompanhadas com os círculos de comparações que ilustram graficamente as diferenças e semelhanças dos grupos testados.

Basicamente se os círculos dos diferentes grupos não se sobrepõem, as médias dos dois grupos são, geralmente, significativamente diferentes. Se os círculos têm uma grande sobreposição, as médias não são significativamente diferentes (Figura 44).

Figura 44. Comparação visual entre as médias dos diferentes grupos através do t-student teste (a) e ângulos de intersecção por cada par (b).

Verifica-se no gráfico 2 - a, que a linha horizontal centralizada no gráfico é a média de todos os dados. Para a análise é necessário comparar cada par de resultados examinando os ângulos de intersecção dos círculos comparados (Gráfico 2 - b). Portanto, o ângulo de intersecção mostra quais médias são significativamente diferente uma das outras.

Interpretando os ângulos de intersecções, constata-se que: (a) círculos de médias que são significativamente diferentes, não se intersectam entre si ou se intersectam de maneira susceptível. Assim, o ângulo de intersecção deve ter menos de 90 graus; (b) as médias de círculos intersectados por um ângulo de mais de 90 graus não são significativamente diferentes entre elas e (c) se o ângulo de intersecção é maior ou próximo de 90 graus, as médias não são significativamente diferentes entre elas.

Percebe-se que o tamanho do círculo está ligado à variabilidade dentro do grupo. O diâmetro do círculo forma 95% de intervalo de confiança da média do grupo. Círculos com maiores diâmetros representam grupos que possuem maior variabilidade.

Observa-se também que os círculos são ordenados verticalmente, do topo à base, de acordo com a média do grupo estudado. Os círculos que se encontram no topo possuem médias mais altas e os círculos que se encontram na base possuem médias menores. O centro de cada círculo corresponde à média do grupo [SCHLOTZHAUER, 2007].

Ainda segundo Schlottzhauer (2007) o teste de comparação de círculos também pode ser usado para grupos com diferentes tamanhos.

2.8.13 Nuvens de Pontos na Correlação de Pearson

Utiliza-se o método de nuvens de pontos para conhecer a intensidade da correlação (relação mútua) entre dois parâmetros. O coeficiente de correlação de Pearson - r de Pearson - mede o grau da correlação e a direção dessa correlação entre duas variáveis de escala métrica.

Para isso, verifica-se a densidade da nuvem de pontos (Figura 45). Analisa-se também se a correlação encontrada é de caráter positivo ou negativo (Figura 46).

Figura 45. Correlação perfeita (a), correlação forte (b), correlação fraca (c) e ausência de correlação (d) [LACROIX, 2003].

Verifica-se que quanto mais concentrados são os pontos na reta, maior a correlação será. Logo, quanto mais dispersos os pontos da reta, menor correlação ou mesmo inexistente será.

Figura 46. Correlação positiva (a) e negativa (b) [LACROIX, 2003].

Os pontos (todos os valores estudados) são reunidos dentro de uma elipse. Percebe-se que para uma correlação ser positiva a reta deve estar inclinada para a direita, e para uma correlação ser negativa a reta deve estar inclinada para a esquerda. Assim, quando se tem uma reta positiva os dois valores dos dois parâmetros crescem juntos. Porém se há uma reta negativa enquanto um valor cresce o outro diminui. Além do mais, valores próximos à 0 não possuem uma regressão linear. Desta forma, os pontos muito aberrantes não necessitam ser levados em conta para a concepção da elipse [SCHLOTZHAUER, 2007].

O comprimento e a largura da elipse são medidos e aplicados na equação 12. O coeficiente de correlação (r) possui a seguinte fórmula:

$$r \approx \pm \left(1 - \frac{d}{D}\right)$$

Onde:

(Eq. 14)

r = Coeficiente de correlação;

D = Comprimento da elipse;

d = Largura da elipse.

Para a interpretação do coeficiente de correlação calculado analisa-se a figura 47.

Figura 47. Interpretação do coeficiente de correlação.

Interpretação:

Si $r = 0$: correlação inexistente

Si $r = 1$: correlação positiva e perfeita

Si $r = -1$: correlação negativa e perfeita

Interpretando o coeficiente de correlação, verifica-se:

Si $r =$ exatamente 1, então: $y = ax + b$ (relação linear).

Si $r =$ exatamente - 1, então: $y = ax - b$ (relação linear).

Em todos os outros casos, a análise começa pelo gráfico de nuvem de pontos. Logo, segundo a forma dessa nuvem, o coeficiente pode ou não ter significância. A nuvem, por exemplo, pode ser bem heterogênea ou seja, sem ligação linear [VEYSSEYRE, 2004].

2.8.14 Análise de Regressão

Todas as vezes que houver um valor de p tem-se um teste de hipótese. Todos os testes de hipóteses partem de um pressuposto que todos possuem uma hipótese nula. O teste de hipótese nula é $H_0: \rho = 0$, ou seja, não existe uma correlação linear e significativa.

Os métodos de regressão consistem em encontrar uma relação linear ou não entre uma variável explicada e uma ou mais variáveis explicativas. O ajustamento é obtido pelo método dos mínimos quadrados. Os quais são utilizados quando todas as variáveis explicativas são também quantitativas [VEYSSEYRE, 2014].

O caso mais importante na análise de regressão é quando se obtém uma regressão linear ($E Y/X = \alpha + \beta X$). Essa propriedade é verificada si o par de variáveis (X, Y) é um par gaussiano. A equação da linha ou do modelo linear de regressão simples é:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

Onde: (Eq. 15)

α e β = parâmetros do modelo;

ε = resíduo aleatório.

A variável y é uma variável aleatória, porém a variável x não é aleatória. Ela é uma variável medida sem erros ou em níveis fixos. Cada valor de y_i é a soma de dois termos ($\alpha + \beta x_i$) não

aleatório e um componente aleatório ε_i . O cálculo dos coeficientes α e β é: $(Y - E(Y) = \beta [X - E(X)] + \varepsilon)$ [VEYSSEYRE, 2014].

Basicamente, para se obter uma linha de regressão, basta traçar uma reta no centro da nuvem de pontos utilizando a equação de regressão. Um exemplo é mostrado na Figura 48.

Figura 48. Exemplo de linha de regressão [LACROIX, 2003].

Pode-se afirmar, concluindo, que se houver apenas uma variável aleatória (Y), a melhor estimativa da média m da população é a média aritmética das amostras. Porém, se uma variável aleatória (Y) é ligada a uma outra variável (X) (variável explicativa), a melhor estimativa do valor médio de (Y) é dado pela equação $Y = \alpha + \beta X = \bar{Y} + \beta (X - \bar{X})$.

2.8.15 Análise em Componentes Principais (ACP)

Este método tem como objetivo descrever os dados através de nuvens de pontos (concentrados no seu baricentro) dentro de um círculo de correlação de indivíduos e caracteres numéricos sabendo que os caracteres (p) são medidos sobre os indivíduos (n). Desta forma, a ACP, estuda as ligações existentes entre p variáveis medidas sobre n indivíduos. A análise elimina redundâncias – duas variáveis correlatas com mais ou menos a mesma informação – e substitui as variáveis iniciais por um número de variáveis reduzido: 1, 2 ou 3, chamados de componentes principais. Essas variáveis são combinações lineares de variáveis iniciais não correlatas entre elas [VEYSSEYRE, 2004].

Esse sistema fatorial e linear faz com que haja a redução do número de caracteres, permitindo, representações geométricas dos indivíduos e dos caracteres [SAPORTA, 2002].

Em outras palavras a ACP consiste em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Sendo assim, as n -variáveis originais gera,

por meio de suas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informações estatísticas que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informações estatísticas que a componente principal 3. Este método permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois, embora a informação estatística presente no n-variáveis originais seja a mesma do n-componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais que 90% desta informação [MOITA et al., 1998].

Portanto, para trabalhar com estatística multivariada, é necessário interpretar a distribuição dos pontos no gráfico de componentes principais e identificar as variáveis originais com maior peso na combinação linear das componentes principais mais importantes [MOITA et al., 1998]. Para isso, é preciso saber que se os pontos se aproximam ou se encontram sob o círculo de correlação, considera-se uma correlação forte (significativa) entre as variáveis estudadas. Porém, se os pontos se aproximam do centro do círculo ou se estão longe do círculo, significa que a correlação é fraca (não significativa) e que a variável não deve ser levada em conta para análise. Os coeficientes até 0,35 são considerados sendo fracos, de 0,35- 0,60 sendo moderados e de 0,60 – 1,00 sendo fortes.

2.9 Conclusão do Capítulo 2

No capítulo 2, pode-se constuir uma metodologia consistente para o desenvolvimento da parte experimental desta tese. Essencialmente, a pesquisa foi baseada em normas técnicas internacionais, francesas e brasileiras e em informações bibliográficas. Os testes foram realizados com base nessas normas de experimentos para dar coerência e veracidade aos ensaios. Também foi objetivo deste capítulo o desenvolvimento de novos materiais e métodos. O capítulo foi organizado em 5 partes. A primeira parte descreve a preparação das penas como, por exemplo, a esterilização e a individualização das fibras. Métodos de caracterização física (comprimento, título, *regain*, permeabilidade ao ar, análise de superfície e microscópica), mecânica (tração, alongamento, compressão e molhabilidade), térmica (taxa de retração e condutividade térmica), acústica (coeficiente de absorção) e química (combustão) das fibras e dos não tecidos foram retratados. A segunda parte refere-se ao desenvolvimento de um método de fabricação de não tecidos por agulhamento. Tecidos de penugem, penugem cortada e pena foram produzidos em 133g/m² e 267g/m². A terceira parte trata da extração da queratina por métodos já existentes e o desenvolvimento de um método adaptado da extração da queratina de lã. Além do mais, a queratina extraída foi caracterizada com a espectroscopia de infravermelho e com o MEV. A quarta parte detalhou o processo de obtenção de nanofibras a partir da queratina por electrospinning. Parâmetros de reglagem do aparelho foram testados e ajustados de acordo com a solução de ácido fórmico e queratina. Após a obtenção de nanofibras a caracterização do material no MEV foi efetuada. Finalmente, na quinta parte do capítulo, os métodos de análise estatística foram expostos. Testes de dispersão, distribuição gaussiana, variância, t student, componentes principais, correlação simples e multivariada foram descritos. O estudo estatístico foi necessário para analisar as diferenças e as igualdades de cada grupo de amostras para cada variável testada.

Les résultats de ce travail de thèse se présentent en trois parties : caractérisation des fibres de plume et duvet des animaux étudiés (1) ; fabrication de non-tissés de plumes, duvets et duvets coupés et leurs caractérisations (2) extraction de la kératine des plumes et duvets de poule et canard et la confection de non-tissés de nano fibres du produit extrait (3).

Les principales caractéristiques de fibres étudiées sont tout d'abord la valeur de la ténacité (jusqu'à 243 cN/tex) plus élevée que les fibres de laine, de mohair, de soie, de ramie, de coton, de chanvre et de jute. Par conséquent, l'application des fibres ou des non-tissés comme renforcement dans des composites serait une bonne utilisation pour ces matériaux. Une faible conductivité thermique des fibres de plumes et de duvets a été relevée (0,0016 à 0,00137 W/cm°C). Ce résultat conduit à conclure que les fibres sont plus isolantes thermiquement que le verre et que les fibres de céramique. De cette façon, nous pouvons penser à des applications comme l'isolation dans les bâtiments résidentiels ou les transports. Le coefficient d'absorption acoustique des fibres a été mesuré de 0,09 à 0,16 α dans les basses fréquences (le coefficient de la fibre de verre est de 0,14 α aux basses fréquences). Les applications dans l'isolation acoustique pour ce niveau de fréquence pourraient être dans l'isolation intérieure des véhicules de transports. Le titre des fibres des plumes et duvets (2,9 à 12 dtex) est faible ou moyen. Les titres sont plus petits que les titres de mohair, ramie et de laine par exemple. La longueur est considérée faible (de 1,8 à 5,5 cm) et présente des valeurs moyennes très semblables aux fibres de cachemire, vigogne et chameau. Les diamètres de fibres de plumes et de duvets (5,3 à 47,6 μ m) sont sur la même échelle de valeur que les fibres de cachemire, mohair, alpaga, angora, lama, vigogne et chameau. Enfin, l'allongement des fibres de plumes et de duvet est de 12,6 à 15,8% et a des valeurs proches de celles des fibres de coton et de la soie.

La comparaison des non-tissés produits a été faite et nous pouvons constater que les non-tissés de 133g/m² et 267g/m² de duvet présentent une plus grande élongation que ceux de plumes et duvets coupés de 267g/m² (86,6%). Comme prévu, les non-tissés de 133g/m² et 267g/m² présentent des valeurs plus élevées de résistance à la traction. En général, tous les non-tissés de duvets sont plus extensibles que les non-tissés de plumes.

La perméabilité à l'air est corrélée à l'épaisseur. Les fibres et les non-tissés de duvets sont moins perméables que les fibres et les non-tissés de plumes. Parmi les échantillons de 133g/m^2 , les non-tissés de duvets d'oie et de canard ont une plus grande différence de perméabilité à l'air que les autres. Parmi les échantillons de 267g/m^2 , nous avons noté une division en deux groupes de valeurs entre les échantillons de plumes, duvets et duvets coupés.

En comparant avec les données de la littérature, nous avons vérifié que les non-tissés de duvets et certains de plumes sont moins perméables que les non-tissés de laine, coton et polyester. La distribution des espaces ou des poches d'air influe sur un grand nombre de propriétés de non-tissés telles que l'isolation thermique, la protection contre le vent et la pluie, ainsi que l'efficacité de filtration dans les tissus industriels.

Les caractéristiques de pilosité des non-tissés de duvets sont dues à la présence de fibres courtes. En général, les non-tissés de plumes ont une plus grande épaisseur que les non-tissés de duvets et duvets coupés. Pourtant, parmi les échantillons de 133g/m^2 , les non-tissés de duvet de poule présentent la plus grande différence d'épaisseur. Parmi les échantillons de 267g/m^2 , le non-tissé d'oie est celui avec la plus grande différence, suivie des non-tissés de duvet de poule et de canard.

L'objectif de la troisième partie de cette thèse a été l'analyse de la faisabilité de la production de nano fibres de la kératine de plumes et duvets.

Pour cela, la kératine a été extraite par un procédé simple, à faible coût, écologique, non nocif pour les personnes impliquées dans la production et qui utilise seulement l'hydroxyde de sodium comme produit chimique. De plus, aucune préparation antérieure et postérieure - comme la purification, par exemple - n'est nécessaire.

Le produit a été analysé par des tests infrarouges (FTIR) et nous avons constaté par la comparaison de la littérature que le produit extrait était bien de la kératine.

Afin de tester la faisabilité de production des nano fibres de la kératine, nous avons choisi la méthode d'électrospinning et nous avons utilisé l'acide formique comme solvant puisque il était recommandé dans la littérature pour l'utilisation de polymères de protéines.

Après avoir défini les paramètres dans la machine de filage, nous avons choisi quatre non-tissés de nano fibres de kératine visuellement sans défaut et nous les avons analysés dans le microscope électronique à balayage.

Les analyses statistiques nous ont montré que seul un échantillon parmi les quatre était significativement différent. Cependant, en comparant les valeurs de variation de diamètre dans

la littérature, nous avons constaté que les diamètres des nano fibres produites présentent des valeurs stables, sans grande dispersion (l'écart-type est de 0,04). Cela signifie que les nano fibres de plumes et duvets sont très uniformes et régulières en ce qui concerne leur variation de diamètres. De plus les non-tissés ne présentent pas de défauts selon l'analyse visuelle.

En termes d'applications, nous pensons que le produit fabriqué pourrait avoir les mêmes applications que celles des nano fibres de laine et de fibroïne de soie, comme par exemple des applications en biomédecine.

Ce travail de recherche a conduit au développement de non-tissés des fibres de plumes et duvets, un procédé d'extraction de la kératine de ce matériau, la fabrication des non-tissés de nano fibres de la kératine et la caractérisation des matériaux produits. Les étapes sont simples, respectueuses de l'environnement, de faible coût et doivent pouvoir être transposables à l'échelle industrielle.

Cependant, pour des applications de nano fibres de kératine de plumes destinées à la biomédecine et aux biomatériaux, il est nécessaire réaliser plus d'études physico-chimiques et en particulier des études portant sur la biocompatibilité biologique pour analyser si le corps humain accepte les nano fibres de la kératine de plume sans rejet.

Primeira Parte

Neste capítulo análises estatísticas serão realizadas para o entendimento dos resultados. As análises utilizadas e detalhadas no capítulo 3 são: teste de normalidade, análise de variância, análise de t student por comparação de pares de amostras, correlação simples e correlação multivariada.

3.1 Elementos de Suporte à Apresentação dos Resultados

Para simplificar o entendimento dos gráficos, utilizaram-se abreviações concernentes às penas e penugens de cada animal. A legenda é apresentada na tabela 16.

Tabela 16. Legenda de abreviações das penas e penugens de cada animal.

PF	Pena de Frango
PdF	Penugem de Frango
PdFC	Penugem de Frango Cortada
PPT	Pena de Pato
PdPT	Penugem de Pato
PdPTC	Penugem de Pato Cortada
PPR	Pena de Peru
PdPR	Penugem de Peru
PdPRC	Penugem de Peru Cortada
PG	Pena de Ganso
PdG	Penugem de Ganso
PdGC	Penugem de Ganso Cortada
S	Significativo
NS	Não Significativo

Ademais, nos gráficos de histograma apresentados ao decorrer do capítulo 3, sempre se posicionou os resultados das penas primeiramente (à esquerda) e os das penugens posteriormente (à direita).

3.2 Preparo do Material

No presente estudo, todas as penas coletadas passaram pelo processo de esterilização, lavagem e secagem. 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 o 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 49).

Figura 49. Fibras de penugens de frango esterilizadas e separadas da ráquis.

Percebe-se, através da imagem 49, que as fibras possuem um alto grau de *fill power*. Um material de alto valor *fill power* é capaz de ocupar um grande volume com uma pequena massa. Essa característica indica a boa capacidade de isolamento e a propriedade de conforto no produto.

3.3 Análise Física e Mecânica das Penas e Penugens

Neste tópico, foram abordadas as análises físicas e mecânicas das fibras como a Análise de Superfície, Determinação do Título e da Recuperação Porcentual de Umidade e do Conteúdo Percentual de Umidade, Medição do Comprimento, do Diâmetro, da Espessura, da Permeabilidade ao ar, do Alongamento, da Tenacidade, da Força de Ruptura, da Molhabilidade. Os resultados se encontram no apêndice I.4.

3.3.1 Análise de Superfície: Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise microscópica é dividida em análise longitudinal e análise de secção transversal. Na análise longitudinal uma pequena quantidade de fibra é identificada em uma ampliação específica e determinada de forma que se possa analisar a superfície externa da fibra. Na análise

da secção transversal, corta-se a fibra na transversal, de modo que, possam-se capturar imagens da parte interna das fibras. Todas as microscopias encontram-se no Apêndice I. 2.

3.3.1.1 Microscopia Longitudinal

As microscopias com vistas longitudinais foram realizadas com aumentos de 50, 125, 250, 400 e 600 vezes o tamanho natural da fibra (Apêndice I. 2.).

Na figura 50, identificaram-se as partes estruturais da fibra de pena de frango, por meio da microscopia transversal, para melhor compreensão.

Figura 50. Identificação da microscopia longitudinal das fibras de penas (a) Aumento de 135 vezes da fibra de pena de frango [SEAWRIGHT, 2013]; (b) aumento de 50 vezes da fibra de pena de peru; (c) aumento de 125 vezes da fibra de pena de peru; (d) aumento de 400 vezes da fibra de pena de peru.

As microscopias longitudinais confirmam a estrutura presente na literatura bibliográfica. É possível, visualizar facilmente a estrutura da pena como: a fibra (barba), a anterior bárbule e a

pena posterior. Além do mais, verifica-se visualmente que a fibra é a parte mais espessa das penas e penugens, em seguida a anterior bárbule e finalmente a posterior bárbule.

Na figura 51, analisam-se as imagens longitudinais das fibras de pena e penugem de frango.

Figura 51. Microscopia longitudinal da fibra de frango (a) e (b) e Microscopia longitudinal da penugem de frango (c) e (d). Ambas com aumento de 50 e 600 vezes.

A forma longitudinal das fibras de pena e de penugem diferencia-se das demais fibras animais, como discutidos anteriormente, por possuir duas estruturas conectadas às suas fibras (anterior bárbule e pena posterior).

Em relação à textura das fibras, nota-se que, diferentemente das fibras de lã, as fibras de penas e penugens não possuem cutículas ao longo das fibras. Também não possuem porosidades e nem fibrilas na superfície exterior.

A textura das fibras de pena e penugem é rugosa devido à sua estrutura ramificada na anterior bárbule e na pena posterior. Observa-se, assim, a irregularidade que a superfície da estrutura obtém, já que, possuem picos, que resultam em uma baixa superfície de contato com outros materiais. Esses espaços na estrutura exterior também podem contribuir para a condutividade térmica do material, pois os espaços de ar presentes permitem uma maior transferência de calor por convecção. Além do mais, essa característica é importante para definir o grau de molhabilidade do material, já que a rugosidade do material permite com que o líquido não se dissipe na superfície como ocorre com um material de área lisa, graças a baixa superfície de contato. Além disso, as fissuras e estrias presentes nas fibras podem contribuir para a resistência interfacial com outros materiais.

3.3.1.2 Microscopia Transversal

Segundo Harwood et al. (2012) diferentes fibras naturais variam de secção transversal, já que elas são materiais heterogêneos. De acordo com estudos na literatura, nenhuma fibra têxtil apresenta semelhanças da secção transversal, as quais, as fibras de penas e de penugens possuem.

A figura 52 mostra a microscopia transversal da pena e da penugem da fibra de frango com ampliações de 300 e 1000 vezes o seu tamanho original.

Figura 52. Microscopia transversal da pena da fibra de frango (a) e (b) Microscopia transversal da penugem da fibra de frango (c) e (d). Ambas com aumento de 300 e 1000 vezes seu tamanho original

Neste estudo as secções transversais foram amplificadas em 300, 600 e 1000 o tamanho original das fibras.

Como primeira percepção, nota-se que a secção transversal das fibras de penas e de penugens possui um formato oval e micro tubos dentro da ráquis e das fibras.

As fibras apresentam uma morfologia tubular, pois microscopicamente as análises mostram a existência de uma cavidade oca maior (barba) e uma cavidade oca menor (anterior bárbule). Essas cavidades se assemelham com um favo de mel por causa das suas micro divisões internas. Fisicamente, essas cavidades resultam em um material de baixa massa volúmica (menor massa volúmica de material fibroso encontrado na literatura), já que, são propriedades ocas e sem massa central.

Nota-se também, que essa micro estrutura porosa favorece o isolamento sonoro e o isolamento térmico, pois ela desenvolve “colchões de ar” (mau condutor de calor) tanto na primeira estrutura (barba) quanto na segunda (anterior bárbule). O vácuo - melhor isolante térmico - isola o material de temperaturas baixas e temperaturas altas, assemelhando-se com a fibra de lã (quente em baixas temperaturas e fria em altas temperaturas).

Por se tratar de um material natural heterogêneo, constata-se irregularidades na estrutura, tanto para a forma oval, quanto para a porosidade interna das fibras.

Além do mais, observa-se, diferentemente das fibras de lã, a ausência de medulas - estrutura de células internas situada no centro do córtex – e da forma circular. A forma das fibras está detalhada na figura 53.

Figura 53. Secção transversal da fibra de penugem de peru (a) penugem de ganso (b) pena de pato (c) e pena de ganso (d) ampliada 300 vezes.

Analisando a figura 53, nota-se um formato diferenciado da secção transversal da fibra. Com um formato “chapado” e rugoso ou poroso o material fibroso, provavelmente, possui a capacidade de deflexão da luz. Isso ocorre quando um feixe luminoso atinge uma superfície rugosa e 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, não se pode ter completa indicação, somente através dos exames microscópicos de suas secções transversais, do tipo de aplicação possível

para determinada fibra. Por isso, recomenda-se a análise da caracterização posterior ao desenvolvimento de um fio com as fibras estudadas, por exemplo, a fim de confirmar, ou não, as indicações apresentadas pela estrutura da fibra.

Geralmente as secções transversais encontradas e/ou fabricadas são: redonda, redonda oca, triangular, triangular oca e a trilobal (Figura 54).

Figura 54. Secções transversais existentes de fibras têxteis [KUASNE, 2008].

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

Segundo Silveira (2010) as fibras trilobais e triangulares ocas possuem maior resiliência, como analisado anteriormente. A fibra de pena e penugem de frango apresentam mais resiliência do que as fibras vegetais, pois, a fibra, assim como as fibras triangulares e trilobais, possuem deformações e saliências, além de ser oca (Figura 55).

Figura 55. Gráfico de resiliência de acordo com as secções transversais das fibras têxteis [SILVEIRA, 2010].

A característica de brilho se apresenta em fibras triangulares, triangulares ocas e trilobais. A fibra de pena de frango pode apresentar a mesma característica, pois ela possui de dois a quatro lados bem definidos. A fibra, por sua vez, refletirá a luz para vários lados, ocasionando assim, uma ilusão de ótica ao olho humano, gerando o efeito de brilho (Figura 56).

Figura 56. Gráfico de brilho de acordo com as secções transversais das fibras têxteis [SILVEIRA, 2010].

O volume - espaço ocupado pela fibra - é maior em fibras ocas. A fibra de pena apresenta uma estrutura com tubulações ocas em todo seu centro, além do mais, na microscopia longitudinal, é possível verificar a estrutura complexa e volumosa que a fibra possui (Figura 57).

De acordo com o tópico 4.2, as penas possuem visualmente um alto grau de *fill power* corroborando com a afirmação de Silveira (2010).

Figura 57. Gráfico de volume de acordo com as secções transversais das fibras têxteis [SILVEIRA, 2010].

O formato da fibra influencia seu desempenho em diferentes modos. A luz é transmitida e refletida em diferentes lugares, modificando a aparência do material. Um exemplo é a superfície lisa, em fibras com secções transversais triangulares, que possuem alta propriedade de brilho. Outra característica de fibras ocas são os capilares os quais conferem um bom comportamento de absorção. Fibras retangulares com curvaturas, em general, se dobras mais facilmente do que as fibras circulares. A característica de flexibilidade confere, normalmente, materiais mais macios. Enfim, considera-se que as fibras ocas contêm maior volume e menos massa, por esta razão, as aplicações são geralmente para enchimentos, filtração ou para reter materiais químicos.

3.3.2 Comportamento ao Fogo

A única abordagem química nesta tese foi o teste de combustão.

3.3.2.1 Teste de Combustão

O teste de combustão das fibras de penas foi realizado e os resultados obtidos no presente estudo são apresentados na tabela 17.

Tabela 17. Teste qualitativo da combustão da pena de frango, peru, pato e ganso.

Fibra	Odor	Comportamento aproximando da chama	Comportamento em contato com a chama	Cor da Cinza	Cor da Chama	Intensidade da Chama	Fusão
Frango	Pelo queimado	Não queima	Queima	Cinza médio	Laranja	Baixa	Devagar
Peru	Pelo queimado	Não queima	Queima	Cinza médio	Laranja	Média	Rápida
Pato	Pelo queimado	Queima	Queima	Cinza escuro	Laranja	Média	Rápida
Ganso	Pelo queimado	Queima	Queima	Cinza escuro	Laranja	Média	Rápida

Analisando as fibras de frango, peru, pato e ganso, podem-se encontrar algumas diferenças entre elas. Como por exemplo, o comportamento da fibra no momento de aproximação da chama. As cinzas variam entre cinza médio para a fibra de frango e peru e cinza escuro para as fibras de pato e ganso. Todas, com exceção da fibra de pena, possuem intensidade média da chama e fusão rápida.

Como analisado nas tabelas 9, 10 e 11, não foram obtidas informações muito diferentes das fibras provenientes da seda e da lã. As fibras de pena assim como a lã e a seda, em combustão, possuem a queima, porém diferentemente das outras a pena possui uma fusão rápida (com exceção da pena de frango). Nota-se que a cor da cinza da seda é negra e as outras foram acinzentadas. O odor das fibras de seda, lã e pena é igual (odor de pelo queimado). Características dos odores de combustão [MALUF; KOLBE, 2003] as fibras proteicas, em combustão, possuem o odor de pelo queimado.

Não se observou, portanto, qualquer característica particular das fibras de penas que permitisse uma identificação diferente das outras fibras naturais animais.

Verifica-se que o nitrogênio é um componente não inflamável e não tolera a combustão. Observa-se que a fibra de pena pode ser um bom retardante a chamas já que possui 53,63% de compostos de nitrogênio. Em comparação, a fibra de lã possui apenas 16% de nitrogênio e a fibra de seda apenas 15 a 18% [KUFFNER, 2012] e [KOZLOWSKI et al., 2012]. Desta forma, as fibras de penas inflamariam e queimariam mais lentamente que as de lã e seda.

3.3.3 Determinação do Título das Fibras

O direcionamento de fibras e fios para um determinado produto acontece principalmente de acordo com o seu título - uma das mais importantes propriedades de uma fibra têxtil. A aparência visual e o toque do produto são influenciados pelo título, intervindo, consequentemente, no valor comercial da fibra.

Portanto, a variação do título da fibra natural é a base mais importante de distinção e comparação entre elas. Entre as fibras naturais, essa distinção é feita para diferenciar o material obtido de diferentes fontes.

Na análise do título das fibras de pena e penugem, percebe-se que as fibras têm uma variação de 3,2 dtex entre as penas e 3,6 dtex entre as penugens. Os resultados de cada fibra são apresentados no gráfico 1.

Gráfico 1. Título das penas e das penugens de frango, peru, pato e ganso

No gráfico 1, observam-se os títulos de penas e penugens calculados e seus respectivos coeficientes de variação. Verifica-se também que a pena de frango, peru e pato apresentam um

dtex muito próximos comparado com a pena de ganso. A penugem de frango apresenta o maior dtex seguido da penugem de pato, peru e ganso.

Observa-se no gráfico 2 do título das fibras de pena que o valor de p (0,11) é maior que 0,05. Portanto, pode-se aceitar com 95% de confiança a normalidade deste teste. Porém, o gráfico 3 do título das fibras de penugem, no qual, o valor de p ($<0,01$) é menor que 0,05 mostra a rejeição com 95% de confiança da normalidade deste teste.

Gráfico 2. Teste de normalidade do título das penas.

Gráfico 3. Teste de normalidade do título das penugens.

A tabela 18 apresenta os resultados do teste de variância (ANOVA).

Tabela 18. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação ao título.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	1067,3	152,4	37,5	<,0001*
Résiduo	72	292,5	4,0		
Total	79	1359,8			

Observa-se que: $F_{\text{calculado}} = 37,5 > F_{\text{teórico}} = 2,14$. Portanto, rejeita-se H_0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%. Além do mais o grau de liberdade de 72 garante que os dados são confiáveis.

Gráfico 4. Análise de variância (ANOVA) do título das penas e penugens.

No gráfico 4, como se esperava, é possível observar, claramente, que os títulos estão divididos em dois grupos separados: o grupo de penas (com título de 8,8 dtex a 12,0 dtex) e o grupo de penugens (com título de 2,9 dtex a 6,5 dtex).

Os gráficos 5 e 6 e as tabelas 19 e 20 mostram os resultados do teste de t student das amostras, onde se compara cada par de amostras.

Gráfico 5. Comparação do título de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

Tabela 19. Significância da média do título das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	NS	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	NS	S	NS	S			
PdPR	S	S	S	NS	S		
PG	S	S	S	S	S	S	
PdG	S	S	S	NS	S	NS	S

No gráfico 5, é possível observar que as únicas fibras que são significantemente diferentes de todos os outros títulos são a penugem de frango e a pena de ganso, pois os dois círculos não possuem um ângulo maior que 90 graus. Analisa-se que o círculo da penugem de frango toca ligeiramente o círculo da pena de ganso. Isso ocorre pelo fato que a penugem de frango apresenta apenas uma medida muito desproporcional da média, ou seja, por a dispersão de uma única medida ser muito grande não se considera esse dado na análise. Desta forma, conclui-se que os círculos de penas e de penugens não se tocam, formando, assim, dois grupos distintos. No entanto, nota-se que o título das penugens possui os dados um pouco mais homogêneos que

o das penas, pois, a pena de ganso é a única à tocar a reta da média global, aproximando-se, assim, dos valores das penugens.

Então, pode-se afirmar que as fibras de pena são significativamente diferentes das outras fibras de penugens. Na tabela 21, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias. Na análise do título das fibras de penugens, percebe-se maior variabilidade existente da fibra de penugem de frango, esta variação corresponde à homogeneidade natural da fibra.

Gráfico 6. Comparação do título de diferentes fibras de penas (t student).

Tabela 20. Significância da média do título das fibras de penas.

	PF	PPT	PPR
PF			
PPT	NS		
PPR	NS	NS	
PG	S	S	S

No gráfico 6, nota-se que a única fibra de pena que é significativamente diferente dentre as outras é a pena de ganso. Seu círculo está fora da média do grupo e portanto não possui um ângulo maior que 90 graus.

O gráfico 7, mostra títulos de outras fibras naturais.

Gráfico 7. Comparação de títulos de diferentes fibras têxteis comerciais e de penas e penugens [KASWELL, 1963] [KAWABATA, 1998] [KUFFNER, 2012].

Comparando os valores do gráfico 7, verifica-se que o título médio das fibras de pena e penugem é menor que o de mohair (13,8 dtex) e lã (16 dtex) e maior que a seda (1 dtex) e o algodão (1,8 dtex). É importante ressaltar que a comparação dos títulos não se faz com o mesmo comprimento de fibras, pois que cada fibra possui um comprimento diferente. Logo, a comparação é feita com o valor absoluto, encontrado na literatura, do título mais empregado comercialmente de cada fibra.

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. Portanto, quanto mais fino for o fio, o título será mais baixo.

Pode-se considerar que as fibras de penas possuem títulos parecidos com as fibras empregadas comercialmente. Portanto, presume-se, que as aplicações para essas fibras podem ser parecidas. Sabe-se, que a rigidez da fibra afeta a capacidade de fiação e as propriedades do tecido, bem como seu direcionamento, manuseamento, maciez e caimento. Portanto, observa-se que as penugens possuem maior maleabilidade que as penas devido ao seu menor título.

De uma forma geral, de acordo com os valores de título, constata-se que as fibras de penas e penugens estão divididas em dois grupos. Além do mais, os títulos são comparados com fibras naturais convencionais. Sendo assim, os valores do título de penas e penugens são menores que os de mohair, rami e lã e maiores que os da seda, algodão e linho.

3.3.4 Medição do Comprimento das Fibras

O comprimento é a segunda mais importante propriedade da fibra, seguido do título. Na tabela 21, apresenta-se os valores de média e desvio padrão de cada fibra.

Tabela 21. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (cm)	Desvio Padrão (cm)
PF	3,3	0,2
PdF	1,8	0,1
PPT	3,4	0,0
PdPT	3,5	0,1
PPR	3,4	0,2
PdPR	4,3	0,7
PG	5,5	0,1
PdG	3,4	0,4

O gráfico 8, mostra o histogramas dos resultados do comprimento das fibras de penas e penugens.

Gráfico 8. Histograma do comprimento das penas e das penugens.

Análises de normalidade do comprimento foram feitas. Pelo fato de haver duas fibras que se dispersam da média do grupo, verifica-se, que o valor de p ($< 0,01$) das penas e penugens é menor que 0,05. Portanto, pode-se rejeitar a normalidade destes testes.

Mesmo se os comprimentos das amostras não seguem a Lei Normal, no gráfico 7, observa-se a comparação da média do comprimento entre as diversas fibras de penas e penugens, e como visto anteriormente, considera-se que o teste é significativo. Por esse motivo, mesmo não sendo gaussianas, decidiu-se prosseguir as análises ANOVA e t student, já que, o número amostral, é

considerado baixo e a variação das fibras naturais é considerada alta. O comprimento das fibras de penas pode ser variável de acordo com o animal, a idade e a raça. Por isso, justifica-se o fato dos testes não seguirem a Lei Normal. Recomenda-se, portanto, a repetição do teste com um corpo de prova maior e também a análise separada para cada tipo de animal.

No gráfico 4 ANOVA observa-se a comparação da média do comprimento entre as fibras de penas e de penugens. Observa-se que existe certa homogeneidade entre as penas e as penugens. Porém, duas fibras se distinguem da maioria, à saber: pena de ganso e penugem de frango. O intervalo de confiança da penugem de peru é relativamente grande, em comparação com os demais, porém ainda se encaixa com a média geral.

A tabela 22 mostra que as fibras de pena de ganso são significativamente diferentes das demais fibras.

Tabela 22. Significância do comprimento do diâmetro das fibras de penas e penugens.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	NS	S					
PdPT	NS	S	NS				
PPR	NS	S	NS	NS			
PdPR	S	S	S	S	S		
PG	S	S	S	S	S	S	
PdG	NS	S	NS	NS	NS	S	S

A penugem de peru e de frango também apresentam comprimentos significativamente diferentes e em direções opostas. Todas as outras fibras não possuem diferenças significativas do comprimento.

Percebe-se que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 2,1cm entre as penas e 2,5cm entre as penugens. Esse valor é menor do que a variação da fibra de lã, por exemplo, que vai de 50% a 60% [TTS, 1950].

Sabe-se que a variabilidade do comprimento das fibras animais é incontroleável devido à sua origem natural. Assim, a variação pode mudar de acordo com o tipo de animal. Por exemplo, para a pena de ganso, como já se esperava, a fibra é mais longa que a pena dos outros três animais estudados, devido ao tamanho da pena de ganso comparado ao tamanho das demais.

A preferência por fibras curtas ou longas depende da aplicação desejada. Por exemplo, fibras longas são preferíveis, na maioria dos casos, por facilitar no processo de produção. No entanto, fibras curtas podem conferir uma superfície pilosa e felpuda.

É importante que a matéria prima não possua muita variação de comprimento para facilitar o processo de fiação. Logo, se as fibras de penas e penugens forem aplicadas na fiação, recomenda-se não misturar as fibras entre os diferentes animais, guardando, assim, a uniformidade de comprimento desejada.

Em geral, as penas e as penugens possuem valores próximos em relação ao comprimento. Com exceção, sobretudo, da penugem de frango que apresenta o menor comprimento entre todas as penas e penugens. E a pena de ganso que possui o maior comprimento entre todas as fibras, seguido da penugem de peru.

Verificando o comprimento de outras fibras animais, observa-se que o comprimento da fibra de cashmere é de 3,5 a 5cm, cashgora de 3 a 9cm, mohair de 8,4 a 13cm, alpaca 20 a 55cm, angora 6cm, lhama 8 a 25cm, vicunha 3 a 4cm e camelo 3,6 a 4cm [DALTON et al., 2008].

Comparando os resultados da literatura com os das fibras de penas, nota-se que as fibras de penas possuem comprimentos iguais ou próximos aos das fibras de cashmere, cashgora, angora, vicunha e camelo.

3.3.5 Medição do Diâmetro das Fibras

Na tabela 23, apresenta-se os valores de média e desvio padrão do diâmetro de cada fibra.

Tabela 23. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (µm)	Desvio Padrão (µm)
PF	47,6	5,1
PdF	5,3	2,2
PPT	37,4	7,0
PdPT	12,4	2,9
PPR	30,8	8,7
PdPR	11,8	3,5
PG	40,0	9,1
PdG	12,4	3,9

O gráfico 9, mostra os histogramas do diâmetro.

Gráfico 9. Histograma do diâmetro das penas e das penugens.

Em relação à análise de normalidade, no gráfico 6 e 7 (apêndice), observa-se o diâmetro das fibras onde, o valor de p ($> 0,15$) das penas e penugens é maior que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade destes testes.

No gráfico 5 (apêndice) com as análises da ANOVA, observa-se a comparação da média do diâmetro entre as diversas fibras de penas e penugens. Nota-se, como esperado, mais uma vez a clara distinção entre os 2 grupos: penas e penugens.

Na tabela 24, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 24. Significância da média do diâmetro das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF	S						
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	S	S	S	S			
PdPR	S	S	S	NS	S		
PG	S	S	NS	S	S	S	
PdG	S	S	S	NS	S	NS	S

O diâmetro das penugens possuem dados mais homogêneos que o das penas. Pode-se afirmar que as fibras de pena de frango e peru e penugem de frango são significantemente diferentes das outras fibras.

Verificou-se, portanto, que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 16,8µm entre as penas e 7,1µm entre as penugens. Constata-se também que a fibra de pena e penugem de frango apresenta o maior e o menor diâmetro, respectivamente.

Comparando com valores de outras fibras animais, observa-se, que o diâmetro das fibras de cashmere é de 13 a 18µm, cashgora de 19 a 24µm e mohair de 24µm a 40µm, alpaca 20 a 36µm, angora 14µm, lhama 19µm, vicunha 15 a 20µm e camelo 18 a 24µm [HUNTER et al., 2008] [DALTON et al., 2008].

Portanto, em geral, as fibras de penugem apresentam o diâmetro mais próximo das fibras animais já empregados comercialmente. As fibras de alpaca e mohair também podem apresentar um diâmetro maior se assemelhando com as fibras de penas.

Constata-se, então, que o maior e o menor diâmetro é o da fibra de pena e penugem de frango, respectivamente. Além do mais, as fibras de pena e penugem estão na mesma escala de valores que as fibras naturais de cashmere, cashgora, mohair, alpaca, angorá, lhama, vicunha, e camelo.

3.3.6 Determinação da Recuperação Porcentual de Umidade (*Regain*) e do Conteúdo Percentual de Umidade (Umidade) das Fibras.

O valor do *regain* é importante para transações comerciais, tanto quanto, para determinar a massa específica de cada fibra para comercializá-la, já que, a fibra pode absorver umidade do ambiente. A variação pode ocorrer dependendo do local em que o material está estocado ou mesmo do país. O *regain* também é utilizado para calcular a densidade linear do fio em procedimentos que utilizam tais fatores na análise quantitativa de misturas de fibras.

Além do mais, a absorção de líquidos pode mudar as propriedades das fibras como, por exemplo, o título, formato, rigidez e propriedades mecânicas.

A tabela 25 denota os valores de umidade e *regain* da pena e penugem de cada tipo de animal.

Tabela 25. Resultado do Conteúdo Percentual de Umidade e Recuperação Percentual de Umidade das fibras de pena e penugem. Desenvolvido segundo as normas ISO/TR 6741-1/87 e NF EN 1161/97.

Amostra	Conteúdo Percentual de Umidade (%)	Recuperação Percentual de Umidade (%)
Pena de Frango	7,6	8,3
Penugem de Frango	6,8	7,4
Pena de Peru	8,0	8,7
Penugem de Peru	7,4	8,0
Pena de Pato	7,4	8,0
Penugem de Pato	9,8	10,8
Pena de Ganso	8,0	8,8
Penugem de Ganso	7,5	8,1
Média total	7,8	8,5

Na tabela 25, apresentou-se o conteúdo percentual de umidade (umidade) da fibra de pena de frango, peru, pato e ganso, ou seja, a porcentagem de umidade que a fibra havia absorvido em temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa do ar. Apresentou-se também, a recuperação percentual de umidade (*regain*).

O gráfico 10 mostra os resultados das fibras de pena e penugem de frango, peru, pato e ganso e seus respectivos coeficientes de variação.

Contribution à la Caracterisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur Valorisation Textile

Gráfico 10. Resultados de *regain* das penas de penugens de frango, peru, pato e ganso.

Observam-se no gráfico 10 que, com exceção da penugem de pato (10,8%), todas as outras fibras possuem valores muito próximos uns dos outros.

O gráfico 11 evidencia os valores de diversas fibras têxteis comerciais em comparação com as fibras de pena e penugem de frango, peru, pato e ganso.

Gráfico 11. Comparação de *regains* de fibras comerciais e as fibras de penas [ASTM D 1909/68].

Observa-se na tabela 25, que os valores de umidade (calculados sobre o peso original) são bem próximos dos valores de *regain* (calculados sobre o peso seco). Comparando o *regain* da lã (13,6%) e da seda (11%), nota-se que existe uma diferença de $\pm 5\%$ com a lã e de $\pm 3\%$ com a seda entre a média do *regain* das fibras de pena ($\pm 8\%$) [CURRIE, 2008]. Essa diferença surge, pois embora as fibras sejam de origem animal, elas apresentam propriedades físicas e moleculares diferentes. A taxa de *regain* reflete a facilidade de penetração de vapor na estrutura da fibra e possui importância significativa na propriedade de permeabilidade ao vapor. Aparentemente, a estrutura física das fibras impede que uma grande quantidade de líquido seja absorvida, pois, apenas, aproximadamente 8% de líquido, são absorvidos pelo material.

Em geral, o valor de *regain* das fibras de penas está dentro da média se comparado às outras fibras naturais, as quais, possuem *regain* de 7% a 13,4% ou até mesmo 30% para as fibras de mohair [HUNTER et al., 2008].

Como discutido anteriormente, nota-se que 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 líquido para que o comprador conheça a massa específica da fibra e de umidade que está comprando.

Desta forma, nota-se que os valores entre as fibras de pena e penugem são muito próximos um do outro. Essa compatibilidade de valores pode ser denotada pela estrutura física interna das fibras e também da composição química das fibras, pois ambos aspectos são iguais em todas as fibras analisadas neste estudo.

3.3.7 Medição da Espessura das Fibras

Na tabela 26, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da espessura de cada fibra.

Tabela 26. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
PF	0,358	0,062
PdF	0,217	0,078
PPT	0,199	0,093
PdPT	0,237	0,084
PPR	0,735	0,204
PdPR	0,290	0,064
PG	0,311	0,067
PdG	0,240	0,104

O gráfico 12, mostra os histogramas dos resultados da espessura das fibras de penas e penugens.

Gráfico 12. Histograma do comprimento das penas (sem a pena de peru) e das penugens.

Percebe-se que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 0,53mm entre as penas e 0,08mm entre as penugens. Sendo assim, a variação de espessura das penas e, sobretudo das penugens é muito pequena. Desta forma constata-se que a fibra de pena de pato e de peru apresentam a maior e a menor espessura, respectivamente.

No gráfico 2 e 3 (apêndice), observa-se o teste de normalidade da espessura das fibras onde, o valor de p ($> 0,15$) das penas e das penugens é maior que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade destes testes. A análise de normalidade das penas foi realizada sem as penas de peru para que os dados se tornassem gaussianos.

No gráfico 1 (apêndice) ANOVA, nota-se, que na análise de espessura, a distinção entre os 2 grupos - penas e penugens - não existe, com exceção da fibra de pena de peru que se distingue da média das outras fibras. No entanto, o coeficiente de variação dessa fibra é grande, fato o qual não se pode afirmar tal ordem de variação, já que, o menor valor do coeficiente de variação pode chegar à mesma média que as demais fibras.

Na tabela 27, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 27. Significância da média da espessura das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	NS					
PdPT	S	NS	NS				
PPR	S	S	S	S			
PdPR	NS	NS	NS	NS	S		
PG	NS	S	S	S	S	NS	
PdG	S	NS	NS	NS	S	NS	NS

De acordo com essa tabela, pode-se afirmar que a fibra de pena de peru é significativamente diferente de todas as outras fibras.

Assim, observa-se que a fibra de pena de pato e de peru apresentam a maior e a menor espessura, dentre todas as demais fibras.

3.3.8 Medição da Permeabilidade ao ar das Fibras

Na tabela 28, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da permeabilidade ao ar de cada fibra.

Tabela 28. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (L/m ² /s)	Desvio Padrão (L/m ² /s)
PF	1886	98,9
PdF	944	60,3
PPT	1103	45,5
PdPT	296	79
PPR	1212	330
PdPR	420	74
PG	804	32
PdG	320	55

O gráfico 13, mostra os histogramas dos resultados da permeabilidade ao ar das fibras de penas e penugens.

Gráfico 13. Histograma da permeabilidade ao ar das penas e das penugens.

Observam-se os valores médios da permeabilidade ao ar de cada fibra de pena e penugem estudada. Comparando todas as fibras, nota-se que a pena de frango (1886 L/m²/s), pena de peru (1212 L/m²/s), pena de pato (1102 L/m²/s) e a penugem de frango (0994 L/m²/s) são as fibras mais permeáveis ao ar. Em contrapartida, as fibras menos permeáveis ao ar são a penugem de pato (0296 L/m²/s), penugem de ganso (3020 L/m²/s), penugem de peru (0419 L/m²/s) e pena de ganso (0804 L/m²/s).

Constata-se que a fibra de pena de frango e penugem de pato apresentam a maior e a menor permeabilidade ao ar, respectivamente. As fibras de penas e penugens possuem variação de 1081 L/m²/s entre as penas de 698 L/m²/s entre as penugens.

No gráfico 14 e 15 (apêndice), observa-se o teste de normalidade da permeabilidade ao ar das fibras onde, o valor de p (< 0,01) das penas e das penugens é menor que 0,05. Portanto, pode-se rejeitar a normalidade destes testes.

A grande diferença de variação e os resultados que não seguem o teste de normalidade podem ser explicados devido a uma falha metodológica de medição da permeabilidade ao ar das fibras. O aparelho utilizado é adequado à medição dessa propriedade em tecidos, mas em fibras não é ideal, já que, as fibras são postas de maneira aleatória na superfície de outro tecido sobre o aparelho e o ar pode passar entre os vãos dessa superfície. Logo após a medição é necessário subtrair o valor dos resultados de medições do tecido servido como suporte. Outro aspecto é o número amostral muito baixo e a variação das fibras naturais é muito alta. Recomenda-se, portanto, novas análises com números amostrais maiores para confirmar os dados. Mesmo se os resultados de permeabilidade ao ar não seguem a Lei Normal, decidiu-se continuar as análises como se fossem dados normais. Por isso, os valores aqui apresentados serão mostrados de forma indicativa.

No gráfico 13 (apêndice) ANOVA nota-se, certa variação de resultados. A pena e a penugem de frango possuem valores mais altos, ou seja, são mais permeáveis, que a média das outras fibras. A pena de pato apresenta um coeficiente de variação maior que as outras fibras, mesmo assim ele se encontra na média dos resultados, em comparação com as demais fibras de penas. Na tabela 29 verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 29. Significância da média da permeabilidade ao ar das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	S	S	NS	S			
PdPR	S	S	S	S	S		
PG	S	S	S	S	S	S	
PdG	S	S	S	NS	S	NS	S

A pena de frango, a qual possui o maior resultado de permeabilidade ao ar, é significativamente diferente de todas as outras. Analisa-se também que a pena de ganso, e as penugens de peru e frango são significativamente diferente das demais.

Constata-se, assim, que a fibra de pena de frango e penugem de pato apresentam a maior e a menor permeabilidade ao ar.

3.3.9 Ensaio de Tração de Fibras

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 se rompa.

3.3.9.1 Medição do Alongamento das Fibras

O alongamento possui muita importância nos produtos têxteis, já que, sem elasticidade dificilmente eles seriam utilizáveis.

Na tabela 30, apresenta-se os valores de média e desvio padrão do alongamento de cada fibra.

Tabela 30. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (%)	Desvio Padrão (%)
PF	12,6	3,0
PdF	14,0	4,7
PPT	15,8	1,9
PdPT	12,9	2,6
PPR	14,0	2,8
PdPR	14,1	2,3
PG	15,4	2,2
PdG	14,6	2,3

O gráfico 14, apresenta uma curva de força por alongamento de 50 fibras de pena de pato. Observa-se que cada curva, correspondente a uma fibra, se desloca para que se possa visualizar as curvas sem estarem sobrepostas.

Gráfico 14. Curva de força por alongamento de 50 fibras de pena de pato.

Comparando com a figura 10, carga-alongamento da lã, nota-se que a fibra de lã, quando aplicado uma força aproximada, é mais resistente que a fibra de pena de pato. A fibra de pato teve alongamento máximo de 22% segundo a tabela I. do apêndice e a fibra de lã 50%.

Na tabela 31, observam-se os valores médios do alongamento de cada fibra de pena e penugem estudada.

O gráfico 15, mostra os histogramas dos resultados do alongamento das fibras de penas e penugens.

Gráfico 15. Histograma do alongamento das penas e das penugens.

Os valores de alongamento dessas fibras vão de 11,7 a 22 % e a força de 1,0 a 1,4 N. Percebe-se, que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 3,2% entre as penas e 1,7% entre as penugens. Assim, a variação do alongamento das penas e sobretudo das penugens é muito pequena.

O alongamento é, notadamente, um dos fatores mais importantes para os materiais têxteis. No processo produtivo é essencial conhecer o alongamento das fibras e fios para calcular o atrito do têxtil com o maquinário, evitando rompimentos dos materiais, por exemplo. O alongamento também ajuda a prever a durabilidade que um material pode obter em posse do usuário.

Embora a estrutura física das fibras de penas e penugens seja muito diferente de qualquer outra fibra têxtil, a composição química e o arranjo molecular também influencia as propriedades de alongamento do material. Por esta razão, nota-se que os valores de alongamento das fibras de lã e da seda são próximos.

Nos gráficos 18 e 19 (apêndice), observa-se o teste de normalidade do alongamento das fibras onde, o valor de p ($> 0,15$) das penas e das penugens é maior que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade destes testes.

No gráfico 17 (apêndice) ANOVA nota-se, que todas as fibras são homogêneas e se encontram uniformemente na linha da média central.

Na tabela 31, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 31. Significância da média do alongamento das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	NS						
PPT	S	S					
PdPT	NS	NS	S				
PPR	NS	NS	S	NS			
PdPR	NS	NS	S	NS	NS		
PG	S	S	NS	NS	NS	NS	
PdG	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Na tabela 32, percebe-se que a fibra de penugem de ganso é a única que não apresenta diferenças significantes com nenhuma outra fibra estudada.

Comparando os resultados com os dados da lã e da seda apresentados na bibliografia, nota-se que a lã com 30% é mais extensível que a fibra de pena de pato. No entanto, o alongamento da fibra de seda pode variar de 10 a 25%. A fibra de mohair pode chegar a 42,7 %, ramie a 3,7%, cotton entre 5,6% a 7,1%, flax a 3%, juta a 1,8% e cânhamo a 2,2% de alongamento [CURRIE, 2008] [HUNTER et al., 2008] e [MORTON, 1997].

Nota-se que as fibras de pena e penugem possuem maior alongamento que as fibras vegetais, porém, menor alongamento que as fibras de seda, lã e mohair.

Observa-se, assim, que as fibras de pena e penugem possuem maior alongamento que as fibras vegetais, no entanto, menor alongamento que as fibras de seda, lã e mohair.

3.3.9.2 Medição da Tenacidade das Fibras

A tenacidade da fibra varia muito em relação ao material, sua natureza e organização molecular. Por isso, o título e o comprimento vão diretamente influenciar o resultado da tenacidade. O cálculo para conhecer a tenacidade foi realizado com valores individuais de título para cada fibra.

Na tabela 32, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da tenacidade de cada fibra.

Tabela 32. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (cN/tex)	Desvio Padrão (cN/tex)
PF	156,3	25,8
PdF	44,7	17,9
PPT	110,5	18,5
PdPT	243,4	84,2
PPR	82,6	11,4
PdPR	69,5	29,0
PG	111,3	10,0
PdG	206,5	41,1

O gráfico 16, mostra os histogramas dos resultados da tenacidade das fibras de penas e penugens.

Gráfico 16. Histograma da tenacidade das penas e das penugens

Percebe-se que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 73,7 cN/tex entre as penas e 198,7 cN/tex entre as penugens. Assim, a variação da tenacidade das penas e, sobretudo das penugens é consideravelmente grande.

Nos gráficos 22 e 23 (apêndice), observa-se o teste de normalidade do alongamento das fibras onde, o valor de p ($> 0,06$) das penas é maior que 0,05 e o valor de p ($< 0,01$) das penugens é menor que 0,05. Portanto, pode-se a normalidade do primeiro teste e rejeita-se a normalidade do segundo teste. Justifica-se a não normalidade nas fibras de penugens pois, as penugens de ganso e sobretudo as de pato apresentaram valores muito dispersos da média, devido à sua heterogenidade natural.

No gráfico 21 (apêndice), ANOVA nota-se, que a maioria das fibras são homogêneas com exceção das penugens de ganso e pato. A penugem de pato apresenta um grande coeficiente de variação.

Na tabela 33, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 33. Significância da média da tenacidade das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	S	S	NS	S			
PdPR	S	NS	S	S	NS		
PG	S	S	NS	S	NS	S	
PdG	S	S	S	S	S	S	S

Percebe-se que as únicas fibras que são significantemente diferente de todas as outras são as fibras de frango e penugem de pato.

Comparando com outras fibras têxteis, pode-se notar que a tenacidade média da fibra de lã é 12,7 cN/tex, da fibra de lã de mohair é 16,7 cN/tex, da seda é 38 cN/tex, ramie é 59 cN/tex, algodão é de 19 a 45 cN/tex, flax é 54 cN/tex, juta é 31 cN/tex, cânhamo é 47 cN/tex [HUNTER et al., 2008] [MORTON, 1997]. A tenacidade da pena de peru e da penugem de frango e peru são mais próximas das demais fibras naturais vegetais e animais. No entanto, as fibras de pena e de penugem com alto valor de tenacidade são mais resistentes à ruptura que as fibras naturais comercialmente existentes.

A fibra possui cavidades tubulares dentro da estrutura, por isso resulta em uma resistência de material desejável, sem perder a baixa massa volúmica (característica marcante da fibra de pena de frango).

Constata-se, que, com exceção da penugem de frango, todas as fibras de pena e de penugem possuem maiores valores de tenacidade que as fibras convencionais citadas neste texto.

3.3.9.3 Medição da Força de Ruptura das Fibras

A importância dos ensaios de tensão-deformação se deve às forças as quais as fibras são submetidas na manufatura de outros produtos e nas várias aplicações finais. Na tabela 34, observam-se os valores médios da força de ruptura de cada fibra de pena e penugem estudadas e os valores de média e desvio padrão da força de ruptura de cada fibra.

Tabela 34. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (cN)	Desvio Padrão (cN)
PF	170,8	13,1
PdF	26,3	8,6
PPT	123,8	9,3
PdPT	76,1	17,8
PPR	82,6	11,4
PdPR	23,6	6,4
PG	133,6	12,1
PdG	60,4	13,3

O gráfico 17, mostra os histogramas dos resultados da força de ruptura das fibras de penas e penugens.

Gráfico 17. Histograma da força de ruptura das penas e das penugens

Nota-se que as fibras de penas e penugens têm uma variação de 88,2cN entre as penas e 52,9cN entre as penugens. A diferença de variação da força de ruptura entre as fibras é consideravelmente grande.

Nos gráficos 26 e 27 (apêndice), observa-se o teste de normalidade da força de ruptura das fibras onde, o valor de p ($> 0,15$) das penas é maior que 0,05 e o valor de p ($< 0,01$) das penugens

é menor que 0,05 . Portanto, pode-se aceitar a normalidade do teste das penas e rejeita-se a normalidade do teste das penugens.

No gráfico 25 (apêndice) ANOVA nota-se certa variação de todas as fibras em relação à linha central das médias. Em geral, observa-se que entre as penas, a pena de frango possui o valor maior e a pena de peru o menor valor. Entre as penugens, a pena de frango e peru se encontram na mesma escala de valores.

Na tabela 35, verifica-se o grau de significância das médias.

Tabela 35. Significância da média da força de ruptura das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	S	S	S	NS			
PdPR	S	NS	S	S	S		
PG	S	S	NS	S	S	S	
PdG	S	S	S	S	S	S	S

Percebe-se que as únicas fibras que não apresentam uma diferença significativa são: penugem de frango com penugem de peru; pena de pato com pena de ganso e penugem de pato com pena de peru. A única fibra que é significativamente diferente entre todas as outras fibras é a pena de frango.

Observa-se, então que a fibra com maior força de ruptura é a fibra de pena de frango e a menor é a fibra de penugem de peru.

3.3.10 Teste de Molhabilidade Sob Compressão

Observa-se, de acordo com a análise de umidade, que as fibras de pena são pouco higroscópicas. Ou seja, as fibras têm capacidade de absorver a umidade em média de 7,8% (item 4.4.4).

Na figura 57, observa-se o teste de compressão de uma gota de água sobre a pena.

Figura 58. Gota de água sobre uma pena de peru antes e depois da pressão.

Os resultados do teste de compressão da gota de água são mostrados na tabela 36.

Tabela 36. Ângulo de contato do antes e do depois da compressão mecânica.

Ângulo de Contato	Antes (θ)	Depois (θ)
Frango	135,7	116,6
Pato	125,9	102,6
Peru	132,7	119,8
Ganso	137,8	119,2

De acordo com a literatura, para cada ângulo de contato existe um tipo de superfície de material (Tabela 8) [MELKI, 2014].

No gráfico 18, observam-se os ângulos de contato do antes e do depois de cada compressão para os tipos de penas dos quatro animais e suas respectivas barras de erro.

Gráfico 18. Ângulo de contato (θ) antes e depois da compressão mecânica.

Nota-se no gráfico 18 que para todas as penas o ângulo de contato foi superior a 102 θ . Logo, elas podem ser classificadas como hidrofóbicas de acordo com a tabela 8, assim como os materiais plásticos, por exemplo.

Observa-se que as barras de erro dos testes após a compressão são, logicamente, maiores, já que, os resultados posteriores sofrem uma ação mecânica. Verifica-se, também, que todos os ângulos de contato após a compressão são, em média, 18 θ menores.

No gráfico 19 a e b, analisa-se os testes de diferença entre médias utilizando a análise de dados emparelhados t-test.

Gráfico 19. Teste de diferença entre médias do antes e do depois da compressão da gota de água.

Observa-se no gráfico 19-b que o eixo vertical (diferença de médias do antes e do depois da compressão) mostra que a variação através dos pares analisados muda em função dos grupos. Ou seja, neste caso, os valores no eixo vertical são os dados emparelhados entre o ângulo de contato da gota de água na superfície das penas antes e depois da compressão mecânica. E, o eixo horizontal (média) mostra que o resultado médio para um indivíduo varia em função dos grupos ou que o valor do eixo horizontal, neste caso, é determinado por cada média de cada uma das quatro amostras realizada durante o estudo.

Constata-se no gráfico 19 que a maioria das diferenças dos dados emparelhados são negativas. Isso quer dizer que quase todas as amostras do estudo tiveram uma baixa diferença de valor depois da compressão, ou seja, que todas as gotas de água comprimidas tiveram baixa absorção de água pelas penas.

O fato de haver uma linha horizontal em 0 (Gráfico 19-a), do intervalo de confiança abranger ou ser bem próximo à 0 e do p-valor do teste bicaudal ser $(\text{Prob} > |t|) 0,0119$ significa que aceita-se a hipótese nula de que não há mudanças significativas ($\alpha = 0,05$) depois da compressão das gotas das quatro amostras.

A linha vermelha do gráfico 19-b, em destaque, mostra onde ocorre a maior concentração da densidade de dados da diferença do resultado antes e após a pressão mecânica das gotas de água. As linhas tracejadas fornecem 95% de intervalo de confiança para a verdadeira média da diferença do antes e o depois da pressão. Nota-se, claramente no gráfico 19, portanto, que a média da diferença é de cerca de 18 θ .

O gráfico 20 apresenta a média da diferença entre o ângulo de contato do antes e do depois da compressão.

Gráfico 20. Boxplot da média da diferença entre o ângulo de contato do antes e do depois da compressão.

Através da equação de Young, a qual relaciona o ângulo de contato (θ) formado por uma gota de água sobre a superfície das penas às tensões interfaciais (γ), pode-se explicar o baixo grau de molhabilidade das penas através da sua estrutura física. Sabe-se que valores baixos de θ indicam que o líquido espalha, ou molha, e altos valores indicam pouca molhabilidade.

Como a figura 57 apresentada anteriormente mostra, a fibra de pena é constituída de ramificações e sub-ramificações (bárbole anterior e posterior) que criam uma superfície rugosa da fibra. Logo, essa superfície (área de superfície com baixa energia molecular) apresenta menor ângulo de contato com a superfície do líquido em gota (a tensão superficial da gota não é quebrada devido ao baixo contato físico com o material) ocasionando o efeito de repulsão do líquido. Sabe-se também que a β - Queratina que compõe as penas é naturalmente repelente a líquidos.

Para um material fibroso hidrofóbico, pode-se pensar em aplicações às quais necessitam de estabilidade ao retraimento à umidade, como por exemplo, um painel acústico.

3.4 Análise Térmica das Penas e Penugens

Nesta secção, análises de condutividade térmica e determinação da taxa de retração foram realizadas.

3.4.1 Medição da Condutividade Térmica das Fibras

A principal função de um têxtil é a proteção das baixas e altas temperaturas. Normalmente, as propriedades térmicas do material fibroso dependem de (i) propriedades térmicas de cada fase (fibra e ar) (ii) volume da fibra (iii) tamanho, orientação e distribuição da massa da fibra [MORAN et al., 2006].

Na tabela 37, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da condutividade térmica de cada fibra.

Tabela 37. Tabela de média e desvio padrão das fibras de pena e penugem.

Fibras	Média (W/cm °C)	Desvio Padrão (W/cm °C)
PF	0,010	0,002
PdF	0,007	0,003
PPT	0,003	0,001
PdPT	0,002	0,001
PPR	0,014	0,005
PdPR	0,005	0,001
PG	0,006	0,002
PdG	0,007	0,003

O gráfico 21, mostra os histogramas dos resultados da condutividade térmica das fibras de penas e penugens.

Gráfico 21. Histograma da condutividade térmica das penas e das penugens

Nos gráficos 30 e 31 (apêndice) observa-se o teste de normalidade da condutividade térmica das fibras onde, o valor de p ($> 0,15$) das penas e das penugens é maior que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade dos testes.

No gráfico 29 (apêndice) ANOVA nota-se, que a maioria das fibras não é homogênea com exceção das penugens de frango e ganso. A pena de peru apresenta um grande coeficiente de variação comparado com os demais resultados.

Na tabela 38 verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Tabela 38. Significância da média da condutividade térmica das fibras de penas.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	NS				
PPR	S	S	S	S			
PdPR	S	NS	NS	S	S		
PG	S	NS	S	S	S	NS	
PdG	S	NS	S	S	S	NS	NS

Constata-se que as fibras que são significativamente diferente de todas as outras são pena de frango e de peru.

Comparando com outras fibras, nota-se que as fibras de penas e penugens apresentam maiores valores de condutividade térmica do que as fibras de algodão (0,0461 a 0,0710 W/cm °C), viscose (0,0289 W/cm °C), acrílica (0,0200 W/cm °C), lã (0,0193 a 0,0540 W/cm °C), seda (0,0500 W/cm °C), e poliéster (0,0141 W/cm °C) [SOUTINHO, 2006] e [MORTON, 1997]. A fibra de lã e de poliéster possuem valores próximos aos das fibras de pena de peru. No entanto, todas as outras fibras de penas e penugens apresentam maior condutividade térmica que as fibras empregadas no mercado estudadas anteriormente.

Verifica-se no item I.3 (apêndice) que a estrutura interna das fibras de penas e penugens é porosa e possui vários micros tubos. Justifica-se, então, a boa capacidade de condutividade térmica das fibras de penas e penugens em relação às fibras comercialmente existentes, pela estrutura física (porosa) das fibras.

Constatou-se, então que as fibras de penas e penugens apresentam maiores valores de condutividade térmica do que as fibras comerciais citadas anteriormente.

3.4.2 Determinação da Taxa de Retração

A percentagem de retração em relação à medida inicial foi calculada. Os resultados se encontram na tabela 39.

Tabela 39. Resultado de retração à fervura da fibra de penas.

	Porcentagem (%)
Pena de Frango	0,00
Pena de peru	0,00
Pena de Pato	0,00
Pena de Ganso	0,00

Verifica-se que cinco corpos de prova foram preparados para cada tipo de fibra de cada animal. Cada feixe de fibras de ganso e de peru obtiveram 1,7g, pois o material possui 50 mm de comprimento e de fibras de pato e frango 1,0g, pois o material possui 30 mm de comprimento. Ao realizar o teste, detectaram-se problemas de escorregamento da fibra com o suporte de teste (Anexo II. 1.). Durante a fervura as fibras ficaram frágeis e algumas medidas foram perdidas, pois se quebraram. Apenas doze feixes 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 mesmo para confirmar os resultados.

As fibras naturais de lã e de outros animais são conhecidas pela capacidade de encolhimento. Porém, a fibra de pena não apresenta a mesma característica. A característica de 0% de encolhimento da fibra de penas 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, o rompimento devido à mudanças de temperatura e estabilidade dimensional no produto fabricado.

3.5 Análise Acústica das Penas e Penugens: Coeficiente de Absorção (α)

Os resultados do coeficiente de absorção acústico das fibras de penas estão apresentados no gráfico 22.

Gráfico 22. Coeficiente de absorção acústico das penas de frango, pato, peru e ganso.

A tabela 40 apresenta os coeficientes de absorção acústico das fibras de penas e de outras fibras naturais. As frequências analisadas foram em 500 kHz, 1.000 kHz, 2.000 kHz e 4.000 kHz.

A audição humana é capaz de perceber frequências sonoras de 20Hz até 20.000 Hz, porém as ondas de baixas frequências (menores que 500Hz) são prejudiciais à saúde humana. Por isso, este estudo se concentrará nos coeficientes de absorção em baixas frequências.

Tabela 40. Coeficientes de absorção acústico de fibras [MOHAMMAD et al., 2013].

Coeficientes de Absorção Acústica de Fibras Naturais (α)	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz
Frango	0,13	0,13	0,15	0,21
Pato	0,09	0,14	0,15	0,30
Peru	0,10	0,15	0,17	0,65
Ganso	0,16	0,15	0,14	0,23
Côco	0,12	0,46	0,97	0,78
Milho	0,16	0,28	0,81	0,90
Vidro	0,14	0,45	0,98	0,70
Cana de Açúcar	0,13	0,88	0,63	0,78

Observando a tabela 40, verifica-se que, em geral, a fibra de vidro possui um bom resultado. Porém as aplicações para essa fibra podem ser limitadas, visto que, pode apresentar riscos para a saúde e para o meio-ambiente [MOHAMMAD et al., 2013].

Nesta tese, optou-se pela análise acústica seguindo o método da norma NF EN ISO 11654, o qual se leva em consideração o coeficiente medido em 500 Hz. Esse método foi escolhido por ser o mais utilizado em empresas para medir o coeficiente sonoro.

Comparando os resultados em 500 Hz, nota-se que a fibra de pato apresenta o menor coeficiente ($0,09\alpha$) e a fibra de milho o maior coeficiente ($0,16\alpha$). O coeficiente das fibras de pena não aumentam muito, em função da ampliação das frequências em Hz, quanto às fibras de côco, milho, vidro e cana de açúcar aumentam. No entanto, Segundo a norma NF EN ISO 11654 o real valor do coeficiente está em 500Hz.

Portanto, verifica-se que os coeficientes de absorção sonora das penas são iguais ou muito próximos dos outros coeficientes apresentados na tabela 40.

Em baixas frequências de 500Hz, segundo a classificação do coeficiente de absorção apresentado no item 3.1.4.3, todas as fibras da tabela 38 possuem classificação E ($0,10-0,25$ Hz).

Na literatura, identificam-se algumas similaridades da estrutura morfológica das fibras de penas ligadas ao potencial de absorção acústica. O mecanismo de absorção acústico segue três aspectos: (1) quando ondas acústicas se propagam dentro do componente fibroso, o ar nos poros das fibras vibra e toca as paredes das células. A resistência viscosa gerada se torna energia acústica para a atenuação da energia térmica (2) O ar nos poros é aquecido quando comprimido, e resfriado quando expandido. A condução térmica em energia acústica dos materiais

transformada em energia térmica é irreversível (3) A vibração da própria fibra também pode ocasionar a dissipação de energia acústica. Estes três fenômenos cooperaram e trabalharam juntos nas ondas acústicas de modo que a energia acústica seja transferida [YANG et al., 2012] [ZHONG, 2012] e [LIMIN et al., 2014].

Portanto, nota-se que os materiais porosos influenciam a absorção sonora dos materiais. Observa-se no item I. 3 (apêndice) que as fibras das penas apresentam inúmeras micro porosidades ou cavidades ao longo de toda sua estrutura. Essa estrutura é assemelhada a um favo de mel. Por essa razão, o volume do ar fechado dentro das penas pode se mover e se deformar devido a um sistema massa-mola caracterizado por uma frequência de ressonância em que a energia é absorvida pela massa vibratória. Desta forma, pode-se dizer que essas micro estruturas podem desencadear boas propriedades de isolamento, graças ao “colchão” de ar apreendido no interior da sua estrutura tubular.

É importante mencionar os possíveis erros de medição devido à deformação e expansão de amostras no tubo de impedância. A razão é que a ausência de um agente ligante aumenta a resistência da superfície da amostra e mantém as fibras juntas. Na maioria das vezes, quando as fibras são adicionadas em outros materiais como em tecidos, por exemplo, os resultados podem mudar bruscamente. Portanto, os resultados acústicos realizados pelo tubo de Kundt fornecem apenas resultados indicativos dos coeficientes de absorção acústica.

3.6 Resumos dos Resultados das Propriedades das Fibras

Analisa-se a síntese dos resultados das propriedades das fibras de pena e penugem estudadas. Nas tabelas, considerou-se ++ maior valor; + segundo maior valor; - - menor valor e -segundo menor valor.

Tabela 41. Resumo das propriedades das fibras de pena

	Com p	Diâm	Tít.	Espess	Perme.	Along.	Tena	F. Rup.	Condu	Umid.	Re g.
Frango	- -	++	-	+	++	- -	++	++	+	+/-	-
Pato	+/-	-	+	++	-	++	-	-	- -	-/- -	- -
Peru	+/-	- -	++	- -	+	-	- -	- -	++	++	+
Ganso	++	+	- -	-	- -	+	+	+	-	++	++

Tabela 42. Resumo das propriedades das fibras de penugem

	Compr.	Diâm.	Tít.	Espess.	Perme.	Along.	Tenac.	F. Rup.	Condu.	Umid.	Re g.
Frango	- -	- -	++	- -	++	-	- -	-	-	- -	- -
Pato	+	+	-	++	- -	- -	++	++	- -	++	++
Peru	++	-	+	+/-	+	+	-	- -	+	-	-
Ganso	-	++	- -	+/-	-	++	+	+	++	+	+

Observa-se que a fibra de ganso possui o maior comprimento e a fibra de frango o menor. No entanto, esse parâmetro não é totalmente idêntico nas penugens. Assim como na fibra de pena, a penugem de frango apresenta o menor comprimento, porém o maior comprimento vem da penugem de peru. Essa diferença é explicada de acordo com o tamanho dos animais, logo é um parâmetro biológico.

Em relação ao diâmetro, a fibra de pena de frango possui o maior diâmetro e a penugem de frango o menor. Como visto no apêndice I. 3. 1. a pena de frango é a única que possui maior extensão da secção transversal. A secção também é bem definida em formato retangular, por isso ela apresenta maior diâmetro. A fibra de peru apresenta o menor diâmetro e a penugem de

ganso o maior. No apêndice I. 5. 1. d, pode-se notar visualmente que a penugem de ganso possui menor *fill power* (grande volume, pouca massa), ou seja, normalmente quando o diâmetro é maior, o *fill power* é menor. Observa-se que a pena e a penugem de ganso - maior *fill power* entre todas as penugens - possuem os menores títulos e a pena de peru e a penugem de frango os maiores títulos entre o grupo de pena e penugem respectivamente.

Tanto a pena quanto a penugem de pato apresentam a maior espessura entre as outras fibras estudadas. A textura e o volume da pena de pato pode ser nitidamente observada no apêndice I. 5. 1. c. A menor espessura é encontrada na fibra de peru e na fibra de penugem de frango. No apêndice I. 5. 1. b, observa-se que as penas de peru possuem textura e aparência mais suave e um maior volume de fibras na pena posterior.

As propriedades físicas das fibras, como o comprimento, diâmetro, título e espessura são provenientes da heterogeneidade de cada espécie de animal pois são parâmetros biológicos e naturais não controláveis pelo homem.

Na permeabilidade ao ar a fibra de frango e de penugem de frango apresentam a maior permeabilidade ao ar. O resultado da pena de frango é justificável pelo fato de apresentar o maior diâmetro. Pois, quanto maior o diâmetro das fibras, mais permeável ao ar elas são. Entre as fibras de penas, a que apresentou menor permeabilidade ao ar foi a de ganso e entre as penugens foi a de pato, onde nota-se que o diâmetro também possui um valor importante.

Nas fibras com maior permeabilidade, observa-se que o comprimento é o menor. Portanto, quando o comprimento das fibras de pena é pequeno, as fibras são mais permeáveis ao ar. Nota-se também que quanto mais espessa for a fibra menos ela será permeável ao ar.

O maior alongamento provém da fibra de pato e penugem de ganso e o menor da fibra de frango e penugem de pato. A maior tenacidade e força de ruptura vem da pena de frango e da penugem de pato e a menor vem da pena de peru, penugem de frango e peru. As fibras que apresentam maior coeficiente de condutividade térmica são as penas de peru e as penugens de ganso. As fibras que são bons isolantes térmicos são, portanto, as penas de pato e as penugens de frango. Os valores de umidade e regain mais altos foram os das penas de ganso e os de penugens de pato e os mais baixos foram das penas de pato e os das penugens de frango.

3.7 Nuvem de Pontos pelo Método Multivariados e Análise dos Componentes Principais: Coeficiente e Círculo de Correlação entre os Parâmetros Estudados

Para todos os testes estatísticos realizados o nível de significância foi fixado em 0,05.

3.7.1 Correlação dos Parâmetros das Fibras de Penas

A tabela 43 representa os coeficientes de correlação entre os diferentes parâmetros e o gráfico 23 apresenta o método multivariado de nuvem de pontos para analisar a correlação entre duas variáveis.

Tabela 43. Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados das fibras de pena.

	Espe ssura	Condutivi dade Térmica	Permeabili dade ao Ar	Títul o	Diâme tro	Alonga mento	Tenac idade	Compri mento
Espessura	1,00							
Condutividade Térmica	0,90	1,00						
Permeabilidade e ao Ar	0,10	0,37	1,00					
Título	0,02	0,05	0,20	1,00				
Diâmetro	-0,24	-0,01	0,37	-0,03	1,00			
Alongamento	-0,00	-0,14	-0,38	-0,16	0,00	1,00		
Tenacidade	-0,32	-0,05	0,61	-0,38	0,24	-0,15	1,00	
Comprimento	-0,15	-0,20	-	-0,51	0,04	0,22	-0,13	1,00
Força de Ruptura	-0,52	-0,22	0,52	-0,12	0,88	-0,10	-	0,04

Contribution à la Caracterisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur Valorisation Textile

De acordo com o gráfico 55 de correlação entre os parâmetros testados nas fibras de penas, verifica-se que:

- Uma forte correlação é encontrada entre: espessura x condutividade térmica (+0,9091), permeabilidade ao ar x tenacidade (+0,6031) e força de ruptura x diâmetro (+0,885);
- Uma média correlação é encontrada entre: espessura x força de ruptura (-0,5261), condutividade térmica x permeabilidade ao ar (+0,3790), permeabilidade ao ar x diâmetro (+0,3791), permeabilidade ao ar x alongamento (-0,3827), permeabilidade ao ar x força de ruptura (+0,5211), título x tenacidade (-0,3845) e título x comprimento (-0,5161);
- Uma fraca correlação é encontrada entre: espessura x permeabilidade ao ar (+0,1013), espessura x título (+0,0254), espessura x diâmetro (-0,2401), espessura x alongamento (-0,0015), espessura x tenacidade (-0,3230), espessura x comprimento (-0,1507), condutividade térmica x título (+0,0550), condutividade térmica x diâmetro (-0,0174), condutividade térmica x alongamento (-0,1465), condutividade térmica x tenacidade (-0,0526), condutividade térmica x comprimento (-0,2063), condutividade térmica x força de ruptura (-0,2213), permeabilidade ao ar x título (+0,2064), título x diâmetro (-0,0307), título x alongamento (-0,1638), título x força de ruptura (-0,1241), diâmetro x alongamento (+0,0065), diâmetro x comprimento (+0,0425), alongamento x tenacidade (-0,1549), alongamento x comprimento (+0,2260), alongamento x força de ruptura (-0,1049), tenacidade x comprimento (-0,1344), comprimento x força de ruptura (+0,0475).

Neste estudo, atenta-se para a análise das correlações apenas com fortes ligações.

3.7.1.1 Espessura x Condutividade Térmica

Verifica-se que o valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de 0,915 (Gráfico 24). Por isso quando a espessura aumenta a condutividade térmica também aumenta. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter forte, pois p de Pearson é maior que 0,600.

O modelo de equação da análise de regressão é $\text{Espessura (mm)} = 0,04672 + 43,73 \text{ Condutividade Térmica (W/cm } ^\circ\text{C)}$. Observa-se que o valor de R-Sq é de 83,7%, ou seja, o modelo explica 83,7% da variação experimental. Pode-se notar, então, que o modelo linear se ajusta bem em relação às amostras.

O gráfico 24 mostra a regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica.

Gráfico 24. Regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica.

3.7.1.2 Força de Ruptura X Diâmetro

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de 0,885 (Gráfico 25). Por isso quando a força de ruptura é maior pode-se notar que o diâmetro também é maior. O grau de correlação entre as duas variáveis é forte.

O modelo de equação da análise de regressão é Força de Ruptura (cN) = 14,54 + 2,862 Diâmetro da Fibra (µm). Nota-se que o modelo explica 78,1% da variação experimental.

O gráfico 25 mostra a regressão linear da força de ruptura em relação ao diâmetro.

Gráfico 25. Regressão linear da força de ruptura em relação ao diâmetro.

Gráfico 26. Regressão linear do diâmetro em relação à força de ruptura.

O gráfico mostra uma grande variabilidade no diâmetro e na força de ruptura. Basicamente as fibras de penas possuem valores de diâmetros de duas casas decimais e as fibras de penugem de apenas uma casa decimal. As fibras de penas possuem valores de força de ruptura de três casas decimais e as fibras de penugem de duas casas decimais. O ideal, seria reagrupar as amostras em relação ao diâmetro e à força de ruptura em dois gráficos de penas e penugens separadamente.

3.8 Análise de Componentes Principais das Penas e Análise Multivariada de Componentes Principais das Penas

No gráfico 27 encontram-se as análises dos parâmetros principais das fibras de penas.

Gráfico 27. Análise de APC das fibras de penas.

Verifica-se que os parâmetros de condutividade térmica, espessura, permeabilidade ao ar, tenacidade e força de ruptura se encontram próximos ao contorno do círculo por isso se considera significativo. No entanto, os parâmetros de alongamento, título, diâmetro e comprimento se encontram mais próximos ao centro do círculo e, portanto, considera-se não significativo.

Os componentes principais A1 e A2 representam 60,8% de informações, onde 33,6% correspondem ao A1 e 27,2% corresponde ao A2. As interpretações são, então, efetuadas de acordo com esses eixos.

Não foi possível desenvolver o terceiro eixo dos componentes principais, pois as correlações entre os parâmetros não são de caráter forte. Por essa razão, decidiu-se desenvolver os dados em torno de dois eixos.

Os resultados mostram que existe uma forte anti-correlação (correlação inversa) entre a permeabilidade ao ar e o alongamento, ou seja, quando a permeabilidade ao ar aumenta, verifica-se que o comprimento das fibras de penas é menor. Uma forte correlação entre a condutividade térmica e o título é encontrada, ou seja, quanto maior o título for mais termo condutível a fibra será. Porém, nas análises de correlação linear anteriores (item anterior)

mostram que a condutividade térmica e o título possuem fraca correlação. Então, a anti-correlação encontrada na análise APC não será levada em conta neste caso. Outra forte correlação é encontrada entre a tenacidade e o diâmetro da fibra, sendo que, quanto maior o diâmetro da fibra, maior será sua resistência à ruptura, pois os ângulos dos parâmetros tendem à zero.

No Biplot, pode-se observar que os parâmetros se dividem em três grupos, os quais representam as influências dos mesmos parâmetros dentro de cada grupo. Os três grupos são espessura, condutividade térmica e título (1) permeabilidade ao ar, tenacidade, diâmetro e força de ruptura (2) e comprimento e alongamento (3).

O gráfico 28, mostra a análise multivariada dos componentes principais do grupo 1.

Gráfico 28. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 1.

Na análise multivariada dos três fatores, observa-se que a espessura, a condutividade térmica e o título são fortemente correlatos. Assim, quando o título é maior a espessura também é maior. No entanto a condutividade teria que ser inversamente proporcional. Fatores de diferenças morfológicas naturais das fibras podem ter sido o motivo do teste ter apontado a condutividade na mesma direção.

O gráfico 29, mostra a análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Gráfico 29. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Na análise multivariada dos três fatores, observa-se que não há uma correlação entre permeabilidade e tenacidade, diâmetro e força de ruptura. Porém, existe uma forte correlação entre a tenacidade, diâmetro e força de ruptura, ou seja, quando o diâmetro da fibra é maior, mais resistente a fibra será.

No grupo 3, verifica-se, nas análises anteriores, que o alongamento e o comprimento possuem uma fraca correlação (+0,2260).

3.9 Correlação dos Parâmetros das Fibras de Penugens

A tabela 44 representa os coeficientes de correlação entre os diferentes parâmetros e o gráfico 64 apresenta o método multivariado de nuvem de pontos para analisar a correlação entre duas variáveis.

Tabela 44. Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados das fibras de penugem.

	Espe ssura	Condutivi dade Térmica	Permeabili dade ao Ar	Títul o	Diâme tro	Alonga mento	Compri mento
Espessura	1,00						
Conductividade Térmica	0,52	1,00					
Permeabilidade e ao Ar	-0,13	0,32	1,00				
Título	-0,02	0,28	0,63	1,00			
Diâmetro	0,13	-0,25		-0,45	1,00		
Alongamento	0,19	0,29	0,03	0,03	0,07	1,00	
Tenacidade	-0,07	-	-0,62	-0,49	0,49	0,01	
Comprimento	0,24	-0,29	-0,78	-0,48	0,58	0,02	1,00
Força de Ruptura	-0,09	-0,31	0,54	-0,30	0,40	0,01	0,11

Contribuição à la Caracterização Física e Mecânica de Plumas em vue de leur Valorisation Textile

Gráfico 64. Correlações dos diversos parâmetros estudados nas fibras de penugens.

De acordo com o gráfico de correlação entre os parâmetros testados nas fibras de penugens, verifica-se que:

- Uma forte correlação é encontrada entre: permeabilidade ao ar x título (+0,6328), permeabilidade ao ar x tenacidade (-0,6276), permeabilidade ao ar x comprimento (-0,7812) e tenacidade x força de ruptura (+0,9382);
- Uma média correlação é encontrada entre: espessura x condutividade térmica (+0,5254), permeabilidade térmica x força de ruptura (+0,5401), título x diâmetro (-0,4519), título x tenacidade (-0,4932), título x comprimento (-0,4839), diâmetro x tenacidade (+0,4910), diâmetro x comprimento (+0,5889) e diâmetro x força de ruptura (+0,4039);
- Uma fraca correlação é encontrada entre: permeabilidade ao ar x espessura (-0,1384), título x espessura (-0,0267), diâmetro x espessura (+0,1333), alongamento x espessura (+0,1976), tenacidade x espessura (-0,0747), comprimento x espessura (+0,2443), força de ruptura x espessura (-0,0981), permeabilidade ao ar x condutividade térmica (+0,3208), título x condutividade térmica (+0,2821), diâmetro x condutividade térmica (-0,2560), alongamento x condutividade térmica (0,2958), alongamento x diâmetro (+0,0763), tenacidade x condutividade térmica (-0,3024), comprimento x condutividade térmica (-0,2898), força de ruptura x condutividade térmica (-0,3193), alongamento x permeabilidade ao ar (+0,0335), alongamento x título (+0,0337), força de ruptura x título (-0,3033), tenacidade x alongamento (+0,0158), comprimento x alongamento (0,0215), força de ruptura x alongamento (+0,0120), comprimento x tenacidade (+0,2359) e força de ruptura x comprimento (+0,1122).

Neste estudo, vamos nos atentar para a análise das correlações com fortes ligações.

3.9.1 Permeabilidade ao Ar X Título

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de 0,633 (Gráfico 30). Por isso, quando o título é maior a permeabilidade ao ar aumenta. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter forte, pois p de Pearson é maior que 0,600.

O modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ao ar ($L/m^2/s$) = $194,1 + 73,42$ Título (dtex). O modelo linear explica 38,5% da variação experimental.

O gráfico 30, mostra a regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao título.

Gráfico 30. Regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao título.

No gráfico 65, é possível identificar os grupos estratificados. O grupo A é composto das fibras de penugens de frango, o grupo B é formado das fibras de penugens de pato, peru e ganso. A amostra C da fibra de penugem de frango, foi a única a apresentar um valor de título que dispersa dos outros grupos. Esse valor é gerado devido à isotropia da natureza do material.

3.9.2 Permeabilidade ao Ar X Comprimento

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,781 (Gráfico 31). Por isso quando a permeabilidade ao ar aumenta o percebe-se que o comprimento das penugens é menor. O grau de correlação entre as duas variáveis é forte.

O modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ($L/m^2/s$) = 1212 - 219,4 Comprimento das Fibras (cm). O modelo linear explica 60,0% dos valores amostrais observados. Pode-se observar, desta forma, que o modelo se ajusta em relação às amostras.

O gráfico 31 mostra a regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao comprimento.

Gráfico 31. Regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao comprimento.

No gráfico, foi possível a identificação dos grupos. O grupo A é composto pelas fibras de penugem de frango, o B das fibras de penugem de peru e ganso e o C das fibras de penugem de pato.

3.10 Análise de Componentes Principais e Análise Multivariada de Componentes Principais das Penugens

No gráfico 32 encontram-se as análises dos parâmetros principais das fibras de penugens.

Gráfico 32. Análise de APC das fibras de penugens.

Verifica-se que os parâmetros de espessura, permeabilidade ao ar, tenacidade, força de ruptura e diâmetro se encontram próximos ao contorno do círculo por isso considera-se significativo. No entanto, os parâmetros de título, condutividade térmica e alongamento se encontram mais próximos ao centro do círculo e, portanto, considera-se menos significativo.

Os componentes principais A1 e A2 representam 61,3% de informações, onde 42,2% correspondem ao A1 e 19,1% corresponde ao A2. As interpretações são, então, efetuadas de acordo com esses eixos.

Não foi possível desenvolver o terceiro eixo dos componentes principais, pois as correlações entre os parâmetros não são de caráter forte.

Os resultados mostram que existe uma forte anti-correlação (correlação inversa) entre a permeabilidade ao ar e o diâmetro da fibra, ou seja, quanto maior a permeabilidade ao ar, menor o título da fibra será. Porém nas análises de correlação lineares anteriores (item 4.6.2 e 4.6.4) mostram que a permeabilidade ao ar e o diâmetro possuem fraca correlação. Então, a anti-correlação encontrada na análise APC não será levada em conta neste caso. Uma forte anti-correlação também é encontrada entre a permeabilidade e o comprimento das fibras, pois

quando maior for a permeabilidade ao ar das fibras, menor será o comprimento das fibras, pois o ângulo dos parâmetros tendem à zero.

No Biplot, pode-se observar que os parâmetros se dividem em três grupos, os quais representam as influências dos mesmos parâmetros dentro de cada grupo. Os três grupos são título e permeabilidade (1) condutividade térmica, alongamento e espessura (2) e comprimento, diâmetro, tenacidade e força de ruptura (3).

O título e a permeabilidade possuem uma forte correlação, como já discutido anteriormente.

O gráfico 33, mostra a análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Gráfico 33. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Na análise multivariada dos três fatores, observa-se que não há correlação entre alongamento e a espessura ou a condutividade térmica. Porém, existe uma correlação entre a condutividade térmica e a espessura, ou seja, quando a espessura das fibras for maior, mais isolante térmica ela será.

O gráfico 34, mostra a análise multivariada dos componentes principais do grupo 3.

Gráfico 34. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 3.

Na análise multivariada dos quatro fatores, observa-se que não há correlação entre o comprimento e o diâmetro, tenacidade e a força de ruptura. No entanto, existe uma forte correlação entre a o diâmetro, a tenacidade e a força de ruptura, já que, quando a fibra possui maior diâmetro, ela será mais resistente à ruptura. O comprimento da fibra, segundo a análise de ACP, é anti-correlato à permeabilidade ao ar.

3.11 Conclusão dos Resultados de Correlação das Fibras de Pena e Penugem

Para sintetizar os resultados mais pertinentes de correlação das fibras de penas e penugens as propriedades estudadas nas tabelas 45 e 46 foram analisadas.

Analisa-se a síntese dos resultados de correlação entre os parâmetros estudados nas fibras de pena e penugem. Nas tabelas, considerou-se ++ como forte correlação e + como moderada correlação.

Tabela 45. Resumo dos resultados de correlação entre as fibras de penas.

	Espessura	Condutividade Térmica	Permeabilidade ao Ar	Diâmetro	Tenacidade
Condutividade Térmica	++				
Permeabilidade ao Ar		+			
Diâmetro			+		
Alongamento			+		
Comprimento			++		
Força de Ruptura				++	++

Tabela 46. Resumo dos resultados de correlação entre as fibras de penugem.

	Espessura	Permeabilidade ao Ar	Diâmetro	Tenacidade
Condutividade Térmica	+			
Título		++		
Diâmetro				
Comprimento		++		
Força de Ruptura			+	++

Observa-se que as propriedades de espessura e de condutividade térmica são positivamente e fortemente correlatas para as fibras de penas e moderadamente correlatas para as fibras de penugem. Assim, como as correlações são lineares, quanto mais as fibras forem espessas maior será o valor do coeficiente térmico.

A relação em nível médio da tenacidade com a permeabilidade ao ar pode ser explicada pela estrutura interna das fibras. As fibras de pena e penugem possuem microcavidades parecidas

com um favo de mel como observado na figura 51. Quando existe alongamento das fibras há também um alongamento dos eixos internos. Então a estrutura fica mais compacta quanto maior for a tenacidade. Analisando a figura 52, nota-se que a fibra de pena de ganso possui menos microcavidades que as de frango, pato e peru. Além do mais, a estrutura interna é diferente das demais fibras, pois, se se observar as ranhuras da parede externa das fibras, nota-se que as microcavidades dessa fibra são fechadas internamente. Se as cavidades são fechadas, elas bloqueiam e encapsulam a passagem do ar, logo as fibras de ganso são menos permeáveis ao ar. Nesta relação, observa-se, então, que as fibras com maior porosidade possuem maior permeabilidade ao ar, maior tenacidade, logo maior força de ruptura.

Nota-se, que existe uma forte correlação entre a permeabilidade ao ar e o comprimento das fibras de pena e penugem, no entanto essa correlação é negativa. Portanto, verifica-se que quando há maior permeabilidade ao ar, o comprimento das fibras de pena é menor. Explica-se essa relação pois a área da fibra curta é logicamente menor que a da fibra longa, e portanto, o fluxo de ar passará mais facilmente entre as fibras curtas. Para um tecido, um maior número de fibras curtas será exigido para aumentar a permeabilidade, já que os espaços entre as fibras curtas será maior do que entre as fibras longas.

Na forte correlação para as fibras de pena e moderada correlação para as fibras de penugem entre o diâmetro da fibra e a força de ruptura, verifica-se que quanto maior for o diâmetro, mais resistente a fibra será, pois maior será a força intramolecular do material com maior massa diamétrica.

Analisou-se uma forte correlação entre a tenacidade e a força de ruptura. Assim, quando a tenacidade aumenta a força de ruptura, como esperado, também aumenta até levar o material à ruptura.

Entre a permeabilidade ao ar e a condutividade térmica pode-se constatar uma correlação moderada e positiva, ou seja, quanto mais resistente ao ar a fibra de pena for, mais termoresistente ela será. Por exemplo, dentre as fibras de penas estudadas, as fibras de pato e de ganso são as mais permeáveis ao ar e, portanto, são as que possuem melhor resistência térmica. Como a transferência de calor por condução é inversamente proporcional à profundidade do espaço de ar, considera-se que a pena de ganso possui boa probabilidade de ser um bom isolante térmico, já que, as fibras possuem cavidades compartimentadas e que não se comunicam entre elas.

Permeabilidade ao ar e diâmetro da fibra de pena possuem uma correlação moderada e positiva e permeabilidade ao ar e título da fibra de penugem apresentam uma correlação forte e positiva. Assim, quanto maior for o diâmetro ou o título das fibras, mais permeável ao ar a fibra será. Este fenômeno pode ser explicado pois quanto mais finas as fibras forem, menores serão os espaços entre uma fibra a outra.

A permeabilidade ao ar e o alongamento das fibras de pena são positivamente e moderadamente correlatas. Desta forma, quanto menor for o alongamento das fibras, menor será o fluxo de ar que atravessará o material pois, quanto mais estável e menos elástica a fibra for, menos ela irá se locomover e formar espaços os quais permitirão a entrada de ar.

Segunda Parte

A tabela de abreviações da primeira parte também será utilizada na segunda parte dos resultados e discussões.

Tabela 47. Legenda de abreviações das penas e penugens de cada animal.

PF	Pena de Frango
PdF	Penugem de Frango
PdFC	Penugem de Frango Cortada
PPT	Pena de Pato
PdPT	Penugem de Pato
PdPTC	Penugem de Pato Cortada
PPR	Pena de Peru
PdPR	Penugem de Peru
PdPRC	Penugem de Peru Cortada
PG	Pena de Ganso
PdG	Penugem de Ganso
PdGC	Penugem de Ganso Cortada
S	Significativo
NS	Não Significativo

3.12 Produção de Nãotecidos e Caracterização dos Nãotecidos de Penas e Penugens de 2g e 4g.

Os nãotecidos fabricados se encontram no apêndice I. 5. 2. Os produtos foram caracterizados de acordo com sua superfície, espessura, permeabilidade ao ar, condutividade térmica, alongamento e força de ruptura de forma a analisar os valores e a comparar com os nãotecidos já empregados no mercado e utilizados para as mesmas aplicações.

3.12.1 Análise Visual da Superfície

A figura 59 mostra as superfícies dos não tecidos de penas e penugens de cada animal.

Figura 59. Superfície dos não tecidos de penugem de (a) frango (b) peru (c) pato (d) ganso e pena de (e) frango (f) peru (g) pato e (h) ganso.

Primeiramente, pode-se observar que as fibras entrelaçadas entre elas formam uma superfície heterogênea composta por fibras irregulares curtas (a partir de 1,8 cm) e longas (até 5,7 cm). Os diâmetros das fibras de penas (até 47,6 μm) são maiores que os das penugens (até 12,4 μm). Os títulos das fibras de penas (até 12,0 dtex) são maiores que os das penugens (até 6,5 dtex). Verifica-se, portanto, que nos não tecidos de penugens encontra-se maior pilosidade causada pelo desarranjo das fibras curtas. No entanto, os não tecidos de penas, possuem, como já era esperado, a superfície menos homogênea, devido ao título e ao diâmetro das fibras serem maiores e, portanto a estrutura é mais rígida que as fibras de penugem. Desta forma, nota-se que os não tecidos de penugem apresentam uma aparência mais pilosa e uniforme devido às fibras curtas e finas. A direção de produção de todos os não tecidos ocorre na direção vertical.

3.13 Análise da Influência do Nãotecido de Polipropileno na Caracterização dos Nãotecidos de Penas e Penugens

O gráfico 35 apresenta os resultados obtidos nos testes de tração do nãotecido de polipropileno da penugem de frango cortada. É importante saber que a escolha do nãotecido de pena utilizado neste gráfico foi feita aleatoriamente.

Gráfico 35. Força de ruptura e alongamento dos nãotecidos de polipropileno e penugem de frango cortada.

Analisando o comportamento de tração, verifica-se que o nãotecido de pena apresenta uma deformação estrutural menor que o nãotecido de polipropileno.

O efeito das duas camadas de nãotecido de polipropileno não afeta significativamente os resultados de resistência dos nãotecidos de pena e penugem. Desta forma, pode-se afirmar que não há influência do nãotecido de polipropileno sob os nãotecidos de penas devido ao alto grau de perfuração das agulhas, ocasionando o dano ao nãotecido de pena durante a fabricação.

Observa-se na figura 53 que a camada do nãotecido de polipropileno colocada como suporte para a camada de fibra de penas foi quase totalmente fraccionada depois da confecção do nãotecido. Por isso, a influência do nãotecido de polipropileno será nula nos resultados de caracterização.

3.14 Medição da Espessura dos Nãotecidos

Na tabela 48, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da espessura de cada nãotecido.

Tabela 48. Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem.

Nãotecido		Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
PF	2g	148,2	11,0
	4g	227	12,4
PdF	2g	97	11,2
	4g	157	13,5
PdFC	4g	199	27,0
PPT	2g	122	19,1
	4g	220	51,7
PdPT	2g	169	7,9
	4g	142	19,6
PdPTC	4g	207	19,3
PPR	2g	154	31,9
	4g	249	29,8
PdPR	2g	133	27,1
	4g	242	19,1
PdPRC	4g	221	10,1
PG	2g	182	22,9
	4g	350	27,9
PdG	2g	174	37,7
	4g	238	41,6
PdGC	4g	219	15,9

O gráfico 36, mostra os histogramas dos resultados da espessura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Gráfico 36. Histograma da espessura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Em geral, os nãotecidos de penas apresentam maior espessura que os nãotecidos de penugem e penugem cortada. Percebe-se que os nãotecidos das fibras de penas e penugens de 2g têm uma variação de 59,8 mm entre as penas e 76,8 mm entre as penugens. Os nãotecidos de 4g das fibras de penas, penugens e penugens cortadas têm uma variação de 129,8 mm entre as penas, 99,8 mm entre as penugens e 22,6 mm entre as penugens cortadas. Constatase que a variação da espessura dos nãotecidos de penugens é menor que a dos nãotecidos de penas.

Nota-se, assim que os nãotecidos de penugem possuirá melhores características de “caimento do tecido” e de pilosidade que os nãotecidos de pena.

É importante observar que os nãotecidos de penas e penugens foram produzidos sem um total controle de homogeneidade e de direcionamento das fibras. Desta forma, os nãotecidos não terão uma perfeita distribuição de material na superfície. Por isso, os valores estudados nessa secção são valores indicativos para obter um panorama sobre a espessura desses materiais.

Nos gráficos 34 e 35 (apêndice), observa-se o teste de normalidade de espessura dos nãotecidos onde, o valor de p ($> 0,15$) dos nãotecidos de 2g é maior que 0,05 e o valor de p ($< 0,01$) dos nãotecidos de 4g é menor que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade do primeiro teste e rejeita-se a normalidade do segundo teste. Justifica-se a não normalidade dos nãotecidos de 4g pois, os nãotecidos de pena de ganso 4g apresentam valores muito altos de espessura. Além do mais os nãotecidos de pato 4g e penugem de ganso 4g possuem coeficientes de variação muito dispersos, devido à sua heterogenidade natural.

No gráfico 33 (apêndice) (anova), nota-se, que a maioria dos nãotecidos se localiza ao redor da linha da média central com exceção do nãotecido de pena de ganso 4g, o qual possui uma elevada espessura em relação à média.

Os testes de comparação de médias avaliaram as diferenças entre as espessuras das amostras de penas e penugens. Desta forma, observa-se que nem todos os nãotecidos, embora confeccionados de penas e penugens e fabricados com o mesmo método, apresentam as mesmas características de espessura.

Na tabela 49 e 50, verificam-se o grau de significância detalhado de todos os nãotecidos.

Tabela 49. Significância da média da espessura dos nãotecidos de 2g.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	NS	NS					
PdPT	NS	S	S				
PPR	NS	S	S	NS			
PdPR	NS	S	NS	S	NS		
PG	S	S	S	NS	NS	S	
PdG	NS	S	S	NS	NS	S	NS

Observa-se que os resultados são muito variáveis, ou seja, neste caso, não há uma fibra a qual seja totalmente diferente ou igual às demais. No entanto, a fibra de penugem de frango apresenta diferenças significantes das demais fibras, com exceção da pena de pato.

Tabela 50. Significância da média da espessura dos não tecidos de 4g.

	PF	PdF	PdFC	PPT	PdPT	PdPTC	PPR	PdPR	PdPRC	PG	PdG
PF											
PdF	S										
PdFC	NS	S									
PPT	NS	S	NS								
PdPT	S	NS	S	S							
PdPTC	NS	S	NS	NS	S						
PPR	NS	S	S	NS	S	S					
PdPR	NS	S	S	NS	S	S	NS				
PdPRC	NS	S	NS	NS	S	NS	NS	NS			
PG	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
PdG	NS	S	S	NS	S	NS	NS	NS	NS	S	
PdGC	NS	S	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	S	NS

Na tabela de significância dos não tecidos de 4g, nota-se que a única fibra que é significativamente diferente das demais é a pena de ganso. No entanto, a penugem de frango também é significativamente diferente das outras com exceção da penugem de pato.

Conclui-se, que entre as amostras de 2g, o não tecido de penugem de frango apresenta maior diferença de espessura entre os demais. E entre as amostras de 4g, o não tecido de ganso é o que apresenta maior diferença, seguido dos não tecidos de penugem de frango e pato.

Os não tecidos de 2g apresentaram maior homogeneidade e, relação à espessura que os não tecidos de 4g.

3.15 Medição da Permeabilidade ao Ar dos Não tecidos

Devido ao modo como os fios e os tecidos são constituídos, uma grande proporção do volume total ocupado pelo não tecido é efetivamente ar. A distribuição dos espaços ou bolsas de ar influencia um elevado número de propriedades dos não tecidos tais como o isolamento térmico, a proteção contra o vento e a chuva, bem como a eficiência de filtragem nos tecidos industriais. Um exemplo deste último aspecto pode ser observado no saco dos aspiradores domésticos, cujo tecido deve permitir que o ar passe ao mesmo tempo em que deve evitar a passagem de poeiras e sujidades [ARAÚJO, 1987].

Na tabela 51, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da permeabilidade ao ar de cada não tecido.

Tabela 51. Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem.

Nãotecido		Média (L/m ² /s)	Desvio Padrão (L/m ² /s)
PF	2g	2326	381,9
	4g	1654	91,3
PdF	2g	1460	79,1
	4g	796	80,6
PdFC	4g	568	150,2
PPT	2g	2008	298,2
	4g	1516	265,2
PdPT	2g	596	45,1
	4g	643	112,3
PdPTC	4g	882	103,2
PPR	2g	2474	225,6
	4g	1938	293,3
PdPR	2g	1690	402,8
	4g	779	97,5
PdPRC	4g	802	95,7
PG	2g	2048	104,0
	4g	1494	286,8
PdG	2g	561	109,8
	4g	678	98,0
PdGC	4g	518	51,2

O gráfico 37, mostra os histogramas dos resultados da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Gráfico 37. Histograma da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Percebe-se que os não tecidos das fibras de penas e penugens de 2g têm uma variação de 466 L/m²/s entre as penas e 1129 L/m²/s entre as penugens.

Comparando os valores de permeabilidade ao ar dos não tecidos de 4g, percebe-se que as penas de frango (1654 L/m²/s), pato (1516 L/m²/s), peru (1938 L/m²/s) e ganso (1494 L/m²/s) são mais permeáveis que as penugens de frango (0796 L/m²/s), pato (0643 L/m²/s), peru (0779 L/m²/s), ganso (0678 L/m²/s), penugem de frango cortada (0568 L/m²/s), penugem de pato cortada (0882 L/m²/s), penugem de peru cortada (0802 L/m²/s) e penugem de ganso cortada (0518 L/m²/s). Essa característica pode ser explicada pelo diâmetro. Penas de frango, pato, peru e ganso apresentam maior diâmetro que as penugens e as penugens cortadas. Em outras palavras, o fluxo de ar que passa através dos não tecidos de penugens é menor do que o que atravessa os não tecidos de penas. Outras propriedades podem influenciar a permeabilidade ao ar, por exemplo: a massa do tecido, porosidade e a espessura.

Os não tecidos de 4g das fibras de penas, penugens e penugens cortadas têm uma variação de 444 L/m²/s entre as penas, 153 L/m²/s entre as penugens e 363 L/m²/s entre as penugens cortadas. Constata-se que a variação da permeabilidade ao ar dos não tecidos de penugens 4g é a mais baixa.

No gráfico 39 e 40 (apêndice), observa-se o teste de normalidade da permeabilidade ao ar dos não tecidos onde, o valor de p (> 0,013) dos não tecidos de 2g é maior que 0,05 e o valor de p (< 0,01) dos não tecidos de 4g é menor que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade do primeiro teste e rejeitar a normalidade do segundo teste. Justifica-se a não normalidade dos não tecidos de 4g pois a análise foi desenvolvida com não tecidos de penas e penugens juntas. Para uma análise de normalidade mais aprofundada, recomenda-se a separação não só em massa mas também nos diferentes tipos de não tecidos trabalhados nesta pesquisa.

No gráfico 38 (anova), nota-se, que existe uma divisão dos resultados em penas e penugens independentemente da massa. Os não tecidos de penas são mais permeáveis que os não tecidos de penugens, com exceção da penugem de peru 2g, a qual é tão permeável quanto um não tecido de pena. Observa-se também que entre os não tecidos de penas, os mais permeáveis são obviamente os de 2g por apresentarem menor espessura. Os não tecidos de penas e os não tecidos de penugens de peru 2g apresentam altos coeficientes de variação.

Nas tabelas 52 e 53 verifica-se o grau de significância das médias dos nãotecidos com 2g e 4g.

Tabela 52. Significância da média da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 2g.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	S				
PPR	NS	S	S	S			
PdPR	S	NS	S	S	S		
PG	NS	S	NS	S	S	S	
PdG	S	S	S	NS	S	S	S

Observa-se que nenhuma fibra é completamente diferente da outra. No entanto, a fibra de peru não é significativamente diferente da fibra de frango e a fibra de penugem de peru não é significativamente diferente da fibra de penugem de frango.

Tabela 53. Significância da média da permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 4g.

	PF	PdF	PdFC	PPT	PdPT	PdPTC	PPR	PdPR	PdPRC	PG	PdG
PF											
PdF	S										
PdFC	S	S									
PPT	NS	S	S								
PdPT	S	S	NS	S							
PdPTC	S	NS	S	S	S						
PPR	S	S	S	S	S	S					
PdPR	S	NS	S	S	NS	NS	S				
PdPRC	S	NS	S	S	NS	NS	S	NS			
PG	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S		
PdG	S	NS	NS	S	NS	NS	S	NS	NS	S	
PdGC	S	S	NS	S	NS	S	S	S	S	S	NS

A única fibra significativamente diferente das demais é a fibra de pena de peru.

Na literatura, encontrou-se os valores de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de lã (2400 a 3450 L/m²/s), algodão (1000 a 1250 L/m²/s), tencel (1000 a 1750 L/m²/s) e poliéster (900 a 1490 L/m²/s) [GHAL et al, 2014]. Observa-se que os valores citados variam de acordo com a espessura dos nãotecidos. Comparando os dados da literatura com os nãotecidos produzidos

nesta pesquisa, afirma-se que os não tecidos de penugem e alguns de pena são menos permeáveis que os não tecidos encontrados na literatura.

Conclui-se que entre as amostras de 2g, os não tecidos de penugem de ganso e pato apresentam maior diferença de permeabilidade ao ar entre os demais. E entre as amostras de 4g, observa-se uma divisão em dois grupos de valores entre as amostras de penas e penugens e penugens cortadas.

3.16 Ensaio de Tração: Alongamento e Força de Ruptura dos Não tecidos

Na tabela 54, apresenta-se os valores de média e desvio padrão do alongamento de cada não tecido.

Tabela 54. Tabela de média e desvio padrão dos não tecido de pena e penugem.

Não tecido		Média (%)	Desvio Padrão (%)
PF	2g	55,7	21,3
	4g	53,5	10,2
PdF	2g	61,0	14,0
	4g	89,0	29,6
PdFC	4g	68,7	22,8
PPT	2g	53,1	16,2
	4g	46,7	10,5
PdPT	2g	91,7	15,6
	4g	104,5	37,9
PdPTC	4g	76,0	15,1
PPR	2g	54,2	12,1
	4g	57,1	13,0
PdPR	2g	73,4	24,7
	4g	79,9	26,9
PdPRC	4g	79,1	13,8
PG	2g	63,7	10,6
	4g	70,2	20,3
PdG	2g	73,5	23,5
	4g	73,9	24,0
PdGC	4g	86,6	20,5

Na tabela 55, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da força de ruptura de cada não tecido.

Tabela 55. Tabela de média e desvio padrão dos nãotecido de pena e penugem.

Nãotecido		Média (cN)	Desvio Padrão (cN)
PF	2g	4,1	2,1
	4g	5,3	1,6
PdF	2g	6,6	1,8
	4g	10,0	2,7
PdFC	4g	7,9	2,9
PPT	2g	4,6	2,1
	4g	5,6	2,5
PdPT	2g	9,3	1,4
	4g	17,2	10,0
PdPTC	4g	6,2	1,6
PPR	2g	3,2	1,5
	4g	3,6	0,3
PdPR	2g	7,0	2,4
	4g	10,6	3,4
PdPRC	4g	10,6	4,7
PG	2g	5,0	2,1
	4g	5,2	1,2
PdG	2g	8,4	2,5
	4g	10,9	1,2
PdGC	4g	7,3	1,0

O gráfico 38, apresenta uma curva de força por alongamento de 5 nãotecidos de pena de peru de 4g e 5 nãotecidos de polipropileno.

Gráfico 38. Curva de força por alongamento de nãotecidos de pena de peru de 4g.

Comparando os dois gráficos, percebe-se que os nãotecidos de polipropileno 15g/m² são mais resistentes que os de pena de peru 267g/m². O alongamento observado do polipropileno vai até 100% de deformação com força de aproximadamente 37N e o da pena vai de 55 a 80% com força de aproximadamente 4N.

O gráfico 39, mostra os histogramas dos resultados do alongamento e força de ruptura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Gráfico 39. Histograma do alongamento e da força de ruptura dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Na tabela 11 (apêndice), observam-se os valores médios do alongamento e da força de ruptura dos nãotecidos com 2g e 4g.

Percebe-se que os nãotecidos de 2g e 4g de penugem apresentam maior alongamento que os de pena e os de penugem cortada com exceção para o nãotecido de penugem de ganso cortada 4g (86,6%) o qual possui maior alongamento que o de penugem de ganso 4g (73,7%). Desta mesma forma, os nãotecidos de penugem 2g e 4g possuem maiores valores de força de ruptura como esperado.

Ainda de acordo com o gráfico, percebe-se que o nãotecido de penugem de pato 4g (104,5%) e 2g (91,7%) possuem uma média de alongamento bem próxima e representam os maiores valores de alongamento entre os outros nãotecidos estudados. No entanto, o menor alongamento é do nãotecido de pena de pato 4g (46,7%) e 2g (53,1%). Em geral, todos os nãotecidos de penugens são mais elásticos que os nãotecidos de penas.

Percebe-se que os nãotecidos das fibras de penas e penugens de 2g têm uma variação de alongamento de apenas 10,6% entre as penas e 30,8% entre as penugens. Os nãotecidos de 4g das fibras de penas, penugens e penugens cortadas têm uma variação de 16,7% entre as penas, 30,8% entre as penugens e 18% entre as penugens cortadas. Constata-se que a variação do alongamento dos nãotecidos não é grande.

Comparando com o nãotecido de poliéster por agulhamento, verifica-se que a maioria das amostras possuem alongamentos menores que 20%, ou seja, valor bem abaixo dos resultados dos nãotecidos de pena e, sobretudo, de penugem.

Percebe-se que os nãotecidos das fibras de penas e penugens de 2g têm uma variação de força de ruptura de 1,8 cN entre as penas e 2,7 cN entre as penugens. Os nãotecidos de 4g das fibras de penas, penugens e penugens cortadas têm uma variação de 2 cN entre as penas, 7,1 cN entre as penugens e 4,4 cN entre as penugens cortadas. Constata-se que a variação da força de ruptura dos nãotecidos não é grande.

Nota-se, desta forma, que nas análises de alongamento-força de ruptura, os nãotecidos de penugens são mais elásticos e, portanto mais resistentes que os nãotecidos de penas. Assim, o alongamento é altamente dependente e conectado à resistência de ruptura.

No gráfico 49 e 50 (apêndice), observa-se o teste de normalidade do alongamento dos nãotecidos de 2g e 4g onde, o valor de p ($> 0,15$) dos nãotecidos é maior que 0,05. Portanto, pode-se afirmar a normalidade dos testes.

No gráfico 51 (apêndice), observa-se o teste de normalidade da força de ruptura dos nãotecidos onde, o valor de p ($> 0,15$) dos nãotecidos de 2g é maior que 0,05 e o valor de p ($< 0,01$) dos nãotecidos de 4g é menor que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade do primeiro teste e rejeita-se a normalidade do segundo teste. Justifica-se a não normalidade dos nãotecidos de 4g pois os tecidos de penugem de pato possuem valores muito distantes dos outros tecidos como o gráfico X sem os valores dos nãotecidos de penugem de pato apresenta.

No gráfico 48 (apêndice) (anova) nota-se, que existe uma divisão visível dos valores do alongamento entre os nãotecidos de penas e as penugens. Os coeficientes de variação dos

nãotecidos de penugens variam bem mais do que os das penas. O maior coeficiente de variação é encontrado nas amostras de penugem de frango de 4g.

No gráfico nota-se uma homogeneidade entre os valores dos nãotecidos de penas e de penugens. No entanto, observa-se que quase não há variação de dados nos nãotecidos de penas enquanto que nos nãotecidos de penugens, encontram-se maiores coeficientes de variação, como por exemplo, o nãotecido de penugem de pato o qual apresenta valores muito dispersos.

Verifica-se que entre as amostras de 4g, o nãotecido de penugem de pato apresenta maior diferença de força de ruptura entre as demais amostras. Essa diferença aconteceu devido à apenas uma medida diferente da média. Essa amostra pode ter escorregado das garras do aparelho ou sofrido outra influência externa.

Tabela 56. Significância da média do alongamento dos nãotecidos de 2g.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	NS						
PPT	NS	NS					
PdPT	S	S	S				
PPR	NS	NS	NS	S			
PdPR	NS	NS	NS	NS	NS		
PG	NS	NS	NS	S	NS	NS	
PdG	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Observa-se, na análise de significância que os nãotecidos de fibras de penugem de pato são os únicos que são significativamente diferente dos demais nãotecidos, com exceção dos nãotecidos de penugem de peru e ganso os quais não apresentam diferenças.

Tabela 57. Significância da média do alongamento dos nãotecidos de 4g.

	PF	PdF	PdFC	PPT	PdPT	PdPTC	PPR	PdPR	PdPRC	PG	PdG
PF											
PdF	S										
PdFC	NS	NS									
PPT	S	S	NS								
PdPT	S	NS	S	S							
PdPTC	NS	NS	NS	S	S						
PPR	NS	S	NS	NS	S	NS					
PdPR	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS				
PdPRC	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS			
PG	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS		
PdG	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	
PdGC	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Na análise t student, nota-se que nenhum nãotecido é igual ao outro. No entanto, algumas fibras apresentam poucas diferenças. As amostras que possuem apenas um nãotecido significativamente diferente do outro são penugem de peru e peru cortado e pena, penugem e penugem cortado de ganso.

Tabela 58. Significância da média da força de ruptura dos nãotecidos de 2g.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	NS	NS					
PdPT	S	NS	NS				
PPR	NS	NS	NS	NS			
PdPR	S	NS	NS	NS	NS		
PG	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
PdG	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Observa-se que as únicas diferenças significativas encontradas entre os nãotecidos são pena de frango com penugem de frango, pato e peru. Todos os outros nãotecidos não apresentam diferenças entre eles.

Tabela 59. Significância da média da força de ruptura dos nãotecidos de 4g.

	PF	PdF	PdFC	PPT	PdPT	PdPTC	PPR	PdPR	PdPRC	PG	PdG
PF											
PdF	NS										
PdFC	NS	S									
PPT	NS	NS	NS								
PdPT	NS	S	NS	NS							
PdPTC	NS	NS	NS	NS	NS						
PPR	NS	NS	NS	S	NS	NS					
PdPR	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
PdPRC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
PG	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS		
PdG	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
PdGC	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Observa-se na tabela 59 que os únicos nãotecidos que apresentam diferenças significativas são o de penugem de frango com penugem de frango cortada e penugem de pato e pena de pato com pena de peru e ganso e penugem e penugem cortada de ganso.

3.17 Medição da Condutividade Térmica dos Não tecidos

Na tabela 60, apresenta-se os valores de média e desvio padrão da condutividade térmica de cada não tecido.

Tabela 60. Tabela de média e desvio padrão dos não tecido de pena e penugem.

Não tecido		Média (W/cm °C)	Desvio Padrão
PF	2g	0,287	0,021
	4g	0,203	0,031
PdF	2g	0,509	0,013
	4g	0,360	0,021
PdFC	4g	0,275	0,050
PPT	2g	0,388	0,022
	4g	0,223	0,033
PdPT	2g	0,374	0,017
	4g	0,205	0,008
PdPTC	4g	0,303	0,024
PPR	2g	0,320	0,024
	4g	0,209	0,023
PdPR	2g	0,416	0,018
	4g	0,286	0,026
PdPRC	4g	0,242	0,055
PG	2g	0,224	0,044
	4g	0,196	0,026
PdG	2g	0,347	0,025
	4g	0,218	0,044
PdGC	4g	0,274	0,033

O gráfico 40, mostra os histogramas dos resultados de condutividade térmica dos não tecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Gráfico 40. Histograma da condutividade térmica dos nãotecidos de pena e penugem de 2 e 4g.

Com relação aos resultados, nota-se que o nãotecido com a menor condutividade térmica é a pena de ganso 4g e com a maior é a penugem de frango 2g.

Na tabela 11, observam-se os valores médios da condutividade térmica dos nãotecidos com 2g e 4g.

Com exceção dos nãotecidos de pena de pato 2g e 4g constata-se que os nãotecidos de pena possuem menor condutividade térmica que os nãotecidos de penugem. Esta análise é justificável pois, a condutividade térmica equivale a quantidade de calor transmitida através de uma espessura. As fibras de penugens são, em geral, mais finas que as fibras de penas. Logo, a quantidade de calor que atravessa o material é inversamente proporcional à espessura.

Os nãotecidos das fibras de penas e penugens de 2g têm uma variação de condutividade térmica de 0,017 W/cm °C entre as penas e 0,015 W/cm °C entre as penugens. Os nãotecidos de 4g das fibras de penas, penugens e penugens cortadas têm uma variação de 0,003 W/cm °C entre as penas, 0,014 W/cm °C entre as penugens e 0,006 W/cm °C entre as penugens cortadas. Constata-se que a variação da condutividade térmica dos nãotecidos não é grande.

Nos gráficos 57 e 58 (apêndice), observa-se o teste de normalidade do alongamento dos nãotecidos de 2g e 4g onde, o valor de p ($> 0,15$) dos nãotecidos de 2g é maior que 0,05 e o valor de p ($< 0,01$) dos nãotecidos de 4g é menor que 0,05. Portanto, pode-se aceitar a normalidade do primeiro teste e rejeitar a normalidade do segundo teste.

No gráfico 56 (apêndice) (anova) nota-se, que as amostras estão próximas à linha da média de valores, com exceção do nãotecido de penugem de frango 2g, o qual possui alta dispersão em relação aos outros nãotecidos.

Os coeficientes de variação dos nãotecidos de 4g variam bem mais do que os das penas, já que o teste é feito em nãotecidos de duas estruturas diferentes (penugem e penugem cortada).

Justifica-se a não normalidade das amostras de 4g pois os nãotecidos possuem valores dispersos da média, devido à sua heterogeneidade natural e da análise dos dois tipos de estruturas juntas.

Tabela 61. Significância da média da condutividade térmica dos nãotecidos de 2g.

	PF	PdF	PPT	PdPT	PPR	PdPR	PG
PF							
PdF	S						
PPT	S	S					
PdPT	S	S	NS				
PPR	NS	S	S	S			
PdPR	S	S	NS	S	S		
PG	S	S	S	S	S	S	
PdG	S	S	S	NS	NS	S	S

Observa-se que os únicos nãotecidos que são totalmente diferentes dos demais são os de penugem de frango e pena de ganso. Os nãotecidos que não apresentam diferenças significantes são os de pena de peru com pena de frango, pena de pato com penugem de pato e peru e penugem de ganso com penugem de pato e pena de peru.

Tabela 62. Significância da média da condutividade térmica dos nãotecidos de 4g.

	PF	PdF	PdFC	PPT	PdPT	PdPTC	PPR	PdPR	PdPRC	PG	PdG
PF											
PdF	S										
PdFC	S	S									
PPT	NS	S	S								
PdPT	NS	S	S	NS							
PdPTC	S	S	NS	S	S						
PPR	NS	S	S	NS	NS	S					
PdPR	S	S	NS	S	S	NS	S				
PdPRC	NS	S	NS	NS	NS	S	NS	NS			
PG	NS	S	S	NS	NS	S	NS	S	S		
PdG	NS	S	S	NS	NS	S	NS	S	NS	NS	
PdGC	S	S	NS	S	S	NS	S	NS	NS	S	S

Constata-se que o único nãotecido que é significativamente diferente de todos os outros é o de penugem de frango.

Comparando com outros valores de nãotecidos encontrados na literatura observa-se que nãotecidos de fibra de vidro e cerâmica possuem condutividade térmica de 0,088 a 0,128 W/cm °C, ou seja, menos isolante que os nãotecidos de pena e penugem e nãotecidos de Nomex® possuem condutividade térmica de 0,0002415 a 0,0002424 W/cm °C, ou seja, possui melhores propriedades de isolamento é que os nãotecidos de pena e penugem [BANKS-LEE et al, 2004] e [VALLABH et al, 2008].

3.18 Medição do Coeficiente de Absorção Sonoro dos Nãotecidos

Materiais que reduzem a energia acústica de uma onda sonora quando ela passa através do material são chamados de materiais absorventes sonoros. Esse tipo de material é utilizado para isolar lugares fechados ou industriais e meios de transporte. Alguns materiais absorventes acústicos são nãotecidos, fibras de vidro e lã, feltros e espumas.

A *performance* dos materiais absorventes sonoros é mensurado através do coeficiente de absorção sonora (α). Por isso, os resultados do coeficiente de absorção acústico das fibras de penas estão apresentados na tabela 11 (apêndice) e os gráficos dos resultados no apêndice I. 6. O gráfico 41 expressa o resultado da absorção acústica do nãotecido de pena de frango 2g.

Gráfico 41. Coeficiente de absorção acústico do nãotecido de pena de frango 2g.

Interessou-se pela absorção do coeficiente acústico em baixas frequências, por esse motivo o α foi calculado em 500 Hz.

Percebe-se que, em geral, mais massa o material possui, mais o material vai absorver sons. Normalmente, o coeficiente de absorção de ruídos dos materiais fibrosos é afetado pelos fatores de porosidade, espessura, comprimento, diâmetro, massa volúmica e composição da fibra pois, as características dos constituintes também têm um efeito importante na absorção do som. Normalmente, as propriedades de absorção acústica e isolamento acústico de não tecidos dependem da geometria e da disposição das fibras na formação dos não tecidos. Verifica-se que fibras finas possuem melhor mobilidade do que as fibras grossas quando submetido à pressão de onda sonora. Portanto, a presença de fibras mais finas de uma estrutura fibrosa conduz a uma maior resistência do fluxo de ar e tortuosidade. Constata-se, portanto, que os não tecidos de penugens são mais propensos a possuir maior absorção sonora que os não tecidos de penas devido ao baixo diâmetro das fibras.

Um dos mais importantes fatores que influenciam a absorção sonora de um não tecido é a espessura do material. Segundo Ibrahim et al (1978) em baixas frequências, o aumento do coeficiente de absorção sonora aumentou quanto mais o material fosse fino, pois, quanto mais fibras finas houver, maior é a área de superfície. Observa-se, portanto, que os não tecidos de 267 g/m² (4g) apresentam maior coeficiente de absorção que os não tecidos de 133 g/m² (2g). Outro fator é o formato ou secção da fibra, pois diferentes formatos de fibras resultam em diferentes áreas de superfície. A secção transversal irregular faz com que a absorção sonora aumente. Assim, existe maior perda de transmissão - quantidade de som perdida quando o mesmo se transmite através de um material - do som em não tecidos de fibras com secções transversais com profundas ranhuras que os não tecidos de secções transversais circulares [YILMAZ, 2009 apud VAUGHN, 2003]. Verifica-se, que a secção transversal das fibras de penas e penugens não é regular, pois possuem diversas cavidades internas, convoluções e diversas “pontas”. Desta forma, constata-se que as fibras de pena e penugem podem conter boas propriedades de absorção sonora comparado com fibras convencionais.

O número, tamanho e o tipo de poros é um fator importante para o estudo do coeficiente de absorção. Para permitir a dissipação sonora, por atrito, a onda de som deve entrar no material poroso. Isso significa que deve ter poros o suficiente na superfície do material para que o som atravesse e seja atenuado. A porosidade de um material é definida como a razão entre o volume dos espaços vazios no material e seu volume total.

Segundo Hassanzadeh, o coeficiente de absorção sonora do não tecido é diretamente proporcional ao título e à massa do não tecido por unidade de área. O coeficiente sonoro aumenta quando a área da superfície fibrosa – títulos menores rendem mais fibras por unidade de massa - for maior. Percebe-se que maior a fricção entre as fibras, mais o ar aumenta com a área de superfície. Esse fenômeno resulta num alto coeficiente de absorção sonora, já que, existem grandes possibilidades de ondas sonoras interagirem com a estrutura das fibras. Portanto, os resultados sonoros realizados no tubo de Kundt mostram valores-referências. Por isso, pode-se assumir que os não tecidos de penugens absorvem mais ondas sonoras que os não tecidos de penas por apresentarem títulos menores.

Além do mais, a permeabilidade ao ar dos não tecidos é um parâmetro importante para a isolamento térmica e sonora. Por isso, observa-se que um maior fluxo de ar permite que o tecido absorva mais ruídos. Segundo Young et al (2007) tecidos de micro-fibras ou de fibras de baixo título absorvem melhor o som porque as suas fibras têm uma área de superfície maior do que as dos tecidos de fibras regulares, resultando numa maior resistência ao fluxo. Nos não tecidos a inserção de agulhas é realizada em um patamar leve, ou seja, considera-se que as amostras possuem estruturas menos densas do que os tecidos agulhados. Portanto, baixos valores de permeabilidade ao ar resultam em alta transmissão sonora e valores baixos resultam em menor isolamento sonora. Verifica-se, portanto, que os não tecidos com maior permeabilidade ao ar são os de penas.

Na tabela 63, observam-se outros valores de α de não tecidos de outros materiais.

Tabela 63. Coeficientes de absorção acústico dos não tecidos e sua classificação [SHOSHANI et al. 2000].

Coeficientes de Absorção Acústico dos Não tecidos (α)	500 Hz	Classificação
Pena e Penugem	0,13 - 0,33	E-D
Algodão	0,74	C
Acrílico	0,007	Sem classificação
Poliéster	0,027	E-D
Fibra de Vidro	0,69	C

Verifica-se que os não tecidos de algodão e de fibra de vidro apresentam maiores coeficientes de absorção sonora que os não tecidos de penas e penugens.

Apesar de todas as análises e indícios de quais fibras possuem o melhor coeficiente de absorção sonora, não é possível se certificar dos resultados encontrados. Por isso, é necessário realizar

outros testes de absorção sonora em uma câmara reverberante com amostras bem maiores. Esse teste não foi possível ser realizado devido à inviabilidade da produção de amostras maiores e da falta de uma câmara reverberante. Esse estudo foi relevante para uma primeira introdução do assunto e uma indicação geral dos resultados.

Os testes de comparação de médias permitiram avaliar as diferenças entre cada um dos diferentes não tecidos bem como o impacto de cada coeficiente sonoro de cada amostra. Desta forma, conclui-se que nem todos os não tecidos, embora confeccionados de penas e penugens e utilizando o mesmo método, apresentam os mesmos comportamentos de absorção acústica. Os resultados mostram a importância da diferença de penas e penugens de cada animal e sua homogeneidade, a qual demonstra qualidade do produto final.

3.19 Resumos dos Resultados das Propriedades dos Nãotecidos de 2g e 4g

Analisa-se a síntese dos resultados das propriedades dos nãotecidos de penugem, penugem cortada e pena nas variáveis de 2g e 4g. Nas tabelas, considerou-se ++ maior valor; + segundo maior valor; - - menor valor e - segundo menor valor.

Tabela 64. Resumo das propriedades dos nãotecidos de pena

	Espessura		Permeabilidade Ao Ar		Alongamento		Força de Ruptura		Condutividade Térmica		Coeficiente Sonoro	
	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g
PF	-	-	+	+	+	-	-	+/-	-	+/-	- -	++
PPT	- -	- -	- -	-	- -	- -	+	++	++	++	++	++
PPR	+	+	+	++	-	+	- -	- -	+	+/-	+/-	+/-
PG	++	++	-	- -	++	++	++	+/-	- -	- -	+/-	+/-

Pode-se observar na tabela 64, que o nãotecido de pato de 2g e 4g apresentam os menores valores de espessura, permeabilidade ao ar e alongamento. Em contrapartida, apresentam os maiores valores de força de ruptura, condutividade térmica e coeficiente sonoro. Ao que tange a isolamento sonora, o melhor nãotecido de pena são os nãotecidos de pato 2g e 4g. Para isolamento térmica, o melhor nãotecido de pena são os nãotecidos de ganso 2g e 4g. Consta-se também, que os que possuem maior alongamento e resistência são os nãotecidos de pena de ganso 2g e 4g. Os nãotecidos menos permeáveis ao ar são pena de pato 2g e pena de ganso 4g. Por fim, os nãotecidos de maior espessura são os de pena de ganso 2g e 4g e os nãotecidos de menor espessura são os de pena de pato 2g e 4g. Portanto os nãotecidos de pena de pato e peru 2g e 4g são os que se destacaram com os resultados.

Tabela 65. Resumo das propriedades dos nãotecidos de penugem e penugem cortada

	Espessura		Permeabilidade Ao Ar		Alongamento		Força de Ruptura		Condutividade Térmica		Coeficiente Sonoro	
	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g	2g	4g
PdF	- -	-	+	++	- -	+	- -	-	++	++	++	+/-
PdFC		- -		-		- -		+		+/-		++
PdPT	+	- -	-	- -	++	++	++	++	-	+/-	++	+/-
PdPTC		-		++		-		- -		++		++
PdPR	-	++	++	+	-	-	-	-	+	+	++	++
PdPRC		++		+		+		++		-		++
PdG	++	+	- -	-	+	- -	+	+	- -	+/-	++	+/-
PdGC		+		- -		++		-		+/-		+/-

Observa-se na tabela 65, que os nãotecidos de penugem mais resistentes e que se alongam mais são os de pato e penugem cortada de peru. Os nãotecidos de penugem 4g e penugem cortada 4g de peru e penugem de ganso 2g possuem maior espessura que os demais. Os menos permeáveis ao ar são os de penugem 2g e penugem cortada de ganso 4g. Constata-se também, que o nãotecido que possui a melhor propriedade de isolamento térmica é o de penugem de ganso 2g. Em relação à isolamento acústica quase todos os nãotecidos de penugem e penugem cortada apresentam a mesma grandeza de isolamento.

3.20 Nuvem de Pontos pelo Método Multivariados e Análise dos Componentes Principais: Coeficiente e Círculo de Correlação entre os Parâmetros Estudados

Para todos os testes estatísticos realizados o nível de significância foi fixado em 0,05.

3.20.1 Correlação dos Parâmetros dos Não tecido de Penas e Penugens de 2g e 4g

As tabelas 66 e 67 representam os coeficientes de correlação entre os diferentes parâmetros e os gráficos 42 e 43 apresentam o método multivariado de nuvem de pontos para analisar a correlação entre duas variáveis.

Tabela 66. Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados do não tecido de 2g.

	Espessura	Condutividade Térmica	Permeabilidade ao Ar	Coeficiente Sonoro	Alongamento	Força de Ruptura
Espessura	1,00					
Condutividade Térmica	-0,62	1,00				
Permeabilidade ao Ar	-0,25	-0,31	1,00			
Coeficiente Sonoro	-0,86	0,31	-0,12	1,00		
Alongamento	0,15	0,02	-0,52	0,07	1,00	
Força de Ruptura	0,16	0,31	-0,65	0,23	0,27	1,00

Contribution à la Caracterisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur Valorisation Textile

Gráfico 42. Matriz do gráfico de nuvens de pontos das correlações dos parâmetros estudados dos nãotecidos de 2g.

Primeiramente, verifica-se que não existe entre as correlações estudadas uma correlação perfeita.

De acordo com o gráfico 101 de correlação entre os parâmetros testados nos não tecidos de 2g, verifica-se que:

- Uma forte correlação é encontrada entre: espessura x condutividade térmica (-0,6200), coeficiente sonoro x espessura (-0,8600) e permeabilidade ao ar x força de ruptura (-0,6500);
- Uma média correlação é encontrada entre: permeabilidade ao ar x alongamento (-0,5200);
- Uma fraca correlação é encontrada entre: permeabilidade ao ar x espessura (-0,2500), permeabilidade ao ar x condutividade térmica (-0,3100), coeficiente sonoro x condutividade térmica (0,3100), coeficiente sonoro x permeabilidade ao ar (-0,1200), alongamento x espessura (0,1500), alongamento x condutividade térmica (0,0200), alongamento x coeficiente sonoro (0,0700), força de ruptura x espessura (0,1600), força de ruptura x condutividade térmica (0,3100), força de ruptura x coeficiente sonoro (0,2300) e força de ruptura x alongamento (+0,2700).

Neste estudo, atenta-se para a análise das correlações apenas com fortes e médias ligações.

Tabela 67. Coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados do não tecido de 4g.

	Espessura	Condutividade de Térmica	Permeabilidade ao Ar	Coeficiente Sonoro	Alongamento	Força de Ruptura
Espessura	1,00					
Condutividade de Térmica	-0,37	1,00				
Permeabilidade ao Ar	0,37	-0,44	1,00			
Coeficiente Sonoro	-0,17	0,05	-0,25	1,00		
Alongamento	0,28	0,03	-0,41	-0,01	1,00	
Força de Ruptura	-0,36	0,23	-0,49	0,15	0,09	1,00

Contribution à la Caracterisation Physique et Mécanique de Plumes en vue de leur Valorisation Textile

Gráfico 43. Matriz do gráfico de nuvens de pontos dos nãotecidos de 4g.

De acordo com o gráfico 107 de correlação entre os parâmetros testados nos não tecidos de 4g, verifica-se que:

- Não foi encontrada nenhuma correlação forte;
- Uma média correlação é encontrada entre: condutividade térmica x espessura (-0,37), permeabilidade ao ar x espessura (0,37), força de ruptura x espessura (-0,36), permeabilidade ao ar x condutividade térmica (-0,44), alongamento x permeabilidade ao ar (-0,41) e força de ruptura x permeabilidade ao ar (-0,49);
- Uma fraca correlação é vista entre as variáveis de: coeficiente sonoro x espessura (-0,17), alongamento x espessura (0,28), coeficiente sonoro x condutividade térmica (0,05), alongamento x condutividade térmica (0,03), força de ruptura x condutividade térmica (0,23), coeficiente sonoro x permeabilidade ao ar (-0,25), alongamento x coeficiente sonoro (-0,01), força de ruptura x coeficiente sonoro (0,15) e força de ruptura e alongamento (0,09).

Neste estudo, atenta-se para a análise das correlações apenas com médias ligações.

3.20.2 Espessura x Condutividade Térmica dos Nãotecidos de 2g

Verifica-se que o valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,625 (Gráfico 102). Por isso quando a espessura aumenta a condutividade térmica diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter forte, pois p de Pearson é maior que 0,6. O modelo de equação da análise de regressão é $\text{Espessura (mm)} = 238,5 - 2546 \text{ Condutividade Térmica (W/cm } ^\circ\text{C)}$. Observa-se que o valor de R-Sq é de 39%, ou seja, o modelo explica 39% da variação experimental.

O gráfico 44 mostra a regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica.

Gráfico 44. Regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica.

A dispersão dos dados pode ser explicada, pois, ao produzir os nãotecidos houve uma falha de homogeneidade das fibras dispostas na superfície. Essa falha pode ser corrigida, diminuindo-se a velocidade de entrada do produto e delimitando-se a área de fabricação do nãotecido, cosendo a limitação corretamente, por exemplo.

3.20.3 Coeficiente Sonoro x Espessura dos Não tecidos de 2g

Pode-se dizer que o valor de P (0,598) não é significativo. Neste não se rejeita a hipótese nula H_0 . Pode-se afirmar que não existe uma correlação linear como se observa no gráfico 45.

Gráfico 45. Regressão não linear da espessura em relação ao coeficiente de absorção sonoro.

3.20.4 Permeabilidade ao Ar x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 2g

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,650 (Gráfico 46). Por isso quando a permeabilidade ao ar aumenta a força de ruptura diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter forte.

O modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ao Ar ($L/m^2/s$) = $2684 - 172,6$ Força de Ruptura (N). Segundo a análise de regressão, verifica-se que o modelo explica 42,3% da variação experimental. A dispersão dos dados pode ser explicada pelo baixo número amostral de tração do tecido e pela não isotropia natural do material estudado. Nota-se que devido à grande diversidade de nãotecidos fabricados um maior número amostral foi inviável nesse estudo em relação ao limite do tempo.

O gráfico 46 mostra a regressão linear da permeabilidade ao ar em relação à força de ruptura.

Gráfico 46. Regressão não linear da permeabilidade ao ar e a força de ruptura.

3.20.5 Permeabilidade ao Ar x Alongamento dos Nãotecidos de 2g

O valor de P (0,001) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,524 (Gráfico 47). Por isso quando a permeabilidade ao ar aumenta o alongamento diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter moderado, pois p de Pearson é menor que 0,600. Observa-se que o modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ao Ar ($L/m^2/s$) = $2872 - 18,65$ Alongamento (%). Verifica-se que o modelo explica apenas 27,5% da variação experimental, pois, os dados estão dispersos da linha central.

O gráfico 105 mostra a regressão linear da permeabilidade ao ar em relação ao alongamento.

Gráfico 47. Regressão linear da permeabilidade ao ar e o alongamento.

A dispersão dos dados pode ser explicada pelo baixo número amostral de tração do tecido. Nota-se que devido à grande diversidade de nãotecidos fabricados um maior número amostral foi inviável nesse estudo em relação ao limite do tempo.

3.20.6 Espessura x Condutividade Térmica dos Nãotecidos de 4g

O valor de P (0,005) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,361 (Gráfico 48). Por isso quando a espessura aumenta a condutividade térmica diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter moderado, pois p de Pearson é menor que 0,60. O modelo de equação da análise de regressão é $\text{Espessura (mm)} = 309,5 - 3483 \text{ Condutividade Térmica (W/cm } ^\circ\text{C)}$. Nota-se que o modelo explica apenas 13,1% da variação experimental, pois, os dados estão dispersos da linha central.

O gráfico 48 mostra a regressão linear da espessura em relação à condutividade térmica.

Gráfico 48. Regressão não linear da espessura em relação à condutividade térmica.

A dispersão dos dados pode ser explicada pelo baixo de testes realizados. Além disso, ao produzir os nãotecidos houve uma falha de homogeneidade das fibras dispostas na superfície. Essa falha pode ser corrigida, diminuindo-se a velocidade de entrada do produto e delimitando-se a área de fabricação do nãotecido, cosendo a limitação corretamente, por exemplo.

3.20.7 Espessura x Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos de 4g

Observa-se que o valor de P (0,003) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de 0,375 (Gráfico 49). Por isso quando a espessura aumenta a permeabilidade ao ar também aumenta. O grau de correlação entre as duas variáveis é considerado moderado, já que, o valor de Pearson está entre 0,35 a 0,6.

Nota-se que o modelo de equação da análise de regressão é $\text{Espessura (mm)} = 179,6 + 0,04214 \text{ Permeabilidade ao Ar (L/m}^2\text{/s)}$. Verifica-se que o modelo explica apenas 14,1% da variação experimental, pois, os dados estão dispersos da linha central.

O gráfico 49 mostra a regressão linear da espessura em relação à permeabilidade ao ar.

Gráfico 49. Regressão não linear da espessura em relação à permeabilidade ao ar.

A dispersão dos dados pode ser explicada pelo baixo número amostral da espessura dos tecidos. Além do mais, houve uma falha de homogeneidade das fibras dispostas na superfície. O grupo A foi, portanto, identificado. Trata-se dos nãotecidos de fibras de penugem e penugem cortada. Essas amostras apresentam menor permeabilidade ao ar que os nãotecidos de fibras de penas.

3.20.8 Espessura x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 4g

O valor de P (0,004) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,364 (Gráfico 50). Por isso quando a espessura aumenta a força de ruptura diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter moderado, pois p de Pearson é maior que 0,35.

Nota-se que o modelo de equação da análise de regressão é $\text{Espessura (mm)} = 257,0 - 4,094 \text{ Força de Ruptura (\%)}$. Segundo a análise de regressão, verifica-se que o modelo explica apenas 13,2% da variação experimental.

O gráfico 50 mostra a regressão linear da espessura em relação à força de ruptura.

Gráfico 50. Regressão linear da espessura em relação à força de ruptura.

Observa-se que existe uma dispersão dos dados de espessura no lado esquerdo do gráfico. No entanto, existe uma amostra de penugem de pato cortado à extrema direita do gráfico, a qual apresenta alto valor de força de ruptura. Essa medida ocorreu devido ao escorregamento de um nãotecido de penugem de pato cortado nas garras do aparelho de medição dinamômetro.

3.20.9 Condutividade Térmica x Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos de 4g

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,440 (Gráfico 51). Por isso quando a condutividade térmica aumenta a permeabilidade ao ar diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter moderado.

Nota-se que o modelo de equação da análise de regressão é Condutividade Térmica (W/cm°C) = 0,03017 – 0,000005 Permeabilidade ao Ar (L/m²/s). Segundo a análise de regressão, verifica-se que o modelo explica apenas 19,3% da variação experimental.

O gráfico 51 mostra a regressão não linear da condutividade térmica em relação à permeabilidade ao ar.

Gráfico 51. Regressão não linear da condutividade térmica e a permeabilidade ao ar.

A permeabilidade ao ar tem um papel fundamental nas propriedades de transferência de calor, tem um efeito significativo na condutividade térmica, pois os espaços de ar presentes na estrutura permitem uma maior transferência de calor por convecção.

Soutinho (2006) explica a interação da permeabilidade ao ar com a dissipação de calor. Segundo ele, na presença de vento, a pressão do ar sobre a superfície exterior do tecido é causada pelas interações dinâmicas entre o movimento do ar e a superfície do tecido. A estrutura geométrica do tecido causa uma variação da pressão do ar ao longo da superfície exterior do tecido. O ar entra nos locais em que a pressão do ar exterior é superior à pressão do ar interior. O ar migra

para locais de menor pressão e quando esta aumenta, ele passa novamente para o exterior, pois a sua pressão é menor. Como a temperatura do ar que passa para o exterior é normalmente superior à que entra, o movimento do ar transporta calor. Assim nos materiais com boa permeabilidade ao ar, a libertação de calor é facilitada pelo movimento do ar, visto que atravessa o material e dissipa o calor para o meio exterior.

3.20.10 Permeabilidade ao Ar x Alongamento dos Nãotecidos de 4g

O valor de P (0,001) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,415 (Gráfico 52). Por isso quando a permeabilidade ao ar aumenta o alongamento diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de carácter moderado.

Nota-se que o modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ao Ar ($L/m^2/s$) = $1622 - 8,132$ Alongamento (%). Segundo a análise de regressão, verifica-se que o modelo explica apenas 17,2%, da variação experimental.

O gráfico 52 mostra a regressão não linear da permeabilidade ao ar em relação ao alongamento.

Gráfico 52. Regressão não linear da permeabilidade ao ar e o alongamento.

3.20.11 Permeabilidade ao Ar x Força de Ruptura dos Nãotecidos de 4g

O valor de P (0,000) é significativo. O coeficiente de correlação de Pearson é de -0,494 (Gráfico 53). Por isso quando a permeabilidade ao ar aumenta a força de ruptura diminui. O grau de correlação entre as duas variáveis é de caráter moderado.

Nota-se que o modelo de equação da análise de regressão é Permeabilidade ao Ar ($L/m^2/s$) = $1437 - 49,51$ Força de Ruptura (N). Segundo a análise de regressão, verifica-se que o modelo explica apenas 24,4% da variação experimental.

O gráfico 53 mostra a regressão linear da permeabilidade ao ar em relação à força de ruptura.

Gráfico 53. Regressão linear da permeabilidade ao ar e a força de ruptura.

A concentração dos dados da força de ruptura se encontra à esquerda, apenas uma medida se encontra à extrema direita do gráfico. Pressupõe-se que o nãotecido de penugem de pato cortado tenha escorregado nas garras do aparelho de medição dinamômetro.

3.21 Análise de Componentes Principais e Análise Multivariada de Componentes Principais dos Nãotecidos de Penas e Penugens de 2g e 4g

No gráfico 54 encontram-se as análises dos parâmetros principais dos nãotecidos de penas e penugens.

Gráfico 54. Análise de APC das propriedades dos nãotecidos de 2g.

Verifica-se que os parâmetros de condutividade térmica, permeabilidade ao ar e espessura se encontram próximos ao contorno do círculo por isso considera-se significativo. No entanto, os parâmetros de coeficiente sonoro, força de ruptura e alongamento se encontram mais próximos ao centro do círculo e, portanto, considera-se menos significativo.

Os componentes principais A1 e A2 representam 65,5% de informações, onde 37% correspondem ao A1 e 28,5% correspondem ao A2. As interpretações são então efetuadas de acordo com esses eixos.

Não foi possível desenvolver o terceiro eixo dos componentes principais, pois as correlações entre os parâmetros não são de caráter forte.

Os resultados mostram que existe uma média à forte anti-correlação (correlação inversa) entre a permeabilidade ao ar e a força de ruptura ou o alongamento. Quanto maior a força de ruptura ou o alongamento mais permeável ao ar o material será pois o ângulo do alongamento e sobretudo da força de ruptura tende à zero.

Uma anti-correlação entre a condutividade térmica e a espessura é encontrada. Verifica-se que, quanto maior a espessura que o nãotecido tiver menor habilidade de condução térmica ele terá.

Uma correlação entre o coeficiente sonoro e a espessura é identificada. Logo, quanto mais o não tecido for isolante sonoro mais espesso ele será.

No Biplot, podem-se observar dois grupos definidos, os quais representam as influências dos mesmos parâmetros dentro de cada grupo. Os dois grupos são condutividade térmica e coeficiente sonoro (1) força de ruptura e alongamento (2).

No grupo 1 e 2, verifica-se, nas análises anteriores, que o coeficiente de absorção sonora e térmica (+0,31) e a força de ruptura e o alongamento (+0,27) possuem fraca correlação.

No gráfico 55 encontram-se as análises dos parâmetros principais dos não tecidos de penas e penugens de 4g.

Gráfico 55. Análise de APC das propriedades dos não tecidos de 4g.

Verifica-se que os parâmetros de permeabilidade ao ar e alongamento se encontram próximos ao contorno do círculo por isso considera-se significativo. No entanto, os parâmetros de espessura, coeficiente sonoro, condutividade térmica e força de ruptura se encontram mais próximos ao centro do círculo e, portanto, considera-se menos significativo.

Os componentes principais A1 e A2 representam 56,6% de informações, onde 39% correspondem ao A1 e 17,3% corresponde ao A2. As interpretações são então efetuadas de acordo com esses eixos.

Não foi possível desenvolver o terceiro eixo dos componentes principais, pois as correlações entre os parâmetros são de caráter fraco.

Os resultados mostram que existe uma média correlação entre a permeabilidade ao ar e a espessura e entre força de ruptura e condutividade térmica. Quanto mais espesso o material for

mais permeável ao ar será. E quanto mais termo-condutível for, mais resistente será. Verifica-se também que o ângulo dos parâmetros correlatos tende à zero.

No Biplot, podem-se observar dois grupos definidos, os quais representam as influências dos mesmos parâmetros dentro de cada grupo. Os dois grupos são permeabilidade ao ar e espessura (1) coeficiente sonoro, força de ruptura e condutividade térmica (2).

No grupo 1 verifica-se, nas análises anteriores, que a permeabilidade ao ar e a espessura possuem correlação moderada (+0,37).

O gráfico 56, mostra a análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Gráfico 56. Análise multivariada dos componentes principais do grupo 2.

Na análise multivariada dos três fatores, observa-se que a força de ruptura e a condutividade térmica são fortemente correlatas. O coeficiente sonoro com a força de ruptura e condutividade térmica são moderadamente correlatas. Assim, quando a força de ruptura é maior (maior diâmetro das fibras também), a condutividade térmica é maior e, portanto a força de ruptura progride, evoluindo, assim, a capacidade de isolamento térmica dos não tecidos.

3.22 Conclusão dos Resultados de Correlação dos Nãotecidos de Pena e Penugem de 2g e 4g

Para sintetizar os resultados mais pertinentes de correlação dos nãotecidos de fibras de penas e penugens as propriedades estudadas na tabela 68 foram analisadas.

Analisa-se a síntese dos resultados de correlação entre os parâmetros estudados nos nãotecidos de pena e penugem de 2g e 4g. Na tabela 68, considerou-se ++ como forte correlação e + como moderada correlação.

Tabela 68. Resumo dos resultados de correlação entre os nãotecidos de pena e penugem de 2g e 4g.

	Espessura		Permeabilidade ao Ar	
	2g	4g	2g	4g
Condutividade Térmica	++	+		
Força de Ruptura		+	++	+

Observa-se uma forte correlação entre a espessura e a condutividade térmica entre os nãotecidos de 2g e uma moderada correlação entre os nãotecidos de 4g. Ambas as correlações são negativas, ou seja, quando a espessura dos nãotecidos aumenta, a condutividade térmica diminui graças à diminuição de vibrações moleculares as quais impedem que o calor se difusa por condução. Nota-se também que as fibras são porosas e as reservas de ar são bons isolantes térmicos. Portanto, para a fabricação de materiais que requerem a isolamento térmica é necessário trabalhar com o aumento da espessura do material.

Nos nãotecidos de 4g, nota-se que existe uma moderada correlação positiva entre a espessura e a força de ruptura. Assim, quando a espessura do material aumenta, o material se torna mais resistente, pois sua força de ruptura também aumenta devido ao aumento da resistência intramolecular do material.

Nota-se uma forte e moderada correlação negativa entre a permeabilidade ao ar e à força de ruptura dos nãotecidos de 2g e 4g respectivamente. Essa relação é explicada pois quanto maior for o fluxo de ar que atravessa o nãotecido, menor é a coesão das fibras entre elas. Se as fibras são menos coesas e compactadas, os espaços existentes entre elas são maiores e a resistência diminui, portanto, a força de ruptura diminui.

3.23 Conclusões e Aplicações para as Fibras e Nãotecidos de Penas e Penugens

A evidência mais antiga da utilização de fibras naturais como reforço de compósitos é na engenharia civil e nos sistemas de transportes. O uso das fibras de penas e penugens podem trazer vários benefícios em tecnologia, meio-ambiente e em termos sociais e econômicos.

As fibras de penas e penugens apresentam um alto valor de tenacidade (até 243,4 cN/tex), ou seja, o impacto necessário para levar as fibras à ruptura é bem maior do que as fibras de lã, mohair, seda, rami, algodão, cânhamo, juta e cânhamo. Por isso, a aplicação das fibras ou dos nãotecidos como reforço em compósitos seria uma boa destinação para esse material de elevada tenacidade. Outras aplicações para as fibras poderiam ser em mangueiras, pneus e fios.

Outra característica de destaque das fibras de penas e penugens é a baixa condutividade térmica, ou seja, a quantidade de calor transmitida, em função do tempo, através de um objeto é baixa (0,0016 a 0,00137 W/cm°C). Comparando os nãotecidos produzidos com os de fibra de vidro e cerâmica - também por agulhagem - encontrados na literatura, observa-se que estes são menos termo-isolantes que os nãotecidos de pena e penugem. Desta maneira, pode-se pensar em aplicações que necessitem o isolamento térmico, como por exemplo, isolamento em edifícios residenciais ou em veículos de transportes terrestres e aéreos.

O coeficiente de absorção acústico define o quanto o material absorve de ondas de som, portanto, maior sua absorção, maior serão as propriedades de isolamento sonora. As penas e penugens absorvem de 0,09 a 0,16 α em baixas frequências. A fibra de vidro é uma das fibras mais utilizadas para esse intuito e ela absorve apenas 0,14 α também em baixas frequências. Comparando o coeficiente sonoro, em baixas frequências, dos nãotecidos produzidos nesta pesquisa com outros nãotecidos tradicionais, percebe-se que os manufaturados de pena e penugem possuem melhores propriedades que os acrílicos e propriedades semelhantes ao poliéster, porém inferiores ao nãotecido de vidro. Portanto, é possível utilizar as fibras e os nãotecidos de penas e penugens para aplicações em isolamento sonora para esse nível de frequência, como por exemplo, isolamento para interiores de veículos automobilísticos, ferroviários e aeronáuticos. No entanto, para se obter resultados mais confiáveis, indica-se a repetição dos testes de absorção em uma câmara reverberante utilizando amostras de superfície maior.

No setor de transportes, o uso das fibras e dos não tecidos de penas e penugens contribuirá grandemente durante o desempenho do veículo. Por essa razão, se a fibra de pena ($0,80 \text{ g/cm}^3$) é empregada, o total de redução seria de 43,5Kg em relação à fibra de vidro.

A energia utilizada para fabricar um não tecido de fibras naturais é apenas 9,7 MJ/Kg, ou seja, um sexto do que se necessita para produzir um não tecido de fibra de vidro (54,8 MJ/Kg).

Além do mais, as fibras de penas e penugens são biodegradáveis e de baixo custo, visto que é um material de descarte.

Ademais, as fibras de penas possuem boa propriedade de molhabilidade, pois evita a absorção de líquidos e umidade em sua superfície. Essa característica é um ponto forte para compósitos de revestimento para isolamento na engenharia civil ou de transporte, já que, privando a absorção de umidade, evita-se a formação de biofilmes, bactérias, algas, e bolor. Essa característica contribui também com a limpeza do não tecido, dificultando a fixação de pó, além de aumentar a sua durabilidade.

A retração das fibras à fervura foi testada e o resultado foi de 0%. Essa característica é considerada favorável quando se trata de controle de qualidade, pois independentemente da temperatura que o material for submetido ele sempre possuirá estabilidade dimensional. O material com baixa retração à fervura pode ser lavado a altas temperaturas (temperaturas adaptadas para fibras queratinosas) e ele voltará ao seu estado normal. Tal propriedade não é encontrada nas fibras de lã, por exemplo, as quais possuem o problema de encolhimento.

O título das fibras das penas e penugens (2,9 a 12 dtex) é considerado de baixo a médio título. Eles são menores que os títulos de mohair, rami e lã por exemplo.

O comprimento é considerado pequeno, pois vai de 1,8 a 5,5 cm. E estão na mesma média de valores que as fibras de cashmere, cashgora, vicunha e camelo.

Os diâmetros das fibras de penas e penugens ($5,3$ a $47,6 \mu\text{m}$) estão na mesma escala de valores que as fibras animais de cashmere, cashgora, mohair, alpaca, angorá, lhama, vicunha e camelo. O alongamento das fibras de penas e penugens é de 12,6 a 15,8% ou seja, possui os valores de alongamento próximos aos das fibras de algodão e seda.

Percebe-se que os não tecidos de 2g e 4g de penugem apresentam maior alongamento que os de pena e os de penugem cortada com exceção para o não tecido de penugem de ganso cortada 4g (86,6%) o qual possui maior alongamento que o de penugem de ganso 4g (73,7%). Desta mesma forma, os não tecidos de penugem 2g e 4g possuem maiores valores de força de ruptura como esperado. No entanto, o menor alongamento é o do não tecido de pena de pato 4g (46,7%) e 2g

(53,1%). Em geral, todos os nãotecidos de penugens são mais elásticos que os nãotecidos de penas.

O alongamento dos nãotecidos de pena e penugem foi comparado com o de polipropileno e verificou-se que os manufaturados possuem alongamentos bem maiores que os de polipropileno. Com essas características, pode-se pensar no desenvolvimento de um fio têxtil, onde poderão ser misturadas outras fibras, de acordo com a aplicação desejada e a partir de fios, o desenvolvimento de tecidos têxteis.

A permeabilidade ao ar é correlata à espessura. As fibras e nãotecidos de penugens são menos permeáveis que as fibras e nãotecidos de penas. Entre as amostras de 2g, os nãotecidos de penugem de ganso e pato apresenta maior diferença de permeabilidade ao ar entre os demais. E entre as amostras de 4g, observa-se uma divisão em dois grupos de valores entre as amostras de penas e penugens e penugens cortadas. Na literatura, encontraram-se os valores de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de lã (2400 a 3450 L/m²/s), algodão (1000 a 1250 L/m²/s), tencel (1000 a 1750 L/m²/s) e poliéster (900 a 1490 L/m²/s) [GHAL et al, 2014]. Comparando os dados da literatura com os nãotecidos produzidos nesta pesquisa, afirma-se que os nãotecidos de penugem e alguns de pena são menos permeáveis que os nãotecidos encontrados na literatura. A distribuição dos espaços ou bolsas de ar influencia um elevado número de propriedades dos nãotecidos tais como o isolamento térmico, a proteção contra o vento e a chuva, bem como a eficiência de filtragem nos tecidos industriais.

Ademais, em relação aos nãotecidos de pena e penugem, constataram-se as características de pilosidade nos nãotecidos de penugens devido ao desarranjo das fibras curtas, em geral, os nãotecidos de penas apresentam maior espessura que os nãotecidos de penugem e penugem cortada. Conclui-se, que entre as amostras de 2g, o nãotecido de penugem de frango apresenta maior diferença de espessura entre os demais. E entre as amostras de 4g, o nãotecido de ganso é o que apresenta maior diferença, seguido dos nãotecidos de penugem de frango e pato. Os nãotecidos de 2g apresentaram maior homogeneidade em relação à espessura dos de 4g.

Em relação ao interesse comercial e consequências ecológicas, constata-se que as fibras recicladas poderão ser amplamente utilizadas devido ao seu baixo custo e pela sua inocuidade ecológica tanto como matéria-prima quanto no processo de produção dos nãotecidos.

Nesta pesquisa, percebeu-se, então, que as fibras de pena e de penugem apresentam boas perspectivas para serem processadas como materiais reciclados. Fibras e nãotecidos de pena e

penugem poderão ter uma participação importante no mercado devido às suas características físico-mecânicas, térmicas e acústicas as quais foram identificadas e analisadas nesta pesquisa. Nãotecidos fabricados com penas podem possuir diferentes massas volúmicas e camadas, facilmente ajustáveis à evolução das necessidades do mercado e às aplicações desejadas.

Outro aspecto comercial é o baixo custo das penas tanto na América do Sul quanto na Europa. Através de pesquisas por telefone e pela internet, verificou-se que o preço de venda desses materiais é de apenas alguns centavos por quilo. Além do mais, o processo de produção dos nãotecidos de agulhamento por via seca é muito simples e barato.

Além disso, a quantidade de penas disponíveis está aumentando a cada ano em todo o mundo e será continuamente disponível por causa da produção de aves, em nível industrial, para o consumo humano.

Para resumir, o processo de reciclagem de pena e penugem envolve três elementos fundamentais: qualidade, baixo custo e quantidade. Por causa do desenvolvimento de nãotecidos de penas, os nãotecidos com propriedades parecidas existentes no mercado se tornarão mais rentáveis e irão fornecer vantagens competitivas para os consumidores.

Além desse produto e processo de fabricação serem econômicos também desempenham vantagens ambientais, já que evitam o processo de incineração.

O comportamento de reciclar materiais está se tornando um sistema *eco-friendly* vantajoso e que, se aplicado em penas, certamente irá diminuir o impacto ambiental causado pelos resíduos da indústria avícola.

Este produto, fabricado de forma consciente e ética, possui algumas aplicações potenciais alternativas: isolamento térmico e sonoro, agrotêxtil, geotêxtil, compósito e filtração para limpeza da água pela absorção de metais pesados.

No fluxograma 1, pode-se observar o atual ciclo de vida de penas e penugens e a proposta de um novo ciclo de vida realizado com os resultados desta pesquisa.

Fluxograma 1. Atual ciclo de vida das penas (a) e proposição de um novo ciclo de vida (b).

Observa-se no fluxograma 1 a sugestão da otimização e extensão do ciclo de vida das penas. Este processo irá contribuir para o desenvolvimento de uma nova valia das penas ao mercado gerando, assim oportunidades de reciclagem.

Terceira Parte

Neste estudo o objetivo foi extrair a queratina das penas de uma maneira simples e ecológica e testar a viabilidade da produção de nanofibras com a queratina obtida.

3.24 Extração da Queratina

Um método original, simples, econômico e ecológico foi desenvolvido para extrair a queratina das penas. Esse método foi inspirado em uma técnica utilizada para a extração de queratina da lã, mas nunca foi utilizado em penas. Essa técnica foi encontrada em um trabalho de tese pertencente à Hamouche (2012). Para a extração de lã, Hamouche aproveitou a queratina em geleia a qual foi filtrada, ou seja, a parte mais sólida acumulada no filtro. No entanto, nesta pesquisa, o interesse está na queratina com a menor partícula possível, ou seja, em forma líquida e totalmente dissolvida para atingir o objetivo da produção de nanofibras.

Escolheu-se a adaptação desse método, pois todos os outros métodos encontrados na literatura sobre a extração da queratina usam muitos produtos químicos e alguns deles são altamente perigosos para a saúde além de serem muito poluentes. Alguns desses produtos são: dithiothreitol (DTT) o qual pode causar toxicidade aguda pela via oral, irritação e corrosão cutânea, lesões oculares graves e lesões nos órgãos em caso de toxicidade e cloreto de colina o qual pode causar corrosão cutânea, lesões oculares graves e lesões nos órgãos em caso de toxicidade, entre outros.

Outra desvantagem de usar os métodos de extração tradicionais é que se acrescenta mais um processo para a extração, ou seja, o processo de purificação para a retirada dos produtos e obtenção da queratina pura, o que acarretaria mais gastos na produção.

Além do mais, constata-se que mesmo realizando o processo de purificação, os produtos não deixarão, por sua integralidade, a queratina. Testes de infravermelho foram realizados e há sempre a presença dos componentes químicos que mascaravam os resultados da queratina.

Por isso, justifica-se plenamente, o desenvolvimento de um novo método, no qual, eliminou-se um processo produtivo (a purificação), é de baixo custo, é ecologicamente correto e que não apresenta nenhum risco para a saúde dos trabalhadores expostos na produção.

A figura 54 apresenta a queratina em pasta e líquida em diversas tonalidades.

Figura 54. Queratina em pasta, queratina após secagem e queratina líquida.

A primeira imagem da figura 54 mostra a queratina em forma de pasta. A cor marrom escura proveio da extração das fibras de penas e a cor bege da extração da ráquis. A segunda imagem da queratina em pasta após secagem apresenta, na sequência, a queratina extraída das penugens inteiras, ráquis e fibras de penas. E por fim, a última imagem concernente à queratina líquida, mostra, na sequência, a queratina extraída da ráquis, das fibras de penas e de penugem inteiras.

Constata-se nas imagens da figura 54, uma forte coloração da queratina. Essa coloração é provinda da alta concentração de melanina. As penas podem variar diferentemente na coloração, por isso a queratina desse material é também encontrada em diferentes tonalidades. Pode-se retirar a melanina da queratina, mas esta não influencia em nada no produto final, visto que as nanofibras possuem sempre uma coloração branca.

Nesta pesquisa, interessou-se pela queratina em pó em pura integridade, ou seja, sem água ou hidróxido de sódio. Por isso, a queratina em forma de pó extraída das penas inteiras é apresentada na figura 55.

Figura 55. Queratina em pó extraída de penas inteiras.

Na figura 55, nota-se, visualmente, que a queratina extraída em forma de pó é uniforme e homogênea.

De acordo com a tabela 10 do capítulo 2, o ajustamento de parâmetros de extração que obteve maior massa de queratina sem sua deterioração foi o ensaio de número 9. No ensaio utilizou-se 2% de NaOH, penas inteiras, temperatura de 35°C e 48h. Para a filtração o filtro mais eficaz foi o de 16µm. A secagem ocorreu em uma placa de aquecimento a 70°C por 24h.

3.25 Desenvolvimento de Nanofibras por Electrospinning

O objetivo desse trabalho foi verificar a possibilidade de produzir ou não nanofibras à partir da queratina de penas.

Para o processo de electrospinning, utilizou-se o ácido fórmico como solvente, pois é indicado na literatura para materiais queratinosos, como por exemplo, na fabricação de nanofibras de fibroína de seda. O ácido fórmico solubilizou muito bem o polímero de queratina. As concentrações testadas do ácido fórmico foram 8% e 17%. As duas concentrações obtiveram bons resultados na produção de nanofibras.

De acordo com a tabela 11 do capítulo 2 os melhores parâmetros da filagem por electrospinning, de acordo com a caracterização visual e microscópica das amostras, foram os ensaios de número 7, 8, 9 e 10. Os parâmetros escolhidos foram:

1. Concentração: 17% wt;
2. Voltagem: 28 or 30kV;
3. Distância da agulha até o coletor: 10 to 20cm;
4. Diâmetro da agulha: 0,45mm;
5. Taxa de fluxo: 0,05mL/h;
6. Tempo: 30 min.

A figura 56 mostra dois corpos-de-prova de nanofibras de queratina provenientes de dois ensaios diferentes.

Figura 56. Fotos feitas de nanofibras com gotas-amostra 2 (a) e nanofibras sem gotas-amostra 7 (b).

A amostra de número 2, bem como as de número 3 e 4 apresentam gotas em sua superfície devido à baixa concentração e voltagem e alta taxa de fluxo e grande diâmetro da agulha.

Se a voltagem é baixa, a solução queratinosa que sai da seringa não é suficientemente atraída pelo campo magnético e, portanto as nanofibras apresentarão defeitos de concepção, pois apresentarão feixes ou gotas visíveis à olho nu. Todos os outros ensaios apresentaram bons aspectos de regularidade no MEV.

3.26 Caracterização da Queratina

O processo de caracterização da queratina foi realizado para se certificar de que o material extraído se trata realmente da queratina pura.

3.26.1 Espectroscopia de Infravermelho

A fim de conhecer os materiais obtidos e confirmar a presença de queratina, uma análise FTIR foi realizado o no produto em pó produzido. O FTIR da queratina de frango encontrada na literatura é apresentada no gráfico 117 e o da queratina extraída é apresentado no gráfico 57 .

Gráfico 57. Espectro de absorção da queratina extraída da pena de frango [WANG et al., 2012 adaptado pela autora].

O gráfico 57 foi encontrada na literatura e segundo o autor representa uma curva de queratina. Neste espectro, identificou-se picos de 3.280 a 2.900 cm^{-1} e de 1.650 a 1.490 cm^{-1} .

Gráfico 58. Espectro Infravermelho em ATR da queratina extraída das penas de frango e pato.

O gráfico 58 representa os resultados desta pesquisa. Nota-se picos na escala de 3.450 a 3.000 cm^{-1} e de 1.750 a 1.450 cm^{-1} . Esses valores representam resultados muito semelhantes em comparação com o gráfico 57. Além disso, vales são observados na escala de 1.750 a 2.500 cm^{-1} em ambos os gráficos.

O espectro de queratina de penas seca, mostrado no gráfico 58, exibe as mesmas características encontradas nos espectros de proteína, mostrado no gráfico 57 à partir de estudo de Wang (2012).

Para confirmar que o produto extraído das penas é realmente queratina comparou-se, na tabela 69, para cada ligação química de absorção, o grupo químico correspondente encontrado na literatura.

Tabela 69. Propriedades químicas da proteína seca extraída de penas e da queratina de pelo de cavalo [BENDIT, 1966].

	Queratina extraída de penas (cm^{-1})	Queratina do pelo de cavalos [BENDIT, 1966] (cm^{-1})
NH + OH	3.267	3.200/3.290
CH	2.850-2.960	2.800-3.000
CO	1.627	1.650
CN + NH	1.538	1.540
CH	1.394/1.452	1.390/1.450

De acordo com a tabela 69, pode-se verificar que todas as ligações químicas da queratina de pena e da queratina de pelo de cavalo estão na mesma faixa de valores dos grupos químicos correspondentes. Os gráficos 57 e 58 e a tabela 69 exibem semelhanças entre o produto extraído nesta pesquisa e a queratina de pelo de cavalo encontrado na literatura.

Como mencionado na bibliografia, as penas são compostas por 91% de queratina, 1,3% de gordura e 7,7% de água e o processo de extração utilizado é composto basicamente de penas, água e uma porcentagem ínfima de sódio. Depois da extração, a fase líquida do material foi retirada e obteve-se um material em pó. Como resultado das análises e comparações com a queratina da literatura, podemos afirmar que a queratina de frango e pato de penas foi extraída. O gráfico 59 mostra o espectro da água para fins comparativos.

Gráfico 59. Espectro de absorção da água.

A queratina extraída foi analisada no FTIR com diferentes horas de secagem em estufa até sua estabilidade. Porém, para se certificar da completa ausência da água nas amostras de queratina, analisou-se o espectro da água. Nota-se que a absorção máxima da água em 3325.56 cm^{-1} é de 100% e no espectro da queratina o pico máximo é de apenas 35%.

Desta forma, constata-se que a queratina extraída depois do processo de secagem em estufa por 24 horas não contém água. Portanto, a curva de absorção do espectro infravermelho representa a curva da queratina praticamente pura.

Esta análise permitiu a rápida caracterização da natureza do material extraído e, portanto a verificação que o material é a queratina.

3.27 Caracterização Microscópica

Os resultados são analisados microscopicamente até 15.000 vezes o tamanho original.

3.27.1 Análise Microscópica da Queratina

Na figura 57 e 58, apresenta-se a microscopia da queratina extraída e da queratina de lã com poliamida encontrada na literatura (sem escalas).

Figura 57. Microscopias da queratina de pena extraída com aumento de 4.000x (a); 8.000x (b) e 15.000x (c).

Figura 58. Polímero com 30% de queratina de lã e 70% de poliamida (a), 50% de queratina de lã e 50% de poliamida e 70% de queratina de lã e 30% de poliamida [ALUIGI et al., 2009].

Com essas microscopias, pode-se confirmar a homogeneidade (outras partículas não são visíveis) da queratina a qual foi discutida anteriormente na figura 55.

Além do mais, pode-se assemelhar a estrutura do polímero de queratina com o formato de uma nuvem. Comparando os polímeros de queratina extraída nesta pesquisa com os de queratina de lã e poliamida encontrada na literatura, percebe-se que a queratina extraída parece ser mais homogênea embora não se conheça a grandeza da microscopia da queratina de lã com poliamida encontrada na literatura.

3.27.2 Análise Microscópica das Nanofibras de Queratina

As figuras 59, 60, 61 e 62 mostram as microscopias das nanofibras de queratina de penas com grandezas de 4.000, 8.000 e 15.000. As análises foram feitas apenas nas amostras as quais não apresentaram gotas ou defeitos visíveis à olho nú (ensaios de 7 a 10). As amostras selecionadas foram aquelas as quais não apresentaram pingos e defeitos visíveis à olho nú.

Figura 59. Microscopias do ensaio de número 7.

Figura 60. Microscopias do ensaio de número 8.

Figura 61. Microscopias do ensaio de número 9.

Figura 62. Microscopias do ensaio de número 10.

A morfologia da superfície das nanofibras é influenciada pelo tipo de polímero utilizado, a voltagem aplicada, o solvente usado e também as condições ambientais. Por isso necessita-se realizar mais testes para comparar os diferentes parâmetros.

Nas microscopias dos ensaios analisados, observa-se que as nanofibras que compõem os não tecidos possuem unicamente nanofibras individuais contínuas, diâmetros homogêneos e não apresentam defeitos morfológicos. As nanofibras das amostras 1, 3 e 4 não possuem fibrilas nem filamentos com diâmetros irregulares e grossos os quais possam implicar em convolações na estrutura. Por isso, nas imagens, nota-se a existência de nanofibras com alta qualidade de produção. No entanto, na figura 60 (8K), observa-se que algumas raras fibras apresentam fibrilas. O único parâmetro diferente nessa amostra é a distância do coletor (15 cm), porém não se pode dizer que é por causa da distância que houve a aparição de fibrilas, já que, nas amostras 1 e 4 a distância foi de 20cm e na 3 foi de apenas 10 cm.

Outro aspecto relevante na análise morfológica em nanofibras é a porosidade e a textura. Porém nas microscopias das nanofibras a porosidade e a textura não podem ser percebidas por causa de um limite no microscópio já que, as ampliações se limitaram à 15.000 vezes o tamanho normal.

A figura 63 mostra um não-tecido de nanofibras da queratina de lã encontrado na literatura.

Figura 63. Nanofibras de queratina de lã [TONIN et al., 2010].

Comparando as nanofibras de queratina de pena com as nanofibras de queratina de lã encontrada na literatura, percebe-se que as nanofibras de pena apresentam maior regularidade e não possuem “bolhas” ou qualquer outro defeito de estrutura morfológica como as nanofibras de lã apresentam.

3.28 Análise da Normalidade, Média, Variância do Diâmetro das Nanofibras de Penas e da Comparação de Médias do Diâmetro das Nanofibras por Pares de Círculos.

Testes estatísticos foram realizados para melhor entender a repetitividade dos valores dos diâmetros das nanofibras, assim como o entendimento das dispersões e confiabilidade dos resultados. O objetivo foi verificar se os resultados possuem sempre os mesmos valores. Observam-se os resultados da média e do coeficiente de variação das quatro amostras na tabela 70 e a análise de variação do desvio padrão no gráfico 60.

Tabela 70. Resultados da média e do coeficiente de variação das amostras.

Nanofibra de Queratina	Diâmetro Médio (nm)	Desvio Padrão (nm)
7	190	14
8	200	25
9	200	22
10	230	20

Gráfico 60. Diâmetro das nanofibras de queratina de penas de frango e pato

Quando as nanofibras são muito finas, ou seja, menores que 200 nm os resultados de medição do diâmetro começam a ser dubitáveis. A média do diâmetro (200 nm) das nanofibras está no ranking de 190 a 230 nm, portanto, considera-se que as medições são confiáveis.

Nota-se que as nanofibras não possuem grande variação entre as quatro amostras, pois as amostras 7, 8 e 9 são quase idênticas e a amostra 10 possui apenas 0,03 nm de diferença. O coeficiente de variação das amostras são bem baixos, isso mostra que as amostras possuem boa regularidade de diâmetro. Aparentemente a alta variação dos diâmetros em nanofibras é frequente na literatura como, por exemplo, a variação de 50 a 200 nm [PATRA, 2012]. Por isso, considera-se a pouca variação dos diâmetros de nanofibras da queratina de penas é um ponto positivo no processo por causa da regularidade das nanofibras. Os testes foram importantes para verificar se a regularidade do diâmetro das nanofibras são constantes e controláveis.

Comparando os valores dos diâmetros das nanofibras de penas com outras nanofibras, pode-se notar que o diâmetro da nanofibra de *Bombyx mori* é de 200 a 400 nm, da quitosana é de 50 a 460 nm e da lã é em média 150 nm [RAMAKRISHNA et al., 2005] [ANDRADY, 2008] e [TONIN et al., 2010]. Basicamente, pode-se considerar que o diâmetro das nanofibras de queratina de pena está na mesma faixa de valores dos diâmetros das nanofibras queratinosas provenientes de outros animais.

O gráfico 61, apresenta o teste de normalidade do diâmetro das nanofibras de penas.

Gráfico 61. Teste de normalidade do diâmetro das nanofibras de penas.

Pelo fato de haver uma leve diferença de valores do diâmetro no ensaio 4, verifica-se no gráfico 61 que o valor de p ($< 0,01$) dos diâmetros é menor que 0,05. Portanto, pode-se rejeitar a normalidade deste teste.

A tabela 71, apresenta os resultados do teste ANOVA. Observa-se que: $F_{\text{calculado}} = 10,69 > F_{\text{teórico}} = 2,65$. Portanto, rejeita-se H_0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de $<0,0001$, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Tabela 71. Análise da variância dos diâmetros das nanofibras de penas.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nanofibras	3	0,041	0,013	10,69	$<,0001^*$
Résiduo	200	0,258	0,001		
Total	203	0,300			

Observa-se no gráfico 62 que existe homogeneidade entre os diâmetros das nanofibras. Porém, o diâmetro do ensaio 4, diferentemente dos diâmetros dos outros ensaios, apresenta valores acima da média.

Gráfico 62. Análise de variância do diâmetro das nanofibras de penas.

No gráfico 62 observa-se que a dispersão dos testes é considerada baixa, pois como apresentado na tabela 71, as quatro amostras juntas possuem apenas $\pm 0,03$ nm de desvio padrão.

Mesmo se os diâmetros das nanofibras não seguem a Lei Normal, no gráfico 61 e na tabela 71 observa-se a comparação da média do diâmetro entre as quatro amostras de nanofibras, pois como visto anteriormente, considera-se que o teste é significativo.

Gráfico 63. Comparação do diâmetro das nanofibras de penas (t student).

Tabela 72. Significância da média do diâmetro das nanofibras de penas.

	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9
Ensaio 7			
Ensaio 8	NS		
Ensaio 9	NS	NS	
Ensaio 10	S	S	S

O gráfico 63 mostra que as nanofibras dos ensaios 7, 8 e 9 não são significativamente diferentes entre elas. No entanto, as nanofibras do ensaio 10 são significativamente diferentes dos outros ensaios. Na tabela 72, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

Apesar das amostras não seguirem a Lei Normal, visualmente, as nanofibras possuem aspectos uniformes, homogêneos e sem defeitos. Recomenda-se, portanto, a repetição do teste com um corpo de prova maior e também a análise dos diâmetros para cada tipo de ensaio.

Os parâmetros do electrospinning não afetaram a diferença significativa na amostra 10, porque todas as amostras tinham a mesma concentração, diâmetro da agulha, a taxa de fluxo e o tempo de produção. A amostra 9 e 10 tiveram a mesma voltagem e a amostra 7 e 10 tiveram a mesma distância da agulha ao coletor.

A diferença encontrada na amostra pode ser explicada por fatores externos. Por exemplo, a temperatura do laboratório não estava climatizada. Outro aspecto que poderia influenciar a diferença de diâmetro na amostra 10 é a agulha. A agulha utilizada foi cortado manualmente

com uma lixadeira. Observou-se com uma lupa que a secção transversal do corte da agulha não é lisa e regular. Este parâmetro pode influenciar a saída do polímero depois de algumas utilizações, já que, as agulhas podem se entupir com a solução.

3.29 Aplicação e Viabilização Comercial da Queratina e da Nanofibra de Queratina de Penas e Penugens

O objetivo desse projeto foi averiguar a probabilidade do desenvolvimento de nanofibras feitas da queratina de penas e encontrar aplicações comerciais que, ao mesmo tempo, aliem sustentabilidade e baixo custo ao produto. Assim, avaliou-se a viabilidade econômica e produtiva da extração das penas e penugens e produção das nanofibras de queratina extraída. Constata-se que os processos de extração e de electrospinning são bem simples e viáveis para a industrialização. As penas e penugens são colocadas inteiras na solução para a extração, portanto, não existem etapas de preparação a não ser a esterilização prévia. Além do mais, para a extração da queratina, faz-se uso de apenas um produto químico, ou seja, somente uma mínima quantidade de hidróxido de sódio (NaOH) e água destilada. O pouco uso de produtos químicos faz com que o processo se torne ecológico e sem riscos para as pessoas envolvidas na produção.

O processo de electrospinning é o mesmo que em qualquer outro polímero não havendo agravantes ou dificuldades no processo com a queratina de pena.

Outra vantagem comercial, além da viabilidade do produto de descarte no mercado, do processo ser simples e ecológico, é o baixo custo do material e do processo produtivo. O processo é simples e não requer materiais caros. O preço do quilo do hidróxido de sódio é de aproximadamente 1,75 euros e do quilo de penas e penugens é menor que 0,20 euros.

O teste ANOVA mostra que as quatro amostras não são idênticas entre elas e o teste de t student confirma que a única amostra significativamente diferente das outras é a de número 10. O teste de normalidade mostra que elas não seguem a Lei Normal. No entanto, comparando os valores da variação do diâmetro na literatura, nota-se que as nanofibras de queratina de pena apresentam valores mais estáveis, ou seja, sem muita variação. Isso quer dizer que as nanofibras de pena são altamente uniformes e regulares para um polímero natural.

Em termos de aplicações, pode-se pensar nas mesmas aplicações existentes que para as nanofibras de lã e de fibroína de seda. Segundo Muge et al (2015), nanofibras de fibroína de seda tem sido usada na área de biomateriais para enxertos vasculares e também para

revestimento em aplicações cardiovasculares. Estudos mostram que esse material também é uma possibilidade promissora para a cicatrização de feridas e a utilização na engenharia de tecidos para o *drug delivery*. Além da fibroína da seda, polímeros naturais como quitosana, colágeno, soja, alginato e amido têm sido propostos em aplicações médicas [PINHO et al, 2009].

No entanto, para aplicações das nanofibras de queratina de pena para a biomedicina e biomaterial é necessário mais estudos físico-químicos e notadamente em termos de biocompatibilidade biológica para analisar se o organismo humano aceitaria a queratina de pena sem que haja rejeição.

Outras aplicações podem ser pensadas na área de proteção, compósitos, filtração de metais pesados e purificação de águas, já que, o nãotecido de queratina de pena possui nanofibras regulares, coesas e uniformes.

Este trabalho de pesquisa inovador permitiu o desenvolvimento de um novo processo de extração de queratina e um novo nãotecido de queratina de penas e penugens. As duas etapas são simples, ecológicas, não apresentam riscos para os trabalhadores, são de baixo custo e são viáveis em escala industrial.

L'industrie avicole produit, à l'échelle mondiale, des millions de tonnes par an de plumes et duvets. Ce bioproduct est généralement incinéré dans les décharges. Dans cette étude, nous avons analysé les possibilités de fabrication de produits commercialisables afin de recycler ces plumes et duvets en évitant leur incinération.

Cette thèse a présenté l'étude des caractéristiques physiques, mécaniques, thermiques et acoustiques des fibres et des non-tissés produits à partir des plumes et des duvets de poule, canard, oie et dinde. La kératine de plume et de duvet a été extraite en utilisant une méthode simple et non toxique. Des nano fibres de kératine ont été produites et caractérisées.

Les principales conclusions sur les caractéristiques analysées des fibres de plumes et de duvets sont les suivantes : valeur des titres faibles à moyens, valeur de ténacité élevée, faible densité, courte longueur, diamètre similaire à d'autres fibres animales, allongements semblables aux fibres de coton et de soie, bonnes propriétés hydrophobes, les fibres ne sont pas rétractables à l'ébullition, intéressantes caractéristiques d'isolation thermique due à la faible conductivité thermique du matériaux du fait de sa structure ressemblant à un nid d'abeilles avec de nombreuses micro cavités, bonnes propriétés d'isolation acoustique pour de faibles fréquences. En ce qui concerne les non-tissés élaborés dans le cadre de l'étude par voie sèche, la caractéristique de pilosité des non-tissés de duvets a été constatée en raison de la présence de fibres courtes. En général, les non-tissés des plumes présentent une épaisseur supérieure aux non-tissés de duvets coupés. Nous avons constaté que parmi les échantillons de 133g/m^2 les non-tissés de duvet de poule présentent plus de différence d'épaisseur que les autres. Parmi les échantillons de 267g/m^2 , les non-tissés d'oie sont ceux avec la plus grande différence, suivie des non-tissés de poule et de canard. Par conséquent, il est considéré que les non-tissés de 133g/m^2 ont montré une plus grande uniformité d'épaisseur que les non-tissés de 267g/m^2 .

En comparant les valeurs de perméabilité à l'air de non-tissés de 133g/m^2 , nous avons noté que les non-tissés de plumes de poule, canard, l'oie et dinde sont plus perméables que les non-tissés de duvets de poule, canard, l'oie et la dinde. D'autre part, les non-tissés de 133g/m^2 les moins perméables sont les duvets d'oie et de canard.

En comparant les valeurs de perméabilité à l'air de non-tissés de 267g/m^2 , il est clair que les plumes de poule, de canard, d'oie et de dinde sont plus perméables que les duvets de ces animaux et que du duvet de l'oie coupé. Cette caractéristique peut être expliquée par le diamètre. Les plumes de poule, de canard, d'oie et de dinde ont un plus grand diamètre que les

duvets et les duvets coupés. En d'autres termes, le flux d'air passant par le duvet est inférieur à celui passant à travers les plumes. Cependant, nous avons remarqué que plus le diamètre des non-tissés est grand, plus ils sont perméables à l'air.

Nous avons noté également que les non-tissés de 133g/m^2 et 267g/m^2 de duvets présentent une plus grande elongation que les non-tissés de plumes et duvets coupés sauf pour les non-tissés de duvet d'oie de 267g/m^2 qui a un allongement plus grand que le duvet d'oie de 267g/m^2 . De la même manière, les non-tissés de duvet de 133g/m^2 et 267g/m^2 présentent des valeurs plus élevées de résistance à la traction comme prévu. Cependant, le plus petit élongement est obtenu pour des non-tissés de plume de canard de 133g/m^2 et 267g/m^2 . En général, tous les non-tissés de duvets sont plus extensibles que les non-tissés de plumes.

Il a été constaté que les non-tissés de 4g de plumes de poule et de dinde et de duvets d'oie ont de bonnes propriétés de conductivité thermique.

Les non-tissés présentant les meilleures propriétés acoustiques sont ceux de plumes de poule et de canard de 267g/m^2 , ceux de duvets de poule, canard et dinde coupé de 267g/m^2 , ceux de duvet de dinde de 267g/m^2 et enfin ceux de plumes de canard de 133g/m^2 .

Grâce à ces caractéristiques, nous pouvons préconiser quelques applications possibles pour l'isolation phonique et thermique, comme par exemple, dans les bâtiments résidentiels ou les intérieurs de véhicules automobiles, ferroviaires et aéronautique.

L'application en tant que renfort pourrait s'avérer être une bonne destination pour les fibres à haute ténacité.

En ce qui concerne les résultats obtenus avec l'électrofilage, l'objectif était d'extraire la kératine avec une méthode simple, écologique et, surtout, d'examiner la possibilité de développer des nanofibres produites avec la kératine de plume et duvet. Ainsi, il est conclu qu'il est possible de produire des nanofibres de haute qualité (très uniformes et régulières) de kératine des plumes et duvets. Les procédés d'extraction et d'électrofilage proposés sont simples et réalisables pour l'industrialisation. La faible utilisation de produits chimiques pour l'extraction, rend le processus écologique et sans risque pour les personnes impliquées dans la production.

En termes d'applications, nous pourrions penser aux mêmes applications que celles pour les nanofibres de la laine et la fibroïne de soie dans le domaine médical (biomatériaux pour les greffes vasculaires et également pour le revêtement des applications cardiovasculaires) si le matériau est biocompatible biologiquement pour n'avoir pas de rejet au niveau d'organisme humain.

D'autres applications peuvent être considérées dans le domaine de la protection, les composites, la filtration de métaux lourds et de purification de l'eau, étant donné que les non-tissés de kératine de plumes ont des nanofibres régulières, cohérentes et uniformes.

Ce travail de recherche a permis d'approfondir les connaissances en termes de caractéristiques de fibres de plumes et de duvets, de développer divers non-tissés avec ce matériau, de proposer et d'appliquer un procédé simple d'extraction de la kératine et de produire des non-tissés de nanofibres de kératine de plume et de duvets. Les étapes du procédé sont simples, écologiques, ne présentent aucun risque pour les travailleurs, sont peu coûteuses et réalisables à l'échelle industrielle.

Cette étude a montré qu'il est possible d'éviter les déchets et recycler les plumes. La réutilisation de ce matériel sera une opportunité économique et durable précieuse tant pour le secteur de la volaille et aussi pour l'industrie textiles et de matériaux, puisque les produits fabriqués avec cette matière première pourrait être commercialisable, en évitant le gaspillage et l'incinération d'une quantité énorme de plumes d'oiseaux dans le monde entier. De plus, les plumes récupérées non seulement réduisent les coûts, mais créent également un impact positif sur l'environnement.

Par conséquent, les principaux résultats obtenus dans ce travail sont les suivants:

- Description complète des propriétés des fibres de plumes et de duvet de poule, canard, oie et dinde;
- Développement de non-tissés par aiguillage en utilisant les fibres et analyses de leurs propriétés ;
- Développement et d'une méthode simple, peu coûteuse et écologique d'extraction de la kératine des plumes et duvets ;
- Fabrication de non-tissés de nanofibres de kératine de plume et duvet de poule et de canard et leur caractérisation de leur structure ;
- Indication des applications des fibres étudiées et des produits développés.

Recommandations pour les Travaux Futurs

Les perspectives de cette recherche sont de deux ordres. Le premier est la poursuite des recherches en laboratoire et la seconde est l'amélioration du système de production à l'échelle industrielle.

Bien que cette recherche a discuté de plusieurs caractéristiques des propriétés physiques et mécaniques, thermique et acoustique des fibres et des non-tissés de plumes et duvet, tous les tests n'ont pu être réalisés par manque de temps. Par conséquent, pourrait être intéressant d'effectuer d'autres analyses au microscope pour la détermination de la microporosité sur la surface extérieure des fibres, de réaliser des test de tortuosité aux fibres et aux non-tissés, de mesurer des coefficients acoustiques dans une salle réverbérant et procéder à des essais chimiques tels que des effets de l'enzyme, ou solvants organiques, acides et alcalis pour vérifier la résistance et le comportement des fibres après certains traitements chimiques.

Au niveau des non-tissés de nano fibres de la kératine de plume de de duvet, il est recommandé d'effectuer le test de biocompatibilité, traction, perméabilité à l'air et de la microscopie pour examiner la porosité et la surface des nano fibres.

A l'échelle industrielle, il est nécessaire d'effectuer des tests sur les machines industrielles et d'améliorer le système de production et son efficacité.

Une autre approche en cours de développement est l'étude de la fiabilité de la production du processus de non-tissés (production industrielle). En outre, les tests de qualité comme par exemple stabilité dimensionnelle et essai d'abrasion doivent être effectués avant le lancement du produit sur le marché pour analyser les améliorations possibles et déterminer la durée de vie des produits.

4 Conclusão

A indústria da avicultura produz, numa escala mundial, milhões de toneladas de penas e penugens de frango, pato, peru e ganso por ano. Esse bioproduto encontra seu fim com a incineração em aterros. Por isso, nesta pesquisa, analisaram-se as possibilidades de fabricação de produtos comercializáveis a fim de reciclar o material de descarte.

Esta tese apresentou, portanto, o estudo das características físico-mecânicas, térmicas e acústicas das fibras e dos nãotecidos fabricados de pena e penugem de frango, pato, peru e ganso. Além do mais, a queratina de pena e penugem foi extraída utilizando um método simples e original para esse material. Assim, nanofibras de queratina foram produzidas e caracterizadas. As principais constatações sobre as características analisadas das fibras de pena e penugem foram: baixo a médio título, alto valor de tenacidade, baixa massa volúmica, comprimento pequeno, diâmetro parecidos com outras fibras animais, alongamento próximo aos das fibras de algodão e seda, boa propriedade de molhabilidade, não é retrátil à fervura, característica de isolamento térmico devido à baixa condutividade térmica, bom isolante acústico em baixas frequências e estrutura a qual se assemelha a um favo de mel com inúmeras micro cavidades. Ademais, em relação aos nãotecidos de pena e penugem, constatou-se a característica de pilosidade nos nãotecidos de penugens devido ao desarranjo das fibras curtas. Em geral, os nãotecidos de penas apresentam maior espessura que os nãotecidos de penugem e penugem cortada. Nota-se que entre as amostras de 133g/m^2 , o nãotecido de penugem de frango apresenta maior diferença de espessura entre os demais. E entre as amostras de 267g/m^2 , o nãotecido de ganso é o que apresenta maior diferença, seguido dos nãotecidos de penugem de frango e pato. Portanto, considera-se que os nãotecidos de 133g/m^2 apresentaram maior homogeneidade em espessura que os nãotecidos de 267g/m^2 .

Comparando os valores de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 133g/m^2 , nota-se que os nãotecidos de pena de frango, pato, peru e ganso são mais permeáveis que os nãotecidos de penugens de frango, pato, peru e ganso. Por outro lado, os nãotecidos de 133g/m^2 menos permeáveis são os de penugem de ganso e penugem de pato.

Comparando os valores de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 267g/m^2 , percebe-se que as penas de frango, pato, peru e ganso são mais permeáveis que as penugens de frango, pato, peru, ganso, penugem de frango cortada, penugem de pato cortada, penugem de peru cortada e

penugem de ganso cortada. Essa característica pode ser explicada pelo diâmetro. Penas de frango, pato, peru e ganso apresentam maior diâmetro que as penugens e as penugens cortadas. Em outras palavras, o fluxo de ar que passa através da penugem é menor do que o que atravessa as penas. Percebeu-se, portanto, que maior diâmetro os nãotecidos possuem, mais permeáveis ao ar eles são.

Observa-se que os nãotecidos de 133g/m^2 e 267g/m^2 de penugem apresentam maior alongamento que os de pena e os de penugem cortada com exceção para o nãotecido de penugem de ganso cortada de 267g/m^2 o qual possui maior alongamento que o de penugem de ganso de 267g/m^2 . Desta mesma forma, os nãotecidos de penugem 133g/m^2 e 267g/m^2 possuem maiores valores de força de ruptura como esperado. No entanto, o menor alongamento é do nãotecido de pena de pato 267g/m^2 e 133g/m^2 . Em geral, todos os nãotecidos de penugens são mais elásticos que os nãotecidos de penas.

Além do mais, os nãotecidos de 267g/m^2 de pena de frango, peru e penugem de ganso possuem boas propriedades de condutividade térmica.

Os nãotecidos com boas propriedades acústicas são os de pena de frango e pato 267g/m^2 , penugem de frango, pato e peru cortada 267g/m^2 , penugem de peru de 267g/m^2 e pena de pato 133g/m^2 .

Graças a essas características, observaram-se algumas possíveis aplicações em isolamento sonora e térmica, como, por exemplo, em edifícios residenciais ou para interiores de veículos automobilísticos, ferroviários e aeronáuticos.

A aplicação como reforço seria uma boa destinação para fibras com alto nível de tenacidade.

Pode-se também pensar no desenvolvimento de um fio têxtil, onde poderão ser misturadas outras fibras, de acordo com a aplicação desejada e a partir de fios, o desenvolvimento de tecidos têxteis.

Em relação aos resultados obtidos com o electrospinning, o objetivo foi extrair a queratina com um método simples, ecológico e, sobretudo, averiguar a possibilidade do desenvolvimento de nanofibras produzidas com a queratina de pena e penugem. Desta forma, conclui-se que é possível produzir nanofibras de alta qualidade (altamente uniformes e regulares) a partir da queratina de pena e penugem. Além do mais, os processos de extração e de electrospinning são bem simples e viáveis para a industrialização. O pouco uso de produtos químicos, para a extração, faz com que o processo se torne ecológico e sem riscos para as pessoas envolvidas na produção.

Em termos de aplicações, pode-se pensar nas mesmas aplicações existentes que para as nanofibras de lã e de fibroína de seda na área médica (biomateriais para enxertos vasculares e também para revestimento em aplicações cardiovasculares) se houver biocompatibilidade biológica para que não haja rejeição do organismo humano.

Outras aplicações podem ser pensadas na área de proteção, compósitos, filtração de metais pesados e purificação de águas, já que, o nãotecido de queratina de pena possui nanofibras regulares, coesas e uniformes.

Este trabalho inovador de pesquisa permitiu o conhecimento das características das fibras de pena e penugem, o desenvolvimento de vários nãotecidos com esse material, o desenvolvimento de um novo processo de extração de queratina e um novo nãotecido de nanofibras de queratina de pena e penugem. As etapas são simples, ecológicas, não apresentam riscos para os trabalhadores, são de baixo custo e são viáveis em escala industrial. Este estudo comprovou que é possível evitar o desperdício reciclando os resíduos de penas. A reutilização desse material será uma oportunidade econômica e sustentável valiosa tanto para a indústria da avicultura quanto para a indústria têxtil e de materiais, pois, produtos feitos com essa matéria-prima poderiam ser comercializáveis, evitando o desperdício e a incineração de uma enorme quantidade de penas de aves ao redor do mundo. Além disso, penas recuperadas reduzem não só os custos, mas também criam um impacto ambiental positivo.

Portanto, as principais conclusões foram:

- Descrição completa de propriedades das fibras de pena e penugem de penas de frango, pato, peru e ganso;
- Desenvolvimento de nãotecidos por agulhadeira, utilizando as fibras estudadas e descrição de suas propriedades;
- Desenvolvimento e redirecionamento de um método simples, de baixo custo e ecológico de extração da queratina de pena e penugem;
- Fabricação de nãotecidos de nanofibras de queratina de pena e penugem de frango e pato e sua caracterização;
- Indicação de aplicações das fibras e dos produtos desenvolvidos.

4.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

As perspectivas deste trabalho de pesquisa possuem duas vertentes. A primeira é na continuação da pesquisa laboratorial e a segunda é no aprimoramento do sistema produtivo em escala industrial.

Embora esta pesquisa tenha discutido inúmeras características de propriedades físico-mecânica, térmica e acústica das fibras e dos não tecidos de pena e de penugem, existem testes que não foram abordados por inviabilidade temporal. Por isso, recomenda-se outras análises de microscopia para a verificação da existência de micro-porosidade na superfície externa das fibras, a realização do teste de tortuosidade, a medição do coeficiente acústico em uma câmara reverberante e testes químicos como por exemplo efeitos enzimáticos, ou de solventes orgânicos, ácidos e álcalis para averiguar a resistência e o comportamento das fibras após certos tratamentos químicos.

Nos não tecidos de nanofibras de queratina de pena e penugem, recomenda-se a realização do teste de biocompatibilidade, tração, permeabilidade ao ar e microscopias para analisar a porosidade e a superfície das nanofibras.

Em escala industrial, é necessário realizar testes em máquinas industriais e aprimorar o sistema produtivo e sua eficácia.

Outra abordagem a ser desenvolvida é o estudo da confiabilidade do processo produtivo dos não tecidos. Além do mais, testes de qualidade como por exemplo estabilidade dimensional e teste de abarsão devem ser feitos antes de lançar o produto no mercado para analisar a melhoria e determinar a vida útil dos produtos.

Este capítulo contém todas as referências utilizadas para a elaboração desta pesquisa de doutorado. As referências são apresentadas em ordem alfabética.

ABDI. Cartilha Sobre Nanotecnologia. *Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial*, Brasília, 2010. 11 p.

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

ALUIGI, A.; VARESANO, A.; MONTARSOLO, A.; VINEIS, C.; FERRERO, F.; MAZZUCHETTI, G.; TONIN, C. Electrospinning of Keratin/Poly (Ethylene Oxide) Blend Nanofibers. *Wiley InterScience*, Torino, Italy, 2006. 864 p.

ALUIGI, A.; VINEIS, C.; VARESANO, A.; TONETTI, C.; TONIN, C.; MAZZUCHETTI, G. Wool Keratin-Based Nanofibres for Active Filtration of Air and Water. *Institute for Macromolecular Studie*, Rome, 2009. 20 p.

APVF - L'Association pour la Promotion de la Volaille Française, 2013. Disponível em: <<http://www.volaille-francaise.fr/la-filiere-avicole/chiffres-cles-2/>>. Acesso em: 26 Ag. 2014.

AMAN, U.; THAVARATNAM, V.; DAVID, B.; ANASTASIA, L. E.; JIANPING, W. Bioplastics from Feather Quill. *Bio Macromolecules*, 2011. 3826 p.

AMBRÓSIO, J. D.; KOBAYASHI, M. N.; DONATO, A.; MARINELLI, A. L.; BRANCIFORTI, M. C.; MONTEIRO, M. R. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 2008. 18 p.

ANDRADY, A. L. Science and Technology of Polymer Nanofibers. *John Wiley & Sons*, 2008, 206 p.

ANEJA, P. A.; SCHACHER, L.; ADOLPHE, D.; JACOB, K.; WILD, T. On Compression/Recovery of Goose Down (Part 1- Experimental). *Noeton Policy in Innovation; Ecole Nationale Supérieure Sud-Alsace; School of Materials Science and Engineering; G. W. Woodruff School of Mechanical Engineering*, 2012. 1-23 p.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. de. Manual de Engenharia Têxtil. *Fundação Calouste Gulbenkian*, Lisboa, v. 2, 1987.

ARUN, G.; RAMANAN, P.; ROSLI, B. M. Y.; NURULDIYANAH, B. K. Extraction of Keratin Protein from Chicken Feathers, *Journal of Chemistry & Chemical Engineering*, Vol. 6 Issue 8, 2010. 732 p.

BABU, K. M. Handbook of Natural Fibres. Identification of Natural Textile Fibres, v. 1, Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v. 1, *Woodhead Pub. Bapuji Institute of Engineering and Technology*, Índia, 2012. p. 161 - 167.

BALTAZAR-Y-JIMENEZ, A.; SAIN, M. Natural Fibers for Automotive Applications. *Handbook of Natural Fibers*, v. 2: Processing and Applications, 2012. p. 219 e 228.

BANKS-LEEA, P.; MOHAMMADİB, M.; GHADİMİC, P. Utilization of Air Permeability In Predicting The Thermal Conductivity, *INJ Summer*, 2004. 31 p.

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

BASTOS, P. S. S. Fundamentos do Concreto Armado. *Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil – UNESP*, Bauru, 2006.

BENDIT, G. Infrared Absorption Spectrum of Keratin. I. Spectra and Super contracted Keratin. *Biopoly Mers* v. 4, p 544, 1966.

BEZERRA, C. M. S.; SOUSA, F. C.; SOUSA, M. K. F.; CAPISTRANO, R.; ROSENDO, Y. Q. Fibras Protéicas. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, 2003. p. 13-14.

BHAMRA, T. Building Ecodesign Throughout the Supply Chain: A New Imperative for the Textile & Clothing Industry. *Ecotextile: The Way Forward for Sustainable Development in Textiles*. Department of Design & Technology. *Woodhead Publishing in Textiles*, USA. 2007.

BHUSHAN, B. Springer Handbook of Nanotechnology. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2010. 1 p.

BRETON, Y. ; MOUGIN, B. Nanotechnologies Dans le Textile. *Techniques de l'Ingenière*, 2011. 7 p.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. Materials Science and Engineering an Introduction. 8 ed., 2009.

CATUSSE, J.P. Syndicat National des Duvets et Plumes. *Mensagem pessoal recebida por jean-philippe.catusse@orange.fr* em: 3 Out. 2013.

COLLINS, J. D. CHAIKIN, M. The stress-stain behaviour of dimensionally and structurally non-uniform wool fibers in water. *Cirtel, Sect.1*, Paris,1960. p. 86.

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

CURRIE, R. Silk, Mohair, Cashmere and Other Luxury Fibers: Sils and its Characteristics. *The Textile Institute*, 2008. 9 p.

DALIBART, M. ; SERVANT, L. Spectroscopie Dans l'infrarouge. *Technique de l'Ingénieur*, 2000.

DALTON, J.; FRANCK, R. Silk, Mohair, Cashmere and Other Luxury Fibers: Introduction. *The Textile Institute*, 2008. 134 p.

DUBROVSKI, P. D.; ČEBAŠEK, P. F. Analysis of the Mechanical Properties of Woven and Nonwoven Fabrics as an Integral Part of Compound Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* July/September, v. 13, n° 3 (51). 2005, 51 p.

DUCK, 2013. Disponível em: <<http://kindersay.com/signs/duck>>. Acesso em: 24 Jun. 2014.

EDANA. International Nonwovens Symposium. *European Disposablesand Nonwovens Association*, Roma, 4 a 5 de julho, 2003.

EICHHORN, S. J.; HEARLE, J. W. S.; JAFFE M.; KIKUTANI, T. Handbook of Textile Fibre Structure, v. 1: Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres, *Woodhead Pub*, Cambridge, 2009. 3 p.

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

FANGUEIRO, R. Fibrenamics: Áreas de Aplicação. *Universidade do Minho*. Disponível em: <<http://www.fibrenamics.com>>. Acesso em: Nov. 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/fr>>. Acesso em: 2/09/2014.

FEDEREC. Une Écologie Industrielle: Le Recyclage, 2013. Disponível em: <<http://www.federec.org/les-nouvelles-matieres-premieres/plumes-et-duvets/le-recyclage-les-plumes-de-recuperation>>. Acesso em: 2 Nov. 2014.

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

FIGUEIREDO, E. A. P.; SCHMIDT, G. S.; LEDUR, M. C.; AVILA, V. S. Raças e Linhagens de Galinhas para Criações Comerciais e Alternativas no Brasil. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, Santa Catarina, 2003. Disponível em: <<http://www.ceunes.ufes.br/downloads/2/julienchiquieri-Ra%C3%A7as%20galinhas.pdf>>. Acesso em: 24 Jun. 2014.

FORD, J. E; SIMMENS, S. C. Fiber Section Cutting by the Plate Method. *Shirley Institute Memoirs*, 1958. p. 31 e 289.

FRÓES, G. O. A. Testes Estatísticos para Comparação de Médias. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.5, n° 6, 2008. p. 777-788.

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

GATESHEAD COUNCIL. *Canada Goose*. Disponível em: <<http://www.gateshead.gov.uk/Environment%20and%20Waste/Pest-Control/Birds-and-rodents/Canada-Goose.aspx>>. Acesso em: 24 Jun. 2014.

GASI, F.; BITTENCOURT, E. Estudos das Propriedades de Conforto Em Tecidos de Malha das Fibras Sintéticas de Poliéster e Poliamida 6.6: Permeabilidade ao Vapor, Transporte de Umidade e Proteção Ultravioleta. *Revista de Design, Gestão e Inovação Estratégica (REDIGE)*, v.1, n°1, 2010.

GEORGE, B.R.; BOCKARIE, A.; MCBRIDE, H.; EVAZYNAJAD, A.; BIEAK, N. Textile Products Produced from Alternative Fibers. Recycling in Textiles. *Woodhead Publishing in Textiles*, USA, CRC Press LLC, 2006. 165 p.

GERMA, M. Initiation à L'analyse de Variances. *Techniques de l'Ingénieur*, 2015. 1414 p.

GHALÍ, L., HALÍMÍ, M.T., HASSEN, M.B.; SAKLÍ, F. Effect of Blending Ratio of Fibers on the Properties of Nonwoven Fabrics Based of Alfa Fibers. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, v.4, 116-125, 2014. 122 p.

GLOBAL NANOTECHNOLOGY MARKET OUTLOOK 2022, 2015. 175 p.

GOIX, E. Coq et Poule. Encyclopædia Universalis, 2014. Disponível em: <<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/coq-et-poule>>. Acesso em: 26 Ago. 2014.

_____. Oie. Encyclopædia Universalis, 2014. Disponível em: <<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/oie>>. Acesso em: 26 Ago. 2014.

_____. Canard. Encyclopædia Universalis, 2014. Disponível em: <<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/canard>>. Acesso em 26 Ago. 2014.

GULICH, B. Designing Textile Products That Are Easy to Recycle. Recycling in Textiles. Saxon Textile Research Institute. *Woodhead Publishing in Textiles*, USA, 2006.

_____. Development of Products Made of Reclaimed Fibres. Recycling in Textiles. Saxon Textile Research Institute. *Woodhead Publishing in Textiles*, USA, 2006.

HAGHI, A. K. Electrospinning of Nanofibers in Textiles. *Apple Academic Press*, 2012. 26 p.

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

HAMOUCHE, H. Caractérisation des Fibres Kératiniques en Vue de Leur Utilisation Comme Capteur d'humidité. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. *Memoire de Magister*, 2012. p. 65 -71.

HARWOOD, J.; HARWOOD, R. Testing of Natural Textile Fibres. Copernicus Textile Solutions Ltd, UK. Handbook of Natural Fibres. Identification of Natural Textile Fibres, v.1,

Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v.1, Woodhead Pub, 2012. p. 345 - 390.

HASSANZADEH, S.; ZARREBINI, M.; ISFAHAN, H. H. An Investigation into Acoustic Properties of Lightly Needled Estabragh Nonwovens Using the Taguchi Method. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 9, Issue 3, 2014. 25 p.

HODA, S. S.; NERMIN, M. ALY.; ALI, M. A.; ELSHAKANKERY, M. H. Investigation on Sound Absorption Properties for Recycled Fibrous Materials. *Jornal of Industrial Textiles*, v. 43, nº 1, 2013.

HOUCK, M. M. Identification of Textiles Fibres. *Woodhead Publishing Limited Boca Raton, FL: CRC Press*, 2009.

HUNTER, L; HUNTER, M. E. L. Silk, Mohair, Cashmere and Other Luxury Fibers: Introduction and Brief History. *The Textile Institute*, 2008. p. 71 e 75.

IBRAHIM, M. A.; MELIK, R. W. Physical Parameters Affecting Acoustic Absorption Characteristics of Fibrous Materials. *Proceedings of the Mathematical and Physical Society of Egypt*, 1978. 46 p.

IFTH - Institut Français du Textile et de l'Habillement, 2002. Disponível em: <<http://www.ifth.org/fr/innovation-textile/9-technologie-textile/4716-parc-metier-nontisse.html>>. Acesso em 5 Ago. 2014.

INSTITUT FRANÇAIS TEXTILE. Connaissance de Base des Textiles : Les Matières Premières Textiles. *Habillement*, v.1, 1994. 9 p.

INSTITUT FRANÇAIS TEXTILE. Les Nontissés : de la Fibre aux Produits Fonctionnalisés. *Habillement*, 2002. 3 p.

IDFL. Goose vs. Duck. *International Down and Feather Laboratory and Institute*, 2010. p.1. Disponível em: <[file:///C:/Users/rseawright/Downloads/IDFL%20Info%20-%20Goose%20vs.%20Duck%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/rseawright/Downloads/IDFL%20Info%20-%20Goose%20vs.%20Duck%20(1).pdf)>. Acesso em: 17 Nov. 2014.

ITAVI. Situation de la Production et des Marches Avicoles. *Institut Technique de l'Aviculture*, 2013. Disponível em :

<http://www.itavi.asso.fr/economie/eco_filiere/volailles.php?page=prod#prod_fr>. Acesso em: 2 Set. 2014.

_____. Situation de la Production et des Marches Avicoles et Cunicole. *Institut Technique de l'Aviculture*, 2015. Disponível em : <<http://labreveagricole.fr/wp-content/uploads/2015/04/ITAVI-Note-de-conjoncture-avril-2015.pdf> >. Acesso em: 2 Junho 2016.

JAYARAMAN, K. A. Acoustical Absorptive Properties of Nonwovens, *Textile Management and Technology*, North Carolina State University, 2005.

JMP. Statistical Discovery, 2013. Disponível em: <http://www.jmp.com/fr_fr/home.html>. Acesso em: 2 Jan. 2016.

JONES, L. N; RIVEN, D. E; TUCKER, D. J. Handbook of Fiber Chemistry, *Marcel Dekker, Inc.*, New York, 1998. p. 147 - 149.

KASWELL, E. R. Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles. *Massachusetts Institute of Technology and Wellington Sears Company*, Cambridge, USA, 1963. 757 p.

KAWABATA, S. Measurements of Anisotropic Mechanical Property and Thermal Conductivity of Single Fiber for Several High Performance Fibers. *Proceedings of the 4th Japan Conference on Composite Materials*. Japan, 1998. 253 p.

KAYAR, M. Analysis of Ultrasonic Seam Tensile Properties of Thermal Bonded Nonwoven Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 9, Issue 3, 2014.

KHENOUSSEI, N.; SCHACHER, L.; ADOLPHE, D.C.. Nanofiber Production: Study and Development of Electrospinning Device. *Experimental Techniques* 36 (2012) 32–39, *Society for Experimental Mechanics*, 2012. p.32-33.

KIM, J. Acoustic Introduction Example. *Central Virginia Governor's School for Science & Technology*, 2012. Disponível em: <<http://www.cvgs.k12.va.us:81>>. Acesso em: 15 Set. 2014.

KIYAK, E.Y.; CAKMAK E. Nanofiber Production Methods. *Electronic Journal of Textile Technologies*, 2014, p. 49, 54-57.

KOZŁOWSKI, R. M. Handbook of Natural Fibres v.1, Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v.1. *Woodhead Pub*, 2012. p. 3, 30, 161 - 167, 184 - 187.

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

KUFFNER, H., POPESCU, C. Wool Fibres. Handbook of Natural Fibres. Identification of Natural Textile Fibres, v.1, Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v.1, *Woodhead Pub*, 2012. p. 171 - 195 e 219.

KUSHAL, S. Importance of Fibers Fininess. *NPTEL*, 2012. Disponível em : <<http://nptel.ac.in/courses/116102029/14>> Acesso em: 7 Mar. 2016.

LA DINDE. 2011. Disponível em: <<http://www.jemesensbien.fr/2011>>. Acesso em: 24 Jun. 2014.

LI, Z.; WANG, C. Effects of Working Parameters on Electrospinning: One - Dimensional Nanostructures, *Springers Briefs in Materials*, 2013. p. 15-25.

LİMİN, P.; BOQİ, S.; JUNFENG, W.; DONG, W. Mechanic and Acoustic Properties of the Sound-Absorbing Material Made from Natural Fiber and Polyester. *Advances in Materials Science and Engineering*, China, 2014.

LIN, T.; WANG, X. G. Nanofibers and Nanotechnology in Textiles : Controlling the Morphologies of Electrospun Nanofibers. *Woodhead Publishing in Textiles*, 2007. 98 p.

LIU, L.; YU, S. H. The Study for Adsorption of Cooper Ions from Aqueous Solutions Using Feather Nonwovens. The College of Textile, Donghua University, 2008.

MACEDO, A. M. K. S. Fibras Têxteis. *Ministério Federal de Santa Catarina*. 2ª ed. 2012.

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.

MANSUR, H. S. Técnicas de Caracterização de Materiais, *Universidade Federal de Minas Gerais*, 2013. 1 p.

MANUAL KES-F7 Thermo Labo II (Precise and Prompt Thermal Prosperity Measurement Instrument), KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto - Japão, 2 ed. p. 1 - 25.

MANUAL KES-FB3 for Calibration Tables and Short Instructions for Operation, KES - KATO TECH CO., Ltda., Kyoto - Japão, p. 1 - 26.

MAREZE, P. H. Análise da Influência da Microgeometria na Absorção Sonora de Materiais Porosos de Estrutura Rígida. *Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis, 2013.

MCINTYRE, J. E; DANIELS, P. N. Textile Terms and Definitions, 10 ed. *The Textile Institute, Manchester*, UK, 1995.

MINITAB 17. Teste de Normalidade. 2015. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/teste-de-normalidade/>>. Acessado em: 25 Fev. 2016.

MOHAMMAD, H. F.; MOHAMED, H. N.; MASOMEH, G. ; MARWAN, S.; SIM, Y. P.; SIN, Y. W.; PANG, Z. X. ; MOHD, J. M. N. Utilizing Malaysian Natural Fibers as Sound Absorber, 2013. 168 p.

MOITA, J. M. N.; MOITA, G. C. An introduction Analysis Exploratory Multivariate Date. *Química Nova* 21, 1998. 468 p.

MONTEIRO, A. J. S. C. dos. Revestimentos Multicamada PVD com Comportamento Electrocrômico. *Universidade do Minho*, 2005, 26 p.

MORAN, W.; JIHUAN, H.; JIANYONG, Y.; NING, P. Lattice Boltzmann Modeling of the Effective Thermal Conductivity for Fibrous, 2006. 32 p.

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S. An Introduction to Fibre Structure. Physical Properties of Textile Fibres. New York, Washington, ed. nº 4. *Woodhead Publishing in Textiles*, nº 68, 2008. p. 1, 91, 105, 110, 111 - 390 e 591.

MUGE, S. Y.; SOKMEN, N.; CANOGLU, S. Biomaterial Applications of Silk Fibroin Electrospun Nanofibres. *Microelectronic Engineering*, 2015. 47 p.

MÜSSIG, J. Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications. *Ed. Wiley Ltd. United Kingdom*, 2010. p. 240 e 242 - 243.

NAYAK, R. K., PADHYE, R., FERGUSON, S. Handbook of Natural Fibres. Identification of Natural Textile Fibres, v.1, Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v. 1. *Woodhead Pub*, 2012. p. 315 e 317.

NEW WORLD ENCYCLOPEDIA. Turkey Facts, 2014. Disponível em: <[http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Turkey_\(bird\)](http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Turkey_(bird))>. Acesso em: 27 Ago. 2014.

NOGUEIRA, C. G. S. Análise Sensorial de Produtos Têxteis. (Tese de Doutorado em Mecânica). Université de Haute-Alsace, France, 2011. p. 110 - 120.

NOGUER, S.; DUPUY, J. P. Etat des Lieux et Perspectives du Recyclage des Déchets Issus du Traitement des Plumes et Duvets en France, *Ernst & Young*, 2002.

OLIVEIRA, E. C.; TEODORO, E. B. Methods to Measure the Acoustic Absorption Coefficient. *15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.

OMID, C. F.; LANGER, R. Impact of Nanotechnology on Drug Delivery. *ACS Nano-American Chemical Society*, 2009 3 (1). p. 16 - 20.

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

PAES, Â. T. O que Fazer Quando a Distribuição Não é Normal? Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein - IIEPAE, Brasil. *Einstein: Educ Contin Saúde*, 2009. p. 3 - 4.

PATRA, S. Electrospinning and Nanotextile: Manufacturing and Characterisation of Electrospun Nanostructured Mats from Poly (lactic acid). *Lambert Academic Publishing*, 2012. 12 p.

PERRY, D. R.; APPLEYARD, H. M.; CARTRIDGE, G.; COBB, P. G. W.; COOP, G. E.; LOMAS, B.; RITCHIE, G. G.; TAYLOR, C.; WELCH, M. J.; FARNFIELD, C. A. Identification of Textile Materials, 7 ed. *The Textile Institute*, Manchester, UK, 1975.

PINHO, E. D.; ARAUJO, A.; J. V.; REIS R. L.; NEVES. N. M. Degradable Particulate Composite Reinforced with Nanofibres for Biomedical Applications. *Acta Biomaterialia*, v. 5, Issue 4, 2009. p. 1104 - 1114.

PITTOLI, M. Sistemas Formadores de Fios I - Titulação dos Materiais Têxteis. Americana, Brasil, 2012.

PRODUCTION DES IAA. Volaille: Abattage, Signes de Qualité, Production Commercialisée, Ovoproduits, Œufs. *Enquêtes de Branche Agreste Chiffres et Données Agroalimentaire*, n° 177, 2011. 11 p.

RAMAKRISHNA, S.; FUJIHARA, K.; TEO, W. E; LIM, M. A. Z. Introduction to Electrospinning and Nanofibers. *World Scientific Publishing. Co Pte Ltd*, Singaore, 2005. p. 15, 193 - 211, 382.

RAMANAN, S. O. P. Production of Natural Protein Using Chicken Feather. *Universiti Malaysia Pahang*, 2010. 10 p.

REDDY, N.; YANG, Y. J. Polimers. *Environ*, 2007. 15 p.

RODRIGUEZ, A. L.; MÜNCHEN, A. P. R.; FEDRIGO, C. A.; DORFMAN, L.; NETO, E. A. J. Estudo Comparativo da Evolução das Células Nervosas entre os Diversos Filos do Reino Animalia. *Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*, 2012. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/fabio/histologia/tecnerv>>. Acesso em: 26 Ago. 2014.

SALÉM, Vidal. Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias. São Paulo: *Blucher: Golden Tecnologia*, 2010. p. 14 e 26.

SAPORTA, G.; BOUROCHE, J. M. L'analyse des Données. *Que sais-je?* 8 ed, 2002. p. 3 - 4, 17.

SCHLOTZHAUER, S. Elementary Statistics Using JMP. *SAS Press*. **2007. 276 p.**

SCHMIDT, W. F. Microcrystalline Keratin: From Feathers to Composite Products. *MRS Proceedings*, 2001. 702 p.

SCHMIDT, W. Agricultural Research Service, USDA. Personal Communication, 2012.

SEAWRIGHT, R. A.; MARCICANO, J. P. P. Pena de frango: Estudo das Características Físicas das Fibras Têxteis. (Dissertação de Mestrado em Têxtil e Moda). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 93 p.

SEDDEQ H. S. Factor Influencing Acoustic Performance of Sound Absorption Materials. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 2009, 3(4). p. 4610 - 4617.

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

SHOSHANI, Y.; YAKUBOV, Y. Numerical Assessment of Maximal Absorption Coefficients for Nonwoven Fiberwebs. *Applied Acoustics*, v. 59, Issue 1, 2000. p. 77 - 87.

SHUAI, L.; XU-HONG, Y. Advances in Materials Science and Engineering. *Hindawi Publishing Corporation: Advances in Materials Science and Engineering*. China, 2014. 2 p.

SLATER, K. Environmental Impact of Textiles: Production, Process and Protection. Use of Textiles. *The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd*, Cambridge - England, 2003.

SOUTINHO, H. F. da C. Design Funcional de Vestuário Interior. Universidade do Minho. Portugal. (Dissertação de Mestrado), 2006. 193 p.

SUARDANA, N. P. G.; YINGJUN, P.; JAE KYOO, L. Mechanical Properties of Hemp Fibers and Hemp/Pp Composites: Effects Of Chemical Surface Treatment. *Materials Physics and Mechanics*, 2011. 3 p.

SUQUET, C. Introduction au Calcul des Probabilités. *Université des Sciences et Technologies de Lille U.F.R. de Mathématiques Pures et Appliquées*, 2003. 1 p.

TATSUYA H., GLYN O. P., MACHIKO T. New Millennium Fibers. Cambridge, *woodhead*, v. 1, 2005.

TEXTTEST A. G. Manuel d'utilisation du TEXTTEST FX 3300 Permeabilité à l'air. Zwitserland, 2010.

THE STATE OF TEXAS OFFICE OF THE GOVERNOR. *Texas Nanotechnology Report 2008*. Disponível em: <www.texaswideopenforbusiness.com>. Acesso em: 23 Nov. 2013.

TONIN, C.; ALUIGI, A.; VARESANO, A.; VINEIS, C. Keratin - Based Nanofibres. *Institute for Macromolecular Studies*, Italy, 2010. 151 p.

T.T.S. nº18. *Journal Textile Industri*, 1950. 41 p.

UBABEF, União Brasileira de Avicultura. *Relatório Anual, 2014 e 2015*. p.16 - 49.

VALLABH, R.; BANKS-LEE, P.; MOHAMMADI, M. Determination of Radiative Thermal Conductivity in Needlepunched Nonwovens. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 46 v. 3, Issue 4, 2008. 49 p.

VAUGHN, E. A.; BOSTON, R. J.; TASCAN, M. Proceedings of the Beltwide Cotton Production Conference, 2003. p. 2367 - 2378.

VAUGHN, E. A.; TASCAN, M. Effects of Fiber Denier, Fiber Cross-Sectional Shape and Fabric Density on Acoustical Behavior of Vertically Lapped Nonwoven Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v.3, Issue 2, 2008. 32 p.

VEYSSEYRE, R. Aide - Mémoire: Statistique et Probabilités pour l'Ingénieur. Ed. Dunod, Paris, 2004. 335 p.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. Estatística experimental. São Paulo: Atlas, 1989. 175 p.

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

ZHAN, M.; WOOL, R. P. Mechanical Properties of Chicken Feather Fibers. *Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials*, University of Delaware, Newark, Delaware, 2011.

ZHONG, X. Z. The Construction Materials for Sound Absorption and Insulation, Chemical Industry Press, Beijing, China, 2012.

ZIABICKI, A. Fundamentals of Fibre Formation: The Science of Fibre Spinning and Drawing. New York: *John Wiley*, 1976.

WALENTOWSKA, J.; KOZLOWSKI, R. M. Prevention of Fungal Growth in Natural Fibres. Institute of Natural Fibres in Medicinal Plants and Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes, Polônia. *Handbook of Natural Fibres*. Identification of Natural Textile Fibres, v.1, Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Oxford Philadelphia, v.1. *Woodhead Pub*, 2012. p. 532 - 549.

WANG, Y. Utilization of Recycled Carpet Waste Fibers for Reinforcement of Concrete and Soil. Recycling in Textiles. Georgia Institute of Technology, USA. *Woodhead Publishing in Textiles*, USA, 2006.

WANG Y. X.; CAO, X. J. Extracting Keratin from Chicken Feathers by Using a Hydrophobic Ionic Liquid. *Process Biochemistry*, 2012. 899 p.

WASIM, K.; VENKATESH, K. Thermal and Mechanical Properties of Fiber Reinforced High Performance Self-Consolidating Concrete at Elevated Temperatures. *Cement and Concrete Research*, v. 41, Issue 11, 2011. p. 1112 - 1122.

WEI, Q. Functional Nanofibers and Their Applications. *Woodhead Publishing Series in Textiles*, 2012. 448 p.

WENDORFF, J. H.; AGARWAL, S.; GREINER, A. Electrospinning: Materials, Processing and Applications. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, 2012. p. 15 - 16.

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

YANG, Y.; REDDY, N. 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.

YANG, W. D.; LI, Y. Sound Absorption Performance of Natural Fibers and Their Composites. *Science China Technological Sciences*, v. 55, n° 8, 2012. p. 2278 to 2283.

YILMAZ, N. D. Acoustic Properties of Biodegradable Nonwovens. Universidade do Estado de Carolina do Norte. Estados Unidos. (Tese), 2009.

YOUNG, J. N.; LANCASTER, J.; CASALI, J.; CHO, G. Sound Absorption Coefficients of Micro - Fiber Fabrics by Reverberation Room Method. *Textile Research Journal*, 2007. p. 77 e 330.

YUN-XIAN, W.; XUE-JUN, C. Extracting Keratin from Chicken Feathers by Using a Hydrophobic Ionic Liquid. *Process Biochemistry*, 2012. 897 p.

Normas Técnicas

ASTM D 1776/08 – Conditioning Textiles and Textile Products for Testing

ASTM D5867/95 - Standard Test Methods for Measurement of Physical Properties of Cotton Fibers by High Volume Instruments

ASTM 2000 – Standard Test Methods for Identification of Fibres in Textiles

ASTM D4524/12 – Standard Test Method for Composition of Plumage

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

ASTM D 7641/10 – Standard Guide for Textile Fibers

ASTM D3822/07 - Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ASTM D 1909/68 – Table of Commercial Moisture Regains for Textile Fibers.

ASTM D 737/46 – Air Permeability of Textile Fabrics.

ASTM D2102-02/12 – Standard Test Method for Shrinkage of Textile Fibers

BS EN 20139/ 1992 – Textile standard atmospheres for conditioning and testing.

ISO 6741-3/87 - Textiles: Fibers and yarns – Determination of commercial mass of consignments. Part 3: Specimen cleaning procedures.

ISO 1973/95 - Textile fibres - Determination of linear density - Gravimetric method and vibroscope method.

ISO 139/ 2005 - Textiles: Standard atmospheres for conditioning and testing.

ISO 6989/81 – Textiles fibres: Determination of length and length distribution of staple fibres (by measurement of single fibres).

ISO 6330/12 – Textile : Méthodes de lavage et de séchage domestiques en vue des essais des textiles

ISO 10534-1/03 – Acoustique : Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance acoustique à l'aide du tube d'impédance - Partie 1 : Méthode du taux d'ondes stationnaires.

ISO 10534-2/ 03 – Acoustique : Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance des tubes d'impédance - Partie 2 : Méthode de la fonction de transfert.

ISO 16700/06 - Analyse par microfaisceaux : Microscopie électronique à balayage - Lignes directrices pour l'étalonnage du grandissement d'image.

ISO 9237/95 – Textiles : Détermination de la perméabilité à l'air des étoffes.

ISO 17751/09 - Analyse quantitative des fibres animales par microscopie : Cachemire, laine, fibres spéciales et leurs mélanges.

ISO 5079-96 - Fibres textiles : Détermination de la force de rupture et de l'allongement de rupture des fibres individuelles.

ISO 9092/11 – Définition de textiles nontissés.

ISO 9073-15/2008. Textiles : Méthodes d'essai pour nontissés. Partie 15 : Détermination de la perméabilité à l'air.

ISO 11111-3/2005 : Matériel pour l'industrie textile - Exigences de sécurité - Partie 3 : machines de production de non-tissés.

ISO 13934-1/13 : Propriétés des étoffes en traction - Partie 1 : Détermination de la force maximale et de l'allongement à la force maximale par la méthode sur bande.

ISO 5084/1996 : Détermination de l'épaisseur des textiles et produits textiles.

ISO 9073-2/97 : Méthodes d'essai pour nontissés. Partie 2 : Détermination de l'épaisseur

ISO 2602/80 : Interprétation statistique de résultats d'essais-Estimation de la moyenne - Intervalle de confiance.

ISO 9073-1/89 29073-1/1992 : Méthodes d'essai pour non-tissés. Partie 1 : détermination de la masse surfacique.

ISO TR 6741-4/87 – Textiles : Fibres and yarns -- Determination of commercial mass of consignments - Part 4: Values used for the commercial allowances and the commercial moisture regains.

NBR 8428/84 – Condicionamento de materiais têxteis para ensaios.

NBR 13216/94 – Materiais têxteis: Determinação do título de fios em amostras de comprimento reduzido.

NBR 13385/95 – Fibra manufaturada: Determinação da carga de ruptura e do alongamento de ruptura; ensaios dinamométricos.

NBR 13370/02 – Nãotecido: Terminologia.

NF EN 1161/97 - Mesure de la teneur en humidité.

NF EN 1883/98 - Plumes et duvets : Échantillonnage en vue d'essais.

NF G07-009/81- Essai des fibres : Détermination de la longueur et de la distribution de longueur des fibres (par le mesurage de fibres individuelles).

NF EN 29073-3/92 : Méthodes d'essai pour nontissés. Partie 3 : détermination de la résistance à la traction et de l'allongement.

XP ISO/TS 24597 Analyse par microfaisceaux (MEB) : Méthodes d'évaluation de la netteté d'image.

Adsorção. A adsorção é a acumulação e adesão de moléculas ou átomos de um fluido sobre a superfície de um material sólido.

Aleatoriedade. Exprime quebra de ordem, propósito ou causa.

Alfa (α). Potência acústica absorvida pela superfície do objeto de teste (sem retorno) para o nível de potência sonora incidente para uma onda plana incidente normal.

Alongamento de Ruptura (%). É a capacidade de um material têxtil alongar quando submetido à carga de ruptura.

Análise de Componentes Principais (ACP). Procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas a um conjunto de valores de variáveis linearmente descorrelacionadas chamadas componentes principais.

Análise de Variância. Técnica estatística que permite avaliar afirmações sobre as médias de populações. A análise visa verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

Anterior Bárbule. Pequenas ramificações da fibra.

Atmosfera Normal. Ambiente onde a humidade relativa e a temperatura são controladas onde os têxteis são condicionados e submetidos a ensaios.

Barba. Fibra da pena e elemento principal da estrutura vexil.

Bico de Bunsen. Queimador a gás de laboratório

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 Correlação de Pearson. Mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de razão).

Coeficiente de Determinação (R^2). Porcentagem da variação da variável dependente.

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.

Densidade Linear. Massa por unidade de comprimento ou título.

Desvio Padrão (dp; 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 alto desvio padrão indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores.

Dispersão Estatística. Medida de variabilidade de uma distribuição em relação à média.

Distribuição Normal. Distribuição contínua importante tanto no aspecto teórico como nas aplicações. É referenciada por dois parâmetros: pela média, um parâmetro de localização, e pelo desvio padrão, um parâmetro de dispersão.

EDANA. Associação Internacional de Nãotecidos e Indústrias Correlatas.

Elasticidade. Porcentagem de retorno do material após a aplicação de uma força.

Espessura de Um Nãotecido. Distância total entre o lado direito da face e o lado inverso do nãotecido.

Extensão. Aumento em alongamento de uma amostra, reproduzida por uma força, expressa em unidades de alongamento.

Fill Power. Consiste na habilidade de uma quantidade de massa de um material ocupar um dado volume.

Força de Ruptura. Força maximal aplicada a uma amostra levada à ruptura durante o ensaio de tração ou força final antes da ruptura completa do corpo-de-prova.

Grau de liberdade. Número de pedaços de informações independentes que são usadas para estimar os parâmetros de regressão

Higroscopicidade. Consiste na capacidade de muitas fibras de absorverem a umidade ou capacidade de uma substância para atrair moléculas de água a partir do ambiente através de absorção ou adsorção.

Índice de Absorção Acústica Ponderada (A_w). Valor único e independente da frequência, igual ao valor da curva de referência à 500 Hz (depois da conversão)

Intervalo de Confiança (IC). Intervalo estimado onde a média de um parâmetro de uma amostra tem uma dada probabilidade de ocorrer.

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

Molhabilidade. Capacidade que um líquido tem de molhar uma superfície sólida com a qual esteja em contato.

Nãotecido. Estruturas constituídas de materias textéis, como fibras, filamentos contínuos ou fios cortados, independentemente da sua natureza de origem. Apresenta-se em forma de véu ligado entre si por outro meio que não seja o entrelaçamento de fios como em tecidos com trama e urdume, malha e rendas.

Pena. As penas formam o revestimento externo das aves. Possuem, basicamente, um eixo central rígido e a partir desse eixo, as fibras estão conectadas em ambos os lados.

Permeabilidade ao Ar. Velocidade do fluxo de ar que atravessa perpendicularmente uma amostra nas condições de diferença de pressão de ar definido e durante um período definido.

Pipeta. Instrumento de medição e transferência rigorosa de volumes líquidos.

Plumagem. Todo o conjunto de penas (penas de contorno, penas de baixo, semiplumas e filoplumas) que cobre o corpo de uma ave.

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.

Quadrado das Médias (QM). Razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade.

Razão F. Razão entre os respectivos Quadrados Médios e o Quadrado Médio do Erro.

Regain. Quantidade de água absorvida pelo material seco sob condições específicas de temperatura e umidade, comparada com a massa do material seco ou porcentagem de umidade de um material têxtil em relação ao seu peso seco.

Regressão. Análise da relação entre uma variável e alguma outra variável assumindo uma relação linear.

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.

Somas dos Quadrados (SS). Representa a variabilidade dos dados,

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.

Tensão. Força que causa a extensão de um corpo.

Teste de Hipótese. Procedimento estatístico baseado na análise de uma amostra, através da teoria de probabilidades, usado para avaliar determinados parâmetros que são desconhecidos numa população.

Teste t de Student. Teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste segue uma distribuição t de Student.

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. O título em dtex é igual ao peso em gramas por 10.000 metros de material.

Título tex. O título tex de um fio ou de qualquer outro material têxtil é igual ao peso em gramas de 1000 metros de material.

Umidade. É a porcentagem de líquido que a fibra possui em relação ao seu peso úmido.

Umidade Relativa. Relação expressa em porcentagem entre a pressão parcial de vapor de água na atmosfera e a pressão de vapor do ar saturado à mesma temperatura e a mesma pressão.

Volume. É o espaço ocupado pela fibra. O efeito de alto volume depende significativamente da frisão da fibra.

Zona de Tolerância. Valores variáveis de características entre os limites de tolerância.

I. 1. E-mail do secretário do Sindicato de Penas e Penugens da França.

RE: Message issu du formulaire au travers de
www.syndicat-duvets-plumes.fr

Entrada x

Jean-Philippe Catusse <jean-philippe.catusse@oi para mim ▾ 3 de out ☆ ↶ ▾

français ▾ > português ▾ Traduzir mensagem Desativar para: francês x

Madame,

Au niveau Français,

Les données que nous avons,

Mais qui sont toutes soumises à caution, car ce ne sont que des extrapolations :

Il est à supposer que la France a produit en 2012 +/- 75.000.000 de Palmipèdes
Dans ce nombre il y a Canard Gras, de type Mulard, canard Maigre de type
Barbarie & Oie

La répartition lissée sur plusieurs années est de +/- 47% Canard Mulard, +/- 47%
Canard Barbarie (les deux s'équilibrent à part égales selon les années), mais
probablement plus de canard Mulard et le reste en Oie.

De moins en moins de production d'Oies en France.

Les Palmipèdes sont avant tout abattus pour leur viande destinée à la
consommation humaine.

Les Plumes & Duvets constituent un sous-produit.

Elles doivent être traitées par des établissements agréés dans le respect de la
réglementation EN 1069/2009.

L'objectif est le traitement & l'anoblissement des Plumes & Duvets dans le but
d'en faire un produit destiné aux manufacturiers du secteur de la literie & du
textile.

Les Plumes & Duvets une fois lavés sont triés, calibrés selon leurs diverses
utilisations finales.

On peut extrapoler la production française de plumes & duvets à :

+/- 9.000 Tonnes de Plumes & Duvets

Et ressort de cette matière :

+/- 1.250 Tonnes de Duvet Lavé (Produit Prêt à être manufacturés)

J'espère que cela répondra à vos attentes,

Cordialement

Jean-Philippe Catusse

E-mail : jean-philippe.catusse@orange.fr

Mobile : [+33.6.86.37.99.40](tel:+33686379940)

II. 1. Equipamento para o teste de Determinação da Taxa de Retração das fibras.

III. 1. Tabela com valores da lei de Fischer (VEYSSEYRE, 2004).

V ₂	V ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88	243,91	245,98	
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,329	19,353	19,371	19,385	19,396	19,412	19,424	
3	10,126	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,715	
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,873	
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,678	4,636	
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,956	
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,529	
8	5,316	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,284	3,237	
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,025	
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,913	2,865	
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,739	
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,637	
13	4,667	3,805	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,554	
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,484	
15	4,543	3,682	3,287	3,055	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,424	
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,373	
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,329	
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,290	
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,256	
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,225	
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,250	2,197	
22	4,301	3,443	3,048	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,225	2,173	
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,204	2,150	
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,356	2,300	2,255	2,183	2,130	
25	4,242	3,385	2,991	2,758	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,165	2,111	
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,148	2,094	
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,132	2,078	
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,118	2,064	
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,104	2,050	
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,092	2,037	
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,080	2,025	
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,398	2,313	2,244	2,188	2,142	2,070	2,015	
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,060	2,004	
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,050	1,995	
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,041	1,986	
36	4,113	3,259	2,866	2,634	2,477	2,364	2,277	2,209	2,153	2,106	2,033	1,977	
37	4,105	3,252	2,859	2,628	2,470	2,356	2,270	2,201	2,145	2,098	2,025	1,969	
38	4,098	3,245	2,852	2,621	2,463	2,349	2,262	2,194	2,138	2,091	2,017	1,962	
39	4,091	3,238	2,845	2,612	2,454	2,340	2,253	2,185	2,129	2,082	2,008	1,953	
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,448	2,334	2,247	2,179	2,123	2,076	2,002	1,947	
50	4,034	3,183	2,790	2,557	2,400	2,286	2,199	2,130	2,073	2,026	1,952	1,895	
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,919	1,862	
70	3,978	3,128	2,736	2,503	2,346	2,231	2,143	2,074	2,017	1,969	1,895	1,838	
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,877	1,820	
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,864	1,807	
100	3,936	3,087	2,695	2,462	2,305	2,190	2,102	2,032	1,975	1,927	1,853	1,796	
200	3,888	3,041	2,650	2,417	2,259	2,144	2,056	1,985	1,927	1,878	1,804	1,747	
500	3,860	3,014	2,623	2,390	2,232	2,117	2,028	1,957	1,899	1,850	1,775	1,718	
∞	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,939	1,880	1,831	1,756	1,699	

© Dupont - La photocopie non autorisée est un délit

TABLE 7-1b		FRACTILES de la LOI de FISHER F(v1,v2)												$\alpha=0,95$
v_2	v_1	16	18	20	22	24	26	28	30	40	60	80	1000	
1	246,46	247,32	248,02	248,58	249,05	249,45	249,80	250,10	251,14	252,20	252,72	254,19		
2	19,433	19,440	19,446	19,450	19,454	19,457	19,460	19,462	19,471	19,478	19,483	19,488		
3	8,692	8,675	8,660	8,648	8,639	8,630	8,623	8,617	8,594	8,572	8,561	8,529		
4	5,844	5,821	5,803	5,787	5,774	5,763	5,754	5,746	5,717	5,688	5,673	5,632		
5	4,604	4,579	4,558	4,541	4,527	4,515	4,505	4,496	4,464	4,431	4,415	4,369		
6	3,922	3,896	3,874	3,856	3,841	3,829	3,818	3,808	3,774	3,740	3,722	3,673		
7	3,494	3,467	3,445	3,426	3,410	3,397	3,386	3,376	3,340	3,304	3,286	3,234		
8	3,202	3,173	3,150	3,131	3,115	3,102	3,090	3,079	3,043	3,005	2,986	2,932		
9	2,989	2,960	2,936	2,917	2,900	2,886	2,874	2,864	2,826	2,787	2,768	2,712		
10	2,828	2,796	2,774	2,754	2,737	2,723	2,710	2,700	2,661	2,621	2,601	2,543		
11	2,701	2,671	2,646	2,626	2,609	2,594	2,582	2,570	2,531	2,490	2,469	2,410		
12	2,599	2,568	2,544	2,523	2,506	2,491	2,478	2,466	2,426	2,384	2,363	2,302		
13	2,515	2,484	2,459	2,438	2,420	2,405	2,392	2,380	2,339	2,297	2,275	2,212		
14	2,445	2,413	2,388	2,367	2,349	2,333	2,320	2,308	2,266	2,223	2,201	2,136		
15	2,385	2,353	2,328	2,306	2,288	2,272	2,259	2,247	2,204	2,160	2,137	2,072		
16	2,333	2,302	2,276	2,254	2,235	2,220	2,206	2,194	2,151	2,106	2,083	2,016		
17	2,289	2,257	2,230	2,208	2,190	2,174	2,160	2,148	2,104	2,058	2,035	1,967		
18	2,250	2,217	2,191	2,168	2,150	2,134	2,119	2,107	2,063	2,017	1,993	1,923		
19	2,215	2,182	2,155	2,133	2,114	2,098	2,084	2,071	2,026	1,980	1,955	1,884		
20	2,184	2,151	2,124	2,102	2,082	2,066	2,052	2,039	1,994	1,948	1,922	1,850		
21	2,156	2,123	2,096	2,073	2,054	2,037	2,023	2,010	1,965	1,919	1,891	1,818		
22	2,131	2,098	2,071	2,048	2,028	2,012	1,997	1,984	1,938	1,891	1,864	1,790		
23	2,109	2,075	2,048	2,025	2,005	1,988	1,973	1,961	1,914	1,867	1,839	1,764		
24	2,088	2,054	2,027	2,003	1,984	1,967	1,952	1,939	1,892	1,844	1,816	1,740		
25	2,069	2,035	2,007	1,984	1,964	1,947	1,932	1,919	1,872	1,824	1,796	1,718		
26	2,052	2,018	1,990	1,966	1,946	1,929	1,914	1,901	1,853	1,805	1,776	1,698		
27	2,036	2,002	1,974	1,950	1,930	1,913	1,898	1,884	1,836	1,787	1,758	1,679		
28	2,021	1,987	1,959	1,935	1,915	1,897	1,882	1,868	1,820	1,769	1,742	1,662		
29	2,007	1,973	1,945	1,921	1,901	1,883	1,868	1,854	1,806	1,754	1,726	1,645		
30	1,995	1,960	1,932	1,908	1,887	1,870	1,854	1,841	1,792	1,740	1,712	1,630		
31	1,983	1,948	1,920	1,896	1,875	1,857	1,842	1,828	1,779	1,726	1,697	1,615		
32	1,972	1,937	1,908	1,884	1,864	1,846	1,830	1,817	1,767	1,714	1,685	1,602		
33	1,961	1,926	1,897	1,873	1,853	1,835	1,819	1,806	1,756	1,702	1,673	1,589		
34	1,952	1,917	1,888	1,863	1,843	1,825	1,809	1,795	1,745	1,691	1,662	1,577		
35	1,942	1,907	1,878	1,854	1,833	1,815	1,799	1,786	1,735	1,681	1,652	1,566		
36	1,934	1,899	1,870	1,845	1,824	1,806	1,790	1,776	1,725	1,671	1,642	1,555		
37	1,926	1,890	1,861	1,837	1,816	1,798	1,782	1,768	1,717	1,662	1,633	1,545		
38	1,918	1,883	1,853	1,829	1,808	1,790	1,774	1,760	1,708	1,653	1,624	1,536		
39	1,911	1,875	1,846	1,821	1,800	1,782	1,766	1,752	1,700	1,645	1,616	1,528		
40	1,904	1,868	1,839	1,814	1,793	1,775	1,759	1,744	1,689	1,637	1,608	1,517		
50	1,850	1,814	1,784	1,759	1,737	1,718	1,702	1,687	1,634	1,576	1,544	1,448		
60	1,815	1,778	1,748	1,722	1,700	1,681	1,664	1,649	1,594	1,534	1,502	1,399		
70	1,790	1,753	1,722	1,696	1,674	1,654	1,637	1,622	1,566	1,505	1,471	1,364		
80	1,772	1,734	1,703	1,677	1,654	1,634	1,617	1,602	1,545	1,482	1,448	1,336		
90	1,757	1,720	1,688	1,662	1,639	1,619	1,601	1,586	1,528	1,465	1,429	1,314		
100	1,746	1,708	1,676	1,650	1,627	1,607	1,589	1,573	1,515	1,450	1,415	1,296		
200	1,694	1,656	1,623	1,596	1,572	1,551	1,533	1,516	1,455	1,386	1,346	1,205		
500	1,664	1,625	1,592	1,563	1,539	1,518	1,499	1,482	1,419	1,345	1,303	1,138		
∞	1,644	1,604	1,571	1,542	1,517	1,496	1,476	1,459	1,394	1,318	1,274	1,075		

I. 1. Esterilização e preparação das amostras.

I. 1. 1. Penas de frango (a), peru (b), pato (c) e ganso (d) dentro de um saco para a esterilização (ISO 6741-3).

(a)

(b)

(c)

(d)

I. 1. 2. Detergente ECE sem fosfato para a esterilização das penas (ISO 6330-09).

I. 1. 3. Banho das penas de frango (a), peru (b), pato (c) e ganso (d) à 75° C em solução com detergente ECE (ISO 6741-3 e ISO 6330-09).

(a)

(b)

(c)

(d)

I. 1. 4. Enxágue das penas de frango (a), peru (b), pato (c) e ganso (d) (ISO 6741-3).

(a)

(b)

(c)

(d)

I. 1. 5. (a) Metalizador (Polaron Equipment Ltd., modelo E5100 DEM Coatyng System, Reino Unido) e (b) Placa metálica com as amostras de pena e penugem da fibra de pena de frango, peru, pato e ganso.

I. 2. Microscopias longitudinais das penas de frango, peru, pato e ganso.

I. 2. 1. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de frango

I. 2.2. Microscopia Longitudinal da fibra de penugem de frango

I. 2. 3. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de peru

I. 2.4. Microscopia Longitudinal da fibra de penugem de peru

I. 2. 5. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de pato

I. 2. 6. Microscopia Longitudinal da fibra de penugem de pato

I. 2. 7. Microscopia Longitudinal da fibra de pena de ganso

I. 2. 8. Microscopia Longitudinal da fibra de penugem de ganso

I. 3. Microscopias transversais das penas de frango, peru, pato e ganso.

I. 3. 1. Microscopia transversal da fibra de pena de frango

I. 3.2. Microscopia transversal da fibra de penugem de frango

I. 3. 3. Microscopia transversal da fibra de pena de peru

I. 3.4. Microscopia transversal da fibra de penugem de peru

I. 3. 5. Microscopia transversal da fibra de pena de pato

I. 3. 6. Microscopia transversal da fibra de penugem de pato

I. 3. 7. Microscopia transversal da fibra de pena de ganso

I. 3.8. Microscopia transversal da fibra de penugem de ganso

I. 4. Teste Mecânico com temperatura a 22 °C, umidade relativa de 65% e velocidade da tração em 25 mm/min.

I.4.1. a. Gráfico de carga e extensão de tração da fibra de frango

I.4.1. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da fibra de frango

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	9,7	178,94	4193,09	11,67	184,47
2	11,4	178,59	2917,34	14,58	156,66
3	9,7	161,53	3785,51	9,59	166,53
4	12,5	182,81	1987,1	19,17	146,24
5	17,1	179,68	2178,3	10,83	105,07
6	12,5	189,7	3057,49	10,83	151,76
7	8,8	164,03	2557,5	14,17	186,4
8	9,7	157,42	2213,02	13,33	162,29
9	9,4	167,4	2701,31	13,33	178,09
10	11,8	148,32	2464,52	8,75	125,69
11	11,4	175,3	3104,3	10	153,77
12	8,6	151,44	3194,69	12,08	176,09
13	9,4	185,85	4362,58	10,42	197,71
14	9	177,93	3975,48	10,42	197,7
15	8,6	185,29	4625,33	10,83	215,46
16	6,2	163,22	5345,7	10,83	263,26
17	12,1	152,69	1569,74	20,42	126,19
18	12,1	171,81	2583,19	12,5	141,99
19	12,5	184,62	2552,74	12,5	147,69
20	11,8	142,98	1941,36	11,67	121,17
21	11,4	153,76	2868,48	13,33	134,88
22	11,8	177,66	2527,9	12,08	150,56
23	13,3	98,3	2299,13	7,5	73,91
24	8,8	191,68	4595,42	10	217,82
25	11,4	168,99	2858,63	10,42	148,23
26	14,7	206,55	2327,6	12,5	140,51
27	12,1	166,47	2463,65	14,58	137,58

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	12,9	134,43	2094,21	15,42	104,21
29	12,9	133,44	1550,22	14,17	103,44
30	9,7	138,43	2669,89	17,08	142,71
31	9	158,34	3528,15	11,25	175,94
32	12,5	210,35	2782,68	15	168,28
33	12,5	156,16	2558,45	13,33	124,92
34	12,5	182,01	2428,4	15,42	145,61
35	12,9	157,58	1977,44	17,92	122,15
36	10	137,89	2218,76	17,08	137,89
37	14,7	154,36	1731,43	16,25	105,01
38	12,1	169,81	2731,92	11,67	140,34
39	12,5	170,55	2042,71	15,42	136,44
40	9	177,18	3850,3	11,67	196,87
41	9	174,04	3644,54	14,17	193,37
42	10	102,18	3321,46	7,92	102,18
43	8,8	175,13	3772,38	13,33	199,01
44	9,7	155,59	2875,58	11,67	160,4
45	9,4	176,38	3471,54	13,75	187,64
46	9,7	151,7	3139,02	11,67	156,39
47	9,7	155,99	2989,3	13,33	160,81
48	12,1	169,74	2926,23	10,83	140,28
49	12,1	179,68	2667,59	13,75	148,5
50	11,8	142,75	3239,97	10,83	120,98

I.4.2. a. Gráfico de carga e extensão de tração da penugem de frango

I.4.2. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da penugem de frango

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	16,7	30,38	567,17	14,17	18,19
2	5,5	20,54	1631,4	10	37,34
3	5,9	35,67	1056,77	19,58	60,46
4	5,5	20,22	1057,06	12,5	36,76
5	5	17,03	817,02	10,42	34,06
6	5	29,62	1010,82	12,08	59,24
7	5,3	33,47	1383,29	14,58	63,16
8	5,5	10,33	669,87	24,58	18,79
9	5,5	30,18	975,76	9,58	54,87
10	5,5	35,35	983,08	12,92	64,28
11	5,5	34,14	969,74	15,42	62,08
12	5,3	32,64	1088,16	13,33	61,59
13	5,3	31,9	877	22,08	60,19
14	5,3	25,54	655,59	14,58	48,19
15	5,5	7,97	1235,85	20,83	14,5
16	10	26,85	394,15	17,5	26,85
17	5,3	25,19	814,02	17,92	47,53
18	5,3	16,18	813,34	24,58	30,53
19	5,3	33,28	1020,8	15	62,79
20	5,3	29,98	848,53	16,67	56,56
21	5,3	25,18	813,35	20,42	47,5
22	10,5	28,13	251,14	21,67	26,79
23	5	21,62	1096,2	10,83	43,25
24	5,5	27,29	838,03	19,17	49,61
25	5	33,8	916,59	15,42	67,61
26	5	42,46	1353,56	18,33	84,93
27	5,3	28,25	843,72	12,92	53,3

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	5,3	28,22	1006,72	13,75	53,24
29	5,3	25,78	666,86	14,17	48,64
30	5,3	33,68	911,86	15,42	63,55
31	4	32,36	1293,59	19,17	80,89
32	4	12,36	1596,8	9,17	30,89
33	4,3	23,79	1129,22	11,25	55,33
34	4,5	26,7	858,43	16,67	59,33
35	5	19,39	824,21	10,83	38,78
36	4,8	26,75	1328,33	15,42	55,74
37	5,3	28,16	621,83	17,08	53,12
38	5	13,8	1314,36	14,58	27,61
39	4,2	21,27	766,02	12,5	50,64
40	5,9	41,25	1270,39	15,83	69,92
41	5,9	28,97	952,22	15,83	49,09
42	5,3	10,59	720,96	15	19,99
43	5,9	22,9	730,85	15,83	38,82
44	5,9	28,7	1066,97	13,33	48,64
45	5,9	19,4	831,23	12,5	32,88
46	5,9	25,16	810,98	16,67	42,64
47	5,9	29,71	1048,99	12,08	50,36
48	5,3	30,94	1448,35	10,83	58,38
49	5,5	33,22	1304,01	12,08	60,4
50	4,3	29,78	713,4	17,92	69,26

I.4.3. a. Gráfico de carga e extensão de tração da fibra de pato.

I.4.3. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da fibra de pato.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	14,7	137,78	1456,89	16,67	93,73
2	11,8	132,37	1915,37	16,67	112,18
3	14,7	123,23	1653,24	16,67	83,83
4	8,6	108,5	2880,3	12,5	126,16
5	11,8	118,74	1720,16	16,67	100,63
6	11,8	132,53	2142,52	13,33	112,32
7	9	120,84	2381,6	15,83	134,27
8	12,1	112,33	1618,41	14,58	92,83
9	8,8	123,11	1920,82	18,75	139,89
10	11,8	128,94	1740,95	16,67	109,27
11	14,7	112,37	1506,66	13,33	76,44
12	11,8	131,83	2121,71	12,92	111,72
13	8,6	128,96	2569,21	15	149,95
14	11,8	138,09	2198,85	14,17	117,02
15	12,1	129,88	1644,91	19,17	107,34
16	8,8	139,47	2620,49	15,83	158,49
17	11,8	127,11	1836,36	15,42	107,72
18	8,6	144,68	2927,02	15	168,23
19	11,8	113,03	1605,15	17,08	95,79
20	8,8	107,37	2135,25	16,25	122,01
21	8,8	117,69	1636,16	15,42	133,74
22	11,8	130,73	1826,01	22,08	110,79
23	11,8	132,12	2159,18	13,33	111,97
24	8,8	117,44	2565,45	11,67	133,45
25	8,8	111,97	2491,18	12,5	127,24
26	8,8	123,24	2491,63	15,83	140,04
27	8,8	130,84	2562,8	15,83	148,68

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	11,8	117,14	2053,69	11,67	99,27
29	11,8	137,05	2012,62	15,42	116,15
30	11,8	129,87	1924,02	17,92	110,06
31	11,8	124,24	1979,32	14,17	105,29
32	8,8	116,96	2243,32	15	132,91
33	8,8	119,47	2195,38	16,67	135,76
34	11,8	135,28	1886,91	15,42	114,65
35	11,8	140,94	1857,94	15	119,44
36	9	134,56	2567,75	13,33	149,51
37	9	127,4	2323,69	15	141,55
38	11,8	141,11	2172,2	14,17	119,58
39	8,8	127,71	2904,09	12,92	145,12
40	11,8	117,56	1662,17	15	99,62
41	11,1	117,04	1758,95	15	105,44
42	12,1	116,59	1522,87	15,83	96,35
43	8,8	126,08	2474,14	15,83	143,28
44	12,1	126,73	1835,26	15,42	104,74
45	12,1	132,14	1868,23	15	109,21
46	12,1	122,06	1584,69	17,5	100,88
47	11,8	141,63	2085,12	13,33	120,03
48	14,7	113,48	1322,91	17,5	77,2
49	11,8	132,39	2096,37	13,33	112,2
50	14,2	134,63	1477,81	18,33	94,81

I.4.4. a. Gráfico de carga e extensão de tração da penugem de pato.

I.4.4. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da penugem de pato.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	2,9	94,41	7232,74	13,75	325,56
2	2,8	100,25	8303,51	10	358,03
3	2,8	54,8	3988,45	9,17	195,7
4	2,8	84,21	6727,35	15,42	300,74
5	2,9	76,3	5092,95	16,67	263,12
6	5,7	83,06	3379,8	14,17	145,72
7	2,8	85,09	6434,96	15,83	303,91
8	2,9	78,49	5935,32	11,67	270,66
9	5,1	60,07	2256,17	10,42	117,79
10	2,9	44,32	3611,46	12,09	152,84
11	5,7	85,5	3410,98	11,25	149,99
12	5,9	53,15	2170,41	13,33	90,09
13	2,8	65,63	4668,56	17,92	234,39
14	5,7	91,58	2819,63	15	160,67
15	3,4	49,22	3430,21	10	144,77
16	8,6	60,42	1799,96	10,83	70,26
17	2,8	50,54	4604,63	12,92	180,51
18	2,8	61,8	5242,68	19,17	220,72
19	2,9	84,87	6384,92	15,42	292,64
20	2,7	73,85	5190,44	13,33	273,52
21	3,3	51,19	2629,46	17,92	155,13
22	3	111,91	7384,59	12,5	373,03
23	5,9	105,32	3026,6	18,33	178,51
24	3,4	74,88	6012,31	11,25	220,23
25	3,7	80,82	4687,92	13,75	218,44
26	3,4	97,99	5996,9	15	288,22
27	3,6	78,95	5641,01	14,58	219,3

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	3,7	62,4	4132,38	17,08	168,64
29	3,7	78,03	4474,3	13,75	210,9
30	3,3	91,82	5862,27	14,58	278,24
31	3,3	85,4	6157,96	13,33	258,79
32	3,6	83,17	4122,63	17,5	231,02
33	3,4	86,87	5666,19	15,42	255,49
34	3,4	89,36	6777,22	16,67	262,81
35	8,3	79,61	2209,85	13,75	95,91
36	3,3	82,66	6232,54	10,42	250,49
37	3,4	69,87	4301,99	18,33	205,51
38	3,4	72,28	4553,21	18,75	212,59
39	3,4	77,85	5354,42	12,92	228,97
40	3,7	74,17	5398,17	12,92	200,46
41	3,7	67,82	4554,31	13,75	183,3
42	3,7	92,19	6440,34	15,42	249,17
43	8,6	67,62	1395,42	21,67	78,63
44	5,3	68,6	2592,92	16,67	129,44
45	5,7	76,1	2140,13	16,67	133,51
46	5,5	61,75	2932,6	10,83	112,27
47	5,7	69,82	2454,98	14,58	122,49
48	5,7	40,09	2070,09	11,67	70,33
49	6	65,3	2107,98	19,17	108,84
50	5,3	74,83	2487,81	20	141,19

I.4.5. a. Gráfico de carga e extensão de tração da fibra de peru.

I.4.5. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da fibra de peru.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	11,8	108,5	1813,68	13,33	91,95
2	8,33	61,42	1155,64	19,58	73,74
3	11,8	105,66	1828,17	13,75	89,54
4	16,1	107,67	1389,81	10	66,87
5	11,8	82,47	1318,26	12,5	69,89
6	11,4	82,9	1670,08	12,92	72,72
7	13	112,02	1540,93	13,75	86,17
8	13,9	112,45	1377,17	17,5	80,9
9	10,8	101,15	1865,33	15,42	93,66
10	11,1	111,36	2066,48	11,67	100,33
11	8,1	111,3	1880,32	19,58	137,41
12	14,3	98,07	1286,66	13,75	68,58
13	14,3	70,82	1198,27	8,75	49,52
14	13,9	105,82	1231,54	17,08	76,13
15	13,9	106,64	1562,05	11,25	76,72
16	11,8	107,8	1727,51	14,17	91,35
17	11,1	112,4	1663,96	15	101,26
18	8,6	105,28	2032,18	15,42	122,42
19	11,4	104,36	1671,72	14,17	91,54
20	5,4	114,87	4071,29	13,33	212,73
21	11,1	106,17	1662,81	12,92	95,65
22	8,3	93,61	2404,21	14,17	112,78
23	8,33	100,8	2327,12	15,83	121,01
24	11,1	120,53	1919,94	13,75	108,59
25	8,33	110,52	2486,67	12,92	132,68
26	10,8	117,21	2179,1	13,33	108,53
27	12,5	102,62	1599,63	13,33	82,09

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	5,5	101,81	3781,44	14,58	185,11
29	11,1	119,45	1823,63	14,58	107,61
30	8,3	106,75	2378,75	12,08	128,62
31	8,3	101,89	2302,33	13,33	122,76
32	5,4	110,28	4151,21	12,92	204,21
33	11,1	105,63	1919,59	14,17	95,16
34	11,8	112,6	1731,95	13,33	95,42
35	11	83,82	1283,26	16,25	76,2
36	13,5	141,94	2152,5	12,08	105,14
37	11,4	109,85	1402,69	18,75	96,36
38	11,1	117,66	1754,52	15,83	106
39	7,9	94,92	2408,95	14,58	120,16
40	8,3	110,22	2510,06	12,92	132,8
41	10,8	110,08	1820,3	15	101,92
42	10,5	109,6	2054,06	16,67	104,38
43	7,8	119,93	3029,19	18,33	153,76
44	13,1	102,98	1721,2	14,58	78,61
45	8,3	129,49	2790,24	15,83	156,02
46	13,9	84,58	1408,91	12,08	60,85
47	11,1	86,73	1601,54	12,5	78,13
48	11,1	105,79	1630,21	15,42	95,3
49	8,3	98,1	1749,87	17,5	118,2
50	10,8	79,46	1179,88	17,08	73,58

I.4.6. a. Gráfico de carga e extensão de tração da penugem de peru.

I.4.6. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da penugem de peru.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	2,94	19,65	1357,1	9,59	66,82
2	3	37,66	2026,38	15,42	125,55
3	2,57	13,8	590,97	13,75	53,68
4	2,1	25	1762,26	14,58	119,06
5	4	27,08	1034,68	15	67,69
6	4,25	20,68	598,41	17,08	48,65
7	4,25	22,58	988,3	11,25	53,13
8	4	19,11	516,96	15	47,78
9	4,25	19,98	616,72	13,33	47
10	4	26,43	994,55	16,25	66,08
11	4,25	16,51	556,08	11,25	38,84
12	4	20,99	598,99	13,75	52,48
13	4,1	19,46	884,87	10,83	47,46
14	4,1	18,73	856,77	8,75	45,67
15	2	17,67	1079,47	12,5	88,36
16	4,35	15,33	465,29	12,08	35,24
17	3,85	23,41	752,49	18,33	60,8
18	2,22	18,56	1315,91	13,75	83,61
19	4,35	19,92	548,8	17,08	45,8
20	3,77	26,87	977,87	18,33	71,27
21	2,8	17,49	994,27	11,67	62,45
22	3,77	17,27	577,03	13,33	45,82
23	3,77	21,87	758,47	12,92	58,02
24	3,64	24,84	941,35	16,25	68,24
25	3,64	24,03	814,11	14,58	66,03
26	4	22,28	710,19	12,08	55,69
27	3,64	24,66	1215,72	10,83	67,74

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	5,66	20,13	608,49	15,42	35,57
29	5,66	20,79	349,63	16,25	36,72
30	5	21,64	474,15	15	43,29
31	3,5	22,46	1228,37	13,75	64,17
32	3,5	23,41	749,95	14,58	66,88
33	4	20,33	791,37	14,58	50,84
34	4	23,67	1053,26	17,08	59,17
35	5,66	32,48	974,25	12,5	57,39
36	2,38	13,67	1055,54	11,25	57,43
37	4	20,64	761,26	13,75	51,6
38	4	18,68	516,62	15,42	46,7
39	3,85	29,36	1079,44	12,92	76,27
40	4	19,29	1061,86	15,42	48,24
41	3,77	23,84	991,75	13,33	63,24
42	2	20,68	1381,9	15,42	103,41
43	3,85	40,54	1645,12	15,83	105,29
44	4,25	28,28	1371,2	10,83	66,54
45	4	27,77	855,93	15,42	69,42
46	3,77	32,39	1532,62	12,08	85,9
47	5,45	23,71	523,62	13,33	43,51
48	2,94	19,65	1357,1	9,59	66,82
49	3	37,66	2026,38	15,42	125,55
50	2,57	13,8	590,97	13,75	53,68

I.4.7. a. Gráfico de carga e extensão de tração da fibra de ganso.

I.4.7. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da fibra de ganso.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	12	142,54	2069,76	17,08	118,79
2	12	142,92	2335,7	16,67	119,1
3	12	105,54	1715,85	14,17	87,95
4	12	124,12	1595,62	20	103,43
5	12	129,55	1943,99	12,08	107,95
6	12	135,3	2181,23	15	112,75
7	12	144,36	2200,99	15	120,3
8	12	139,5	2033,51	16,25	116,25
9	12	142,33	2157,01	14,58	118,61
10	12	129,47	2167,17	13,33	107,89
11	12	131,82	2231,78	16,25	109,85
12	12	148,63	1963,28	16,67	123,86
13	12	142,04	2101,46	13,75	118,37
14	12	158,22	2182,93	16,25	131,85
15	12	131,09	1781,89	20,83	109,24
16	12	142,03	2297,7	16,67	118,36
17	12	125,33	2009,59	14,17	104,44
18	12	148,07	2220,59	19,17	123,4
19	9	126,55	2504,72	13,75	140,61
20	8,1	61,49	1054,85	15,42	75,91
21	5,4	131,5	4306,98	10,83	243,51
22	7,4	148,26	3493,41	13,75	200,36
23	9,4	141,17	2637,93	13,33	150,18
24	7,5	120,25	3434,89	9,59	160,33
25	11,1	156,74	2636,24	12,08	141,21
26	7,4	146,07	3255,05	12,92	197,39
27	9,5	135,34	2874,42	11,25	142,46

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	7,4	147,95	3671,64	12,08	199,94
29	9,8	138,99	2615,99	11,67	141,83
30	5,7	138,84	4716,81	10,83	243,58
31	9	125,51	2438,12	11,25	139,46
32	7,4	140,15	4197,02	10	189,39
33	9,6	142,6	2984,77	10	148,54
34	7,5	139,55	3669,95	11,25	186,06
35	5,3	128,3	4595,97	11,25	242,07
36	7,1	143,12	3083,06	12,92	201,58
37	7,7	150,93	3531,79	12,92	196,01
38	5,5	140,27	4422,84	12,92	255,03
39	7,5	153,76	4128,43	12,5	205,02
40	9,4	124,74	1983,54	11,25	132,7
41	7,5	134,06	3815,91	14,17	178,74
42	7,5	137,93	3394,64	12,5	183,91
43	7,8	137,15	3626,07	11,67	175,83
44	9	129,79	2674,48	11,25	144,21
45	5,8	142,04	4671,78	12,08	244,9
46	7,5	121,18	2802,82	12,08	161,58
47	5,5	121,69	4078,67	10,83	221,25
48	5,4	133,71	4231,14	12,5	247,61
49	8,9	128,48	2859,62	11,67	144,36
50	9,6	111,91	2523,69	9,17	116,57

I.4.8. a. Gráfico de carga e extensão de tração da penugem de ganso.

I.4.8. b. Título, Resistência, Módulo, Alongamento e Tenacidade da penugem de ganso.

Amostra	Título (dtex)	Resistência (cN)	Módulo (gf/tex)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	3,1	78,65	3899,19	17,08	253,7
2	2,56	64,22	4707,17	13,75	250,85
3	3	49,02	2919,29	11,25	163,39
4	3,1	62,43	3220,85	15,83	201,38
5	2,5	56,74	2951,28	15,83	226,97
6	3,2	75,95	3570,36	18,33	237,35
7	3	50,32	2446,53	14,17	167,73
8	3	72,55	3565,38	15,42	241,82
9	3,2	57,87	3489,08	11,67	180,83
10	2,56	36	2274,25	12,5	140,64
11	2,86	40,73	2335,85	11,25	142,41
12	2,86	80,07	3931,72	17,92	279,95
13	3	72,19	3743,92	15	240,63
14	3,2	54,05	2464,92	15	168,89
15	3,1	67,2	3998,56	10,83	216,78
16	3	74,23	4267,27	15,42	247,43
17	2,56	57,12	3551,03	14,17	223,12
18	3,33	40,17	2063,2	11,25	120,62
19	2,77	60,76	3310,46	15	219,34
20	2,86	73,92	4314,09	17,08	258,46
21	2,77	62,75	3198,13	17,92	226,53
22	2,7	49,05	3136,31	12,92	181,68
23	3	57,67	2725,74	19,17	192,25
24	3,22	66,79	2870,28	15,83	207,42
25	2,94	56,54	2456,86	16,67	192,33
26	3	55,77	2816,04	15,42	185,91
27	3	47,62	2695,13	14,58	158,75

Valorização Comercial e Ecológica de Penas: Desenvolvimento e Caracterização de
Nãotecidos e Produção de Nanofibras de Queratina de Penas

28	2,77	58,2	2799,75	18,75	210,1
29	2,63	28,44	2148,11	10,83	108,15
30	2,86	26,84	1819,76	8,33	93,85
31	3,1	43,99	2309,2	15,42	141,89
32	2,94	47	2821,41	14,17	159,86
33	2,86	65,1	3449,97	15,83	227,62
34	3,1	52,43	2840,23	14,17	169,14
35	3,22	40,87	2016,75	15,83	126,92
36	3,1	79,25	3539,47	15	255,65
37	3	72,53	3250,96	20	241,77
38	2,56	57,45	3093,45	15,83	224,42
39	2,77	49,81	3233,67	13,33	179,83
40	3	42,51	2468,82	10,42	141,7
41	3	49,3	2848,45	13,75	164,34
42	3,1	45,77	2844,98	12,08	147,65
43	3	46,58	2473,25	13,33	155,26
44	3,2	29,5	2055,86	8,75	92,19
45	3,1	52,35	2044,29	16,67	168,88
46	3,22	65,65	3177,62	14,58	203,88
47	3	79,05	4111,55	17,08	263,51
48	2,56	46,54	3095,53	11,25	181,81
49	2,86	55,39	3361,57	13,33	193,67
50	2,77	60,76	3805,88	13,33	219,33

I.4.9. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de frango 2g e 4g.

I.4.10. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de frango cortada em três partes 2g.

I.4.11. Gráfico de força e deformação do nãotecido de pena de frango 2g e 4g.

I.4.12. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de pato 2g e 4g

I.4.13. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de pato cortada em três partes 2g

I.4.14. Gráfico de força e deformação do nãotecido de pena de pato 2g e 4g.

I.4.15. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de peru 2g e 4g.

I.4.16. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de peru cortada em três partes

I.4.17. Gráfico de força e deformação do nãotecido de pena de peru 2g e 4g.

I.4.18. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de ganso 2g e 4g

I.4.19. Gráfico de força e deformação do nãotecido de penugem de ganso cortada em três partes

I.4.20. Gráfico de força e deformação do nãotecido de pena de ganso 2g e 4g

I.4.21. Gráfico de força e deformação do nãotecido de polipropileno

I.4.22. Determinação da Taxa de Retração

Tabela 73. Resultado de retração à fervura da fibra de penas.

Pena de Frango	Comprimento inicial L0 (cm)	Comprimento final L1 (cm)	Porcentagem (%)
1	0,91	-	
2	0,86	0,86	0,00
3	0,93	0,93	0,00
4	0,95	-	-
5	0,94	0,94	0,00
Média	0,00		
Pena de peru	Comprimento inicial L0 (cm)	Comprimento final L1 (cm)	Porcentagem (%)
1	1,56	1,56	0,00
2	1,53	-	-
3	1,51	1,51	0,00
4	1,37	1,37	0,00
5	1,46	-	-
Média	0,00		
Pena de Pato	Comprimento inicial L0 (cm)	Comprimento final L1 (cm)	Porcentagem (%)
1	0,94	-	-
2	1,08	1,08	0,00
3	1,12	1,12	0,00
4	1,07	1,07	0,00
5	1,14	-	-
Média	0,00		
Pena de Ganso	Comprimento inicial L0 (cm)	Comprimento final L1 (cm)	Porcentagem (%)
1	1,43	1,43	0,00
2	1,64	-	-
3	1,61	-	-
4	1,66	1,66	0,00
5	1,65	1,65	0,00
Média	0,00		

I. 5. Escâner das penas e dos tecidos.

I. 5. 1. Penas de frango (a), peru (b), pato (c) e ganso (d) com escala.

(a)

(b)

(c)

(d)

I. 5.2. Nãotecido de penugem cortada 4g de frango (a), peru (b), pato (c) e ganso (d).

Penugem cortada 4g

Penugem 2g

Penugem 4g

Pena 2g

Pena 4g
(a)

Penugem cortada 4g

Penugem 2g

Penugem 4g

Pena 2g

Pena 4g
(b)

Penugem cortada 4g

Penugem 2g

Penugem 4g

Pena 2g

Pena 4g
(c)

I. 6. Teste Acústico

I. 6. 1. (a) Porta-amostra para acoplamento das penas; (b) Tubo de Impedância e Microfones de ½” (modelo B&K 4189) e (c) Analisador de sinais B&K Pulse 6 canais e Amplificador (modelo B&K 2619).

(a)

(b)

(c)

I. 6. 2. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de frango 2g

I. 6.3. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de frango 2g

I. 6. 4. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de frango cortada em três partes

I. 6. 5. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de frango 2g

I. 6. 6. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de frango 4g

I. 6. 7. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de pato 2g

I. 6. 8. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de pato 4g

I. 6. 9. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de pato cortada em 3 partes

I. 6. 10. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de pato 2g

I. 6. 11. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de pato 4g

I. 6. 12. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de peru 2g

I. 6. 13. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de peru 4g

I. 6. 14. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de peru cortada em três partes

I. 6. 15. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de peru 2g

I. 6. 16. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de peru 4g

I. 6. 17. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso 2g

I. 6. 18. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso 4g

I. 6. 19. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso cortada em três partes

I. 6. 20. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de ganso 2g

I. 6. 21. Gráficos de análises do coeficiente de absorção dos nãotecidos de pena de ganso 4g

I. 6. 22. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de frango 2g.

I. 6. 23. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de frango 4g.

I. 6. 24. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de frango cortada 2g.

I. 6. 25. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de frango 2g.

I. 6. 26. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de frango 4g.

I. 6. 27. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de frango 2g.

I. 6. 28. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de pato 2g.

I. 6. 29. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de pato 4g.

I. 6. 30. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de pato cortada 4g.

I. 6. 31. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de pato 2g.

I. 6. 32. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de pato 4g.

I. 6. 33. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de peru 2g.

I. 6. 34. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de peru 4g.

I. 6. 35. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de peru cortada 4g.

I. 6. 36. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de peru 2g.

I. 6. 37. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de peru 4g.

I. 6. 38. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso 2g.

I. 6. 39. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso 4g.

I. 6. 40. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de penugem de ganso cortada 4g.

I. 6. 41. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de ganso 2g.

I. 6. 42. Gráficos do índice de absorção dos nãotecidos de pena de ganso 4g.

I. 7. Ensaios de Condutividade Térmica

I. 7. 1. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da pena de frango.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	2,58	0,493	13,08
2	2,44	0,286	21,33
3	2,15	0,293	18,34
4	2,53	0,347	18,23
5	2,44	0,300	20,33
6	2,48	0,337	18,4
7	2,15	0,369	14,57
8	2,0	0,376	13,3
9	2,10	0,398	13,19
10	2,27	0,383	14,82

I. 7. 2. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da penugem de frango.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	2,88	0,256	28,13
2	2,15	0,139	38,67
3	2,40	0,234	25,64
4	2,59	0,269	24,07
5	2,84	0,303	23,43
6	2,41	0,222	27,14
7	2,39	0,112	53,35
8	2,10	0,339	15,49
9	2,28	0,12	47,50
10	2,78	0,173	40,17

I. 7. 3. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da pena de peru.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	1,24	0,811	3,82
2	1,41	1,033	3,41
3	1,33	0,632	5,26
4	1,30	0,452	7,19
5	1,60	0,679	5,89
6	1,66	0,681	6,09
7	1,75	0,425	10,29
8	1,65	0,925	4,46
9	1,88	0,964	4,88
10	1,69	0,75	5,63

I. 7. 4. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da penugem de peru.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	1,05	0,247	13,08
2	1,30	0,33	21,33
3	1,47	0,232	18,34
4	1,16	0,273	18,23
5	1,16	0,332	20,33
6	1,47	0,4	18,4
7	1,76	0,234	14,57
8	1,71	0,332	13,3
9	1,04	0,33	13,19
10	1,24	0,193	14,82

I. 7. 5. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da pena de pato.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	1,10	0,144	19,1
2	1,29	0,166	19,43
3	1,28	0,139	23,02
4	1,27	0,149	21,31
5	1,22	0,234	13,03
6	1,43	0,142	25,18
7	1,17	0,159	18,4
8	1,18	0,161	18,32
9	1,20	0,435	6,9
10	1,18	0,261	11,3

I. 7. 6. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da penugem de pato.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	0,58	0,378	3,84
2	0,69	0,193	8,94
3	0,62	0,378	4,1
4	0,64	0,217	7,37
5	0,53	0,21	6,31
6	0,50	0,227	5,51
7	0,49	0,095	12,89
8	0,47	0,225	5,22
9	0,52	0,239	5,44
10	0,54	0,212	6,37

I. 7. 7. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da pena de ganso.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	1,61	0,327	12,31
2	1,25	0,308	10,15
3	1,48	0,271	13,65
4	1,85	0,232	19,94
5	1,87	0,427	10,95
6	1,49	0,405	9,2
7	1,48	0,225	16,44
8	1,36	0,283	12,01
9	1,57	0,349	11,25
10	1,40	0,281	12,46

I. 7. 8. Determinação do fluxo de energia elétrica, espessura e condutividade térmica da penugem de ganso.

Amostra	Watt (W)	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/ cm °C)
1	1,47	0,159	23,11
2	2,52	0,178	35,39
3	2,54	0,181	35,08
4	2,76	0,251	27,49
5	2,72	0,249	27,31
6	2,55	0,305	20,9
7	1,87	0,344	13,59
8	2,42	0,342	17,69
9	2,43	0,359	16,92
10	2,45	0,31	19,76

I. 8.1. Filtração da Queratina Extraída

Apresentação dos Resultados dos Testes Físicos, Mecânicos, Térmicos e Acústicos.

Nesta secção, apresentam-se as tabelas e os gráficos dos resultados dos testes das características estudadas nas fibras de pena e penugem.

Tabela 1. Valores de todos os parâmetros testados nas fibras de penas e penugens.

Fibra	Comprimento (cm)	Título (dtex)	Diâmetro (μm)	Espessura (μm)	Permeabilidade ao ar ($\text{L}/\text{m}^2/\text{s}$)	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)	Força de Ruptura (cN)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{cm } ^\circ\text{C}$)	Conteúdo Percentual de Umidade (%)	Recuperação Percentual de Umidade (%)
PF	3.3	11,3	47.6	0,36	1886	12,6	156,3	170,8	0,0100	7,6	8,3
PPR	3.4	12,0	30.8	0,20	1212	14,0	082,6	082,6	0,0137	8,0	8,7
PPT	3.4	11,5	37.4	0,73	1102	15,8	110,5	123,8	0,0028	7,4	8,0
PG	5.4	08,8	40.0	0,31	0804	15,4	111,3	133,6	0,0059	8,0	8,8
PdF	1.8	06,5	05.3	0,21	0994	14,0	044,7	026,3	0,0065	6,8	7,4
PdPR	4.3	03,5	11.8	0,24	0419	14,1	069,6	023,2	0,0047	7,4	8,0
PdPT	3.5	03,4	12.3	0,29	0296	12,9	243,4	076,1	0,0016	9,8	10,8
PdG	3.4	02,9	12.4	0,24	0320	14,6	206,5	060,4	0,0068	7,5	8,1

1.1. Histogramas, Gráficos de Análise de Variância, Testes de Normalidade e Teste de Comparação de Médias por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

1.1.1. Análise de Variância do Comprimento das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 2. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação ao comprimento.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	72,077500	10,2968	115,0836	<,0001*
Résiduo	72	6,442000	0,0895		
Total	79	78,519500			

F calculado = 115,0 > F teórico = 2,14.

A tabela 2 apresenta os resultados do teste de variância (ANOVA). Observa-se que: F calculado = 115,0 > F teórico = 2,14. Portanto, rejeita-se H₀ pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 1. Análise de variância (ANOVA) do comprimento das fibras das penas e penugens.

Gráfico 2. Teste de normalidade do comprimento das penas.

Gráfico 3. Teste de normalidade do comprimento das penugens.

1.1.1.2 Teste de Comparação de Médias do Comprimento por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 4. Comparação de comprimento de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

O comprimento possui dados heterogêneos, visto que, a pena de ganso e as penugens de frango e de peru são significantemente diferentes das demais penas e penugens. Desta forma, esses três círculos, não se tocam com os demais círculos. Todas as outras fibras não possuem diferenças significativas entre elas.

1.1.2. Análise de Variância do Diâmetro das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 3. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação ao diâmetro.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	18025,5	2575,0	74,9	<,0001*
Résiduo	72	2473,9	34,3		
Total	79	20499,5			

F calculado = 74,9 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: $F_{\text{calculado}} = 74,9 > F_{\text{teórico}} = 2,14$. Portanto, rejeita-se H_0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001 , logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 5. Análise de variância (ANOVA) do diâmetro das penas e penugens.

Gráfico 6. Teste de normalidade do diâmetro das penas.

Gráfico 7. Teste de normalidade do diâmetro das penugens.

1.1.2.1 Teste de Comparação de Médias do Diâmetro por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 8. Comparação do diâmetro de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

O diâmetro das penugens possuem dados mais homogêneos que o das penas. No entanto, ainda assim, analisa-se que o círculo da penugem de frango toca ligeiramente os círculos das outras penugens. Entre as médias das penas, observa-se que as fibras de frango, peru e penugem de frango são significativamente diferentes das outras fibras. Por fim, observa-se que todas as fibras de penas são significativamente diferentes das fibras de penugens.

1.1.3. Análise de Variância da Espessura das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 4. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à espessura.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	2,132	0,304	28,051	<,0001
Résiduo	72	0,782	0,010		
Total	79	2,914			

F calculado = 28,0 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: F calculado = 28,0 > F teórico = 2,14. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 9. Análise de variância (ANOVA) da espessura das penas e penugens.

Gráfico 10. Teste de normalidade da espessura das penas sem a pena de peru.

Gráfico 11. Teste de normalidade da espessura das penugens.

1.1.3.1 Teste de Comparação de Médias da Espessura por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 12. Comparação da espessura de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

Observa-se a comparação da média da espessura entre as fibras de penas e penugens as quais possuem dados próximos com exceção da fibra de pena de peru.

1.1.4. Análise de Variância da Permeabilidade ao Ar das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 5. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à permeabilidade ao ar.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	20482668	2926095	166,9	<,0001*
Résiduo	72	1262065	17529		
Total	79	21744733			

F calculado = 166,9 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: $F_{\text{calculado}} = 166,9 > F_{\text{teórico}} = 2,14$. Portanto, rejeita-se H_0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001 , logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 13. Análise de variância (ANOVA) da permeabilidade das penas e penugens.

Gráfico 14. Teste de normalidade da permeabilidade ao ar das penas.

Gráfico 15. Teste de normalidade da permeabilidade ao ar das penugens.

1.1.4.1 Teste de Comparação de Médias da Permeabilidade ao Ar por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 16. Comparação da permeabilidade de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

Observa-se a comparação da média do diâmetro entre as diversas fibras de penas e penugens. A pena de frango, a qual possui o melhor resultado de permeabilidade ao ar, é significativamente diferente de todas as outras.

1.1.5. Análise de Variância da Alongamento das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 7. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à alongamento.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	85,1	12,1	1,4	0,1
Résiduo	72	584,2	8,1		
Total	79	669,3			

F calculado = 1,49 < F teórico = 2,14.

Observa-se que: F calculado = 1,49 < F teórico = 2,14. Portanto, aceita-se H0 pois as amostras não são diferentes entre elas e considera-se que o teste não é significativo. O p valor é de 0,1815.

Gráfico 17. Análise de variância (ANOVA) do alongamento das penas e penugens.

Gráfico 18. Teste de normalidade do alongamento das penas.

Gráfico 19. Teste de normalidade do alongamento das penugens.

1.1.5.1 Teste de Comparação de Médias do Alongamento por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 20. Comparação do alongamento de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

Observa-se que existem poucas diferenças entre as amostras.

1.1.6. Análise de Variância da Tenacidade das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 8. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à tenacidade.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	332734,1	47533,4	34,0	<,0001*
Résiduo	72	100602,3	1397,3		
Total	79	433336,5			

F calculado = 34,0 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: F calculado = 34,0 > F teórico = 2,14. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 21. Análise de variância (ANOVA) da tenacidade das penas e penugens.

Gráfico 22. Teste de normalidade da tenacidade das penas.

Gráfico 23. Teste de normalidade da tenacidade das penugens.

1.1.6.1 Teste de Comparação de Médias da Tenacidade por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 24. Comparação da tenacidade de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

No gráfico 24, considera-se que a pena de pato não apresenta uma diferença significativa com a pena de peru e a pena de ganso. Além do mais, a penugem de frango também não apresenta

uma diferença significativa com a penugem de peru. A pena de peru não é significativamente diferente da penugem de peru e da pena de ganso. Todas as outras fibras possuem uma tenacidade significativamente diferente entre elas.

1.1.7 Análise de Variância da Força de Ruptura das Fibras das Penas e Penugens.

Tabela 9. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à força de ruptura.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	191537,7	27362,5	191,6	<,0001*
Résiduo	72	10280,6	142,8		
Total	79	201818,4			

F calculado = 191,6 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: F calculado = 191,6 > F teórico = 2,14. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 25. Análise de variância (ANOVA) da força de ruptura das penas e penugens.

Gráfico 26. Teste de normalidade da força de ruptura das penas.

Gráfico 27. Teste de normalidade da força de ruptura das penugens.

1.1.7.1 Teste de Comparação de Médias da Força de Ruptura por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 28. Comparação da força de ruptura de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

1.1.8 Análise de Variância da Condutividade Térmica das Fibras das Penas e Penugens

Tabela 10. Análise da variância das fibras de penas e penugens em relação à condutividade térmica.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Fibra	7	0,001054	0,0001	25,3	<,0001*
Résiduo	72	0,000427	5,933		
Total	79	0,001482			

F calculado = 25,4 > F teórico = 2,14.

Observa-se que: F calculado = 25,4 > F teórico = 2,14. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 29. Análise de variância (ANOVA) da condutividade térmica das penas e penugens.

Gráfico 30. Teste de normalidade da condutividade térmica das penas.

Gráfico 31. Teste de normalidade da condutividade térmica das penugens.

1.1.8.1 Teste de Comparação de Médias da Conductividade Térmica por Pares de Círculos das Fibras de Pena e de Penugem.

Gráfico 32. Comparação da condutividade térmica de diferentes fibras de penas e penugens (t student).

Analisando-se o grau de significância das fibras de penas do observa-se que a penugem de frango não possui diferenças significantes com a penugem de peru, pena de ganso e a penugem de ganso. A pena de pato não apresenta diferenças significantes com a penugem de pato e a penugem de peru. A penugem de ganso não é significativamente diferente da penugem de peru e da pena de ganso e a pena de ganso não apresenta diferença significativa com a penugem de peru. Todas as outras fibras possuem uma condutividade térmica significantemente diferente entre elas.

2. Apresentação dos Resultados da Produção de Nãotecidos

Nesta secção, apresentam-se as tabelas e os gráficos dos resultados dos testes das características estudadas nos nãotecidos de pena e penugem.

Tabela 11. Testes Físicos, Mecânicos, Térmicos e Acústicos

Fibra	Espessura (2g)	Espessura (4g)	Permeabilidade (2g)	Permeabilidade (4g)	Alongamento (2g)	Alongamento (4g)	Força de Ruptura (2g)	Força de Ruptura (4g)	Condutividade Térmica (2g)	Condutividade Térmica (4g)	Coefficiente Sonoro (2g)	Coefficiente Sonoro (4g)
PF	148,2	227,2	2326	1654	55,8	53,5	4,1	5,3	0,029	0,020	0,13	0,33
PPT	122,0	220,4	2008	1516	53,1	46,7	4,5	5,6	0,039	0,022	0,33	0,33
PPR	154,4	249,4	2474	1938	54,2	57,1	3,2	3,6	0,031	0,020	0,23	0,23
PG	181,8	350,2	2048	1494	63,7	70,2	5,0	5,3	0,022	0,019	0,23	0,23
PdF	96,8	157,0	1460	0796	60,9	88,6	6,6	10,1	0,050	0,036	0,23	0,23
PdPT	168,8	142,0	0596	0643	91,7	104,5	9,3	17,2	0,037	0,022	0,23	0,23
PdPR	133,2	241,8	1690	0779	73,3	79,9	7,0	10,6	0,041	0,028	0,23	0,33
PdG	173,6	237,8	0561	0678	73,5	73,7	8,4	10,9	0,035	0,022	0,23	0,23
PdFC	-	198,8	-	0568	-	68,6	-	7,9	-	0,027	-	0,33
PdPTC	-	206,8	-	0882	-	76,1	-	6,2	-	0,030	-	0,33
PdPRC	-	221,4	-	0802	-	79,0	-	10,6	-	0,024	-	0,33
PdGC	-	218,8	-	0518	-	86,6	-	7,3	-	0,027	-	0,23

2.1. Gráficos de Médias, Análise de Variância, Testes de Normalidade e Teste de Comparação de Médias por Pares de Círculos dos Nãotecidos de Pena e de Penugem.

2.1.1. Análise de Variância da Espessura dos Nãotecidos

Tabela 12. Análise da variância dos nãotecidos de fibras de penas e penugens em relação à espessura.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nãotecido	19	311231,3	16380,6	25,2	<,0001
Résiduo	80	51969,6	649,6		
Total	99	363200,9			

F calculado = 25,2 > F teórico = 1,72.

Observa-se que: F calculado = 325,2 > F teórico = 1,72. Portanto, rejeita-se H_0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 33. Análise de variância (ANOVA) da espessura dos nãotecidos.

Gráfico 34. Teste de normalidade da espessura dos nãotecidos de 2g.

Gráfico 35. Teste de normalidade da espessura dos nãotecidos de 4g.

2.1.2 Teste de Comparação de Médias da Espessura por Pares de Círculos.

Gráfico 36. Comparação da espessura entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 2g.

No gráfico 36 considera-se que todos os nãotecidos de 2g possuem os círculos interseccionados entre eles, portanto, nenhum valor é extremamente diferente da média. No entanto, percebe-se que o nãotecido de pena de frango é significativamente diferente dos nãotecidos de penugem de frango e pena de ganso. O nãotecido de penugem de frango é significativamente diferente dos nãotecidos de penugem de pato, pena de peru, penugem de peru, pena de ganso e penugem de ganso. O nãotecido de pena de pato é significativamente diferente dos nãotecidos de penugem de pato e de ganso e pena de peru e de ganso. O nãotecido de pena de pato apresenta diferenças significativas com o nãotecido de penugem de peru e o nãotecido de peru é significativamente diferente dos nãotecidos de pena e penugem de ganso.

Gráfico 37. Comparação da espessura entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 4g.

No gráfico 37, observa-se que o nãotecido de pena de ganso 4g é significativamente diferente de todos os outros nãotecidos de 4g. Além disso, o nãotecido de penugem de frango 4g e penugem de pato 4g não é diferente entre si, porém é significante diferente de todos os outros nãotecidos de 4g. Na tabela 13, verifica-se o grau de significância detalhado de todas as médias.

2.1.3 Análise de Variância da Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos

Tabela 13. Análise da variância dos nãotecidos de fibras de penas e penugens em relação à permeabilidade ao ar.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nãotecido	19	41127500	2164605	53,5	<,0001
Résiduo	80	3236655	40458		
Total	99	44364155			

F calculado = 53,5 > F teórico = 2,31.

Observa-se que: F calculado = 53,5 > F teórico = 1,72. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001, logo o erro de se cometer um equívoco é menor que 5%.

Gráfico 38. Análise de variância (ANOVA) da permeabilidade ao ar dos nãotecidos.

2.1.4 Testes de Normalidade da Permeabilidade ao Ar dos Nãotecidos

Gráfico 39. Teste de normalidade de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 2g.

Gráfico 40. Teste de normalidade de permeabilidade ao ar dos nãotecidos de 4g.

2.1.5 Teste de Comparação de Médias da Permeabilidade ao Ar por Pares de Círculos.

Gráfico 41. Comparação da permeabilidade ao ar entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 2g.

Verifica-se na tabela dos nãotecidos de 2g que os nãotecidos de penugem de ganso e de pato não apresentam diferenças significantes entre eles, no entanto, eles possuem a permeabilidade ao ar significativamente diferente entre os outros nãotecidos de 2g. Os nãotecidos de pena de

frango não apresenta uma diferença significativa com o nãotecido de pena peru e penugem de ganso. O nãotecidos de penugem de frango é significantemente diferente ao tecido de penugem de peru. O nãotecido de pato não apresenta uma diferença significante dos nãotecidos de pena de ganso.

Gráfico 42. Comparação da permeabilidade ao ar entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 4g.

Em relação aos nãotecidos de 4g, considera-se que o nãotecido pena de peru possui a permeabilidade ao ar significantemente diferente dos outros. O nãotecido de frango não apresenta uma diferença significativa entre a média de permeabilidade ao ar do nãotecido de pena de pato e ganso. O nãotecido de penugem de frango não é significantemente diferente dos nãotecidos de penugem de pato cortada, penugem de peru, penugem de peru cortada e penugem de ganso. O nãotecido de penugem de frango cortada não é significantemente diferente dos nãotecidos de penugem de pato, penugem de ganso e penugem de ganso cortada. O nãotecido de pena de pato não possui uma diferença significativa com o nãotecido de pena de ganso. O nãotecidos de penugem de pato não é significantemente diferente do de penugem de peru, penugem de peru cortada, penugem de ganso e penugem de ganso cortada. O nãotecidos de penugem de pato cortada não é significantemente diferente do de penugem de peru, penugem de peru cortada e penugem de ganso. O nãotecido de penugem de peru não é significantemente

diferente do de penugem de peru cortada e do de penugem de ganso. O nãotecido de penugem de peru cortada não é significativamente diferente do de penugem de ganso e o nãotecido de ganso não apresenta uma diferença significativa com o nãotecido de penugem de ganso cortada. Todos os outros nãotecidos possuem permeabilidade ao ar significativamente diferente entre eles.

2.1.6 Análise de Variância do Alongamento dos Nãotecidos

Tabela 14. Análise da variância dos nãotecidos de fibras de penas e penugens em relação ao alongamento.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nãotecido	19	21906,1	1152,9	2,7	0,0008
Résiduo	80	33379,4	417,2		
Total	99	55285,6			

F calculado = 2,76 > F teórico = 2,31.

Observa-se que: F calculado = 2,76 > F teórico = 1,72. Portanto, rejeita-se H0 pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de 0,0008.

Gráfico 43. Análise de variância (ANOVA) do alongamento dos nãotecidos.

2.1.7 Testes de Normalidade do Alongamento dos Nãotecidos

Gráfico 44. Teste de normalidade do alongamento dos nãotecidos de 2g.

Gráfico 45. Teste de normalidade do alongamento dos nãotecidos de 4g.

2.1.8 Teste de Comparação de Médias do Alongamento por Pares de Círculos

Gráfico 46. Comparação do alongamento entre diferentes nãotecidos de penas de 2g.

Para os nãotecidos de 2g, considera-se que o nãotecido de penugem de pato não é significativamente diferente dos nãotecidos de pena de frango, pato, peru e ganso e penugem de frango. Todos os outros nãotecidos possuem força de ruptura sem diferenças significantes entre eles.

Gráfico 47. Comparação do alongamento entre diferentes nãotecidos de penas de 4g.

Entre os nãotecidos de 4g, observa-se que o nãotecido de pena de frango é significativamente diferente dos nãotecidos de penugem de frango, de pato, de ganso cortado. Os nãotecidos de penugem de frango são significativamente diferentes dos nãotecidos de pena de pato e peru. Os nãotecidos de penugem de frango cortado são significativamente diferentes dos nãotecidos de penugem de pato. Os nãotecidos de pena de pato são significativamente diferentes dos nãotecidos de penugem de pato e de peru, penugem cortada de pato, peru e ganso. Os nãotecidos de penugem de pato são significativamente diferentes dos nãotecidos de penugem cortada de pato, pena de peru e ganso e penugem de ganso. Os nãotecidos de pena de peru são significativamente diferentes dos nãotecidos de penugem de ganso cortada. Todos os outros nãotecidos não são significativamente diferentes entre eles.

2.1.9 Análise de Variância da Força de Ruptura dos Nãotecidos

Tabela 15. Análise da variância dos nãotecidos de fibras de penas e penugens em relação à força de ruptura.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nãotecido	19	1061,1	55,8	5,6	<,0001
Résiduo	80	791,4	9,8		
Total	99	1852,6			

F calculado = 5,64 > F teórico = 2,31.

A tabela 15 apresenta os resultados do teste de variância da força de rupturam onde F calculado = 5,64 > F teórico = 1,72. Portanto, rejeita-se H₀ pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de <0001.

Gráfico 48. Análise de variância (ANOVA) da força de ruptura dos nãotecidos.

2.1.10 Testes de Normalidade da Força de Ruptura dos Nãotecidos

Gráfico 49. Teste de normalidade da força de ruptura dos nãotecidos de 2g.

Gráfico 50. Teste de normalidade da força de ruptura dos nãotecidos de 4g.

Gráfico 51. Teste de normalidade da força de ruptura dos nãotecidos de 4g sem os valores dos nãotecidos de penugem de pato.

2.1.11 Teste de Comparação de Médias da Força de Ruptura dos Nãotecidos por Pares de Círculos.

Gráfico 52. Comparação da força de ruptura entre diferentes nãotecidos de penas de 2g.

Gráfico 53. Comparação da força de ruptura entre diferentes nãotecidos de penas de 4g.

2.1.12 Teste de Comparação de Médias da Força de Ruptura dos Nãotecidos por Pares de Círculos.

Gráfico 54. Comparação do coeficiente sonoro entre diferentes nãotecidos de penas de 2g.

Gráfico 55. Comparação do coeficiente sonoro entre diferentes nãotecidos de penas de 4g.

2.1.13 Análise de Variância da Condutividade Térmica dos Nãotecidos

Tabela 16. Análise da variância dos nãotecidos de fibras de penas e penugens em relação à condutividade térmica.

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Prob. > F ou Valor p
Nãotecido	19	0,683	0,0359	38,9	<,0001
Résiduo	80	0,073	0,0009		
Total	99	0,757			

F calculado = 38,99 > F teórico = 2,31.

Observa-se que: F calculado = 38,99 > F teórico = 1,72. Portanto, rejeita-se H₀ pois as amostras são diferentes entre elas e considera-se que o teste é significativo. O p valor é de < 0,0001.

Gráfico 56. Análise de variância (ANOVA) da condutividade térmica dos nãotecidos.

2.1.14 Testes de Normalidade da Condutividade Térmica dos Nãotecidos

Gráfico 57. Teste de normalidade da condutividade térmica dos nãotecidos de 2g.

Gráfico 58. Teste de normalidade da condutividade térmica dos nãotecidos de 4g.

2.1.15 Teste de Comparação de Médias da Condutividade Térmica dos Nãotecidos por Pares de Círculos

Gráfico 59. Comparação da condutividade térmica entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 2g.

Para os nãotecidos de 2g, considera-se que o nãotecido de pena de frango não é significativamente diferente do nãotecido de pena de peru; o nãotecido de pena de pato não é significativamente diferente do nãotecido de penugem de pato e peru e o nãotecido de penugem de ganso não é significativamente diferente do nãotecido de penugem de pato e pena de peru. Todas as outras amostras são significativamente diferentes entre elas.

Gráfico 60. Comparação da condutividade térmica entre diferentes nãotecidos de penas e penugens de 4g.

Entre os nãotecidos de 4g, observa-se no gráfico 60 que o nãotecido de penugem de frango é a única amostra que é significativamente diferente de todas as demais.

4 Seda: Fibra Têxtil Natural de Origem Animal

A seda, uma das mais antigas fibras descobertas pelo homem, é produzida pelas larvas do bicho da seda (*Bombyx mori*), como parte do casulo que dá abrigo e proteção durante a fase de pupa. A fibra é secretada no corpo principal da glândula de seda da larva. A seda possui um alto valor comercial, por causa de suas características como, por exemplo, boa tensão à resistência (parecida com a fibra de vidro), alongamento de escala mediana, propriedades ultravioletas (UV), bom comportamento visco-elástico, boa absorção, maciez, boa afinidade com corantes, além do mais, as fibras são brancas, brilhantes e cada casulo possui aproximadamente um quilômetro de extensão (BABU, 2012). Assim, constata-se que as propriedades mecânicas são muito parecidas com as propriedades da lã.

As utilizações para a seda se desenvolvem principalmente na indústria de cosméticos, vestuário, decoração, aplicações biomédicas, reforço em compósitos, produção de nãotecidos, vestimentas ou como material de sutura médica (MÜSSIG, 2010; KOZŁOWSKI, 2012; BABU, 2012).

Ademais, a seda é um concorrente natural das fibras poliméricas mais avançadas que existem (BABU, 2012). De acordo com as propriedades microscópicas da seda, analisa-se, ainda segundo Babu (2012), que cada fio de seda crua possui estrias longitudinais, composto por 2 filamentos de fibroína de 10 a 14lm incorporado em sericina. A composição química se compõe, geralmente, de fibroína de seda de 75 a 83%, sericina de 17% a 25%, ceras em torno de 1,5% e outros materiais cerca de 1%. A temperatura de decomposição térmica é maior que 150 °C e sua densidade está na escala de 1320 a 1400 kg/m³ sem sericina. A tenacidade vai de 3,1g/den a 5,2g/den e o alongamento vai de 20,3% a 34,8%.

Para melhor visualização, de acordo com a norma ASTM D 276/49 as vistas longitudinais e transversais da fibra da seda seguem na Figura 1.

Figura 1. Microscopia da fibra de seda (a) e (c) Vista longitudinal 500x, (b) secção transversal mulberry 500x e (d) secção transversal muga 500x. (Norma ASTM D 276/ 12 - Identification of Fibers in Textiles. Adaptado pela autora, 2012).

As microscopias podem variar uma das outras, já que, existem diferenças entre os bichos-da-seda e mesmo entre os casulos. Verifica-se que a secção transversal (b) é mais triangular enquanto que a secção transversal (d) é mais retangular, pois pertencem a espécies diferentes do bicho-da-seda.

A seda selvagem é excepcionalmente sustentável, desde que não se utilize produtos químicos poluentes, como por exemplo, no processo de beneficiamento e tingimento e semicristalina, ou seja, com a estrutura molecular alinhada com 62% a 65% de cristalinidade (BABU, 2012).

No viés econômico, mais de 20 países produzem a seda. O maior produtor é a China, seguido pela Índia. Outros países que se destacam são Brasil, Bulgária, Egito e Madagascar (BABU, 2012).