



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Lívia Modesto de Melo Sampaio

**Joalheria Contemporânea: material compósito
reforçado com fibras de penas de frango.**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil, Vestuário
e Acessórios.

Trabalho efetuado sob a orientação de

Prof. Doutor Raúl Manuel Esteves Sousa Figueiro

e co-orientação do Prof. Doutor Jefferson Mendes de Souza

Janeiro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

O mestrado faz parte do meu percurso pessoal e profissional e através dele colhi diversos aprendizados. Sinto imensa gratidão a tudo que venho construindo e a todos que me acompanham nessa jornada, por isso, não poderia deixar de agradecê-los.

Agradeço ao meu orientador, professor doutor Raúl Fanguero, por sua disponibilidade, orientação e ensinamentos.

Agradeço ao meu co-orientador, professor doutor Jefferson Sousa, pelo convite de trabalhar com essa temática, pelo auxílio, disponibilidade e contribuições.

Agradeço aos técnicos da Universidade do Minho, em particular, os técnicos do Mestrado em Design e Marketing, por toda paciência, disponibilidade, auxílio e aprendizados.

Agradeço aos meus amigos pela parceria, motivação e apoio. A todos que se mantiveram presentes mesmo a distância e aqueles que conquistei aqui desse lado do oceano. Guardo todos vocês sempre comigo. E não poderia deixar de agradecer, em particular, à Caroline Carvalho, por me apresentar a joalheria de uma forma tão singular e cativante.

Mais que tudo, agradeço à minha família por serem minha base. À minha mãe por ser meu maior exemplo em todos os aspetos, ao meu pai por seu amor e carinho, aos meus irmãos pelo companheirismo e por compartilharmos coisas tão valiosas, às minhas tias e ao meu tio Luciano pelo incentivo, apoio e carinho. Às minhas avós e avôs meu muito obrigada por nossa família! Ao Diego por embarcar nessa aventura comigo e por todo cuidado e carinho. Aos meus sogros pelo carinho de sempre.

Muito obrigada a todos que acreditam em mim!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

O mundo vem sofrendo mudanças que afetam diretamente a forma de produção e o padrão de consumo. A necessidade de mudança vem sendo imposta, especialmente, pelo aumento da poluição e escassez de recursos naturais, explicando a iniciativa da indústria na procura por materiais sustentáveis. Nesse contexto surgem conceitos como a economia circular, que consideram os resíduos e o impacto ambiental com a finalidade de manter produtos e materiais em uso, imitando a natureza e sua ciclicidade.

É na direção desta busca pela observação da ciclicidade e natureza de produtos e materiais que o propósito deste trabalho se concentra. Assim, o objetivo principal é o desenvolvimento de um material compósito reforçado com fibras de penas de frango para aplicação em jóias de carácter contemporâneo, considerando que esta joalheria contemporânea propõe uma maior valorização dos conceitos e dos valores simbólicos, procurando usar materiais não tradicionais (não preciosos) mas com carácter inovador, sustentável e com elevado potencial estético. Para isso, todo o trabalho foi alicerçado na metodologia de desenvolvimento de novos produtos - *Design Thinking*.

Foram desenvolvidas amostras com diferentes volumes de fibras de penas e resina epóxida (100% resina, 5% penas/95% resina, 10% penas/90% resina, 20%penas/80% resina, 30%penas/70% resina) através da técnica *hand lay-up*. As amostras foram avaliadas em relação aos seus aspetos: estéticos (pesquisa de campo), técnicos (FESEM, FTIR, DSC, TGA e teste de absorção de líquido) e sustentabilidade. As análises foram capazes de identificar que as fibras de penas de frango apresentam características favoráveis para aplicação proposta: baixa densidade, compatibilidade com tingimentos naturais, resistência termica superior aos 100°C e estrutura morfológica que auxilia a sua interação com a resina. De um modo geral, os materiais compósitos apresentaram bons resultados considerando que há interação entre suas fases, apresentaram baixo grau de absorção de líquido e, considerando a sua aplicação, mostraram, bons resultados em relação ao seu comportamento ao calor e à tração.

Foi utilizada uma matriz de seleção para identificar a amostra com melhor desempenho considerando todos os aspetos avaliados, sendo o compósito com 10% de penas/90% resina selecionado, não excluindo a possibilidade de utilização de outras percentagens de penas. A seguir foi desenvolvida uma coleção e confeccionados três protótipos capazes de demonstrar a viabilidade da proposta, promovendo assim, um produto sustentável para ser utilizado na indústria da Moda, no segmento de joalheria.

PALAVRAS-CHAVE

Fibras de penas de frango; Compósitos; Joalheria Contemporânea; Economia Circular.

ABSTRACT

The world has been experiencing changes that directly affect the way things are produced and consumed. The need for change has been imposed by the increase in pollution and the shortage of natural resources, what explains the industry's initiative in the search for sustainable materials. In this context, concepts such as the circular economy emerge, these projects considering waste and pollution in order to keep products and materials in use, imitating nature and its cyclicity.

This study aims to develop a composite material reinforced with chicken feather fibers for application in contemporary jewelry. That is because contemporary jewelry proposes a greater appreciation to the concept and symbolic values with the usage of non-traditional materials (non-precious) but with an innovative and ideological character and aesthetic potential. For that, Design Thinking is used as a methodology for developing new products.

Samples with different volumes of feather fibers and epoxy resin were developed by using the hand lay-up technique (100% resin, 5% feather /95% resin, 10% feather /90% resin, 20% feather /80% resin, 30% feathers /70% resin) which were evaluated in relation to the following aspects: aesthetic (field research), technical (FESEM, FTIR, DSC, TGA and liquid absorption test) and sustainability. The analyzes managed to identify that the chicken feather fibers present favorable characteristics for the proposed application: low density, compatibility with natural dyes, thermal resistance above 100°C and morphological structure that benefits their interaction with the resin. Just as the composite materials that in general showed good results considering that there are interaction between their phases, they presented low degree of liquid absorption and, considering its application, obtained good results in relation to their behavior to heat and traction.

A selection matrix was used to identify the sample with the best performance considering all aspects evaluated, which was the composite with 10% feathers / 90% resin selected, not excluding the possibility of using other feather percentages. Therefore, a jewelry collection was developed and three prototypes were made, allowing the feasibility of the proposal to be demonstrated, promoting a sustainable product to be used in the fashion industry and in the jewelry segment.

KEYWORDS

Chicken feather fibers; Composites; Contemporary Jewelry; Circular Economy.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo Geral.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	3
2. Estado da Arte.....	5
2.1 Joalheria Contemporânea.....	5
2.2 Eco Materiais e Economia Circular.....	8
2.3 Fibras de Penas.....	11
2.4 Materiais Compósitos.....	14
2.4.1 Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais.....	17
2.4.2 Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Penas.....	18
2.5 Corantes.....	19
2.5.1 Corantes Ácidos.....	20
2.5.2 Corante Natural de Cascas de Cebola.....	20
3. Materiais e Métodos.....	23
3.1 Materiais.....	23
3.2 Métodos.....	25

3.2.1	Tingimento das Fibras	25
3.2.2	Produção do Material Compósito	26
3.2.3	Produção do Molde com Formato de Provetes em Osso para o Teste de Tração	28
3.2.4	Teste de Microscopia eletrónica de Varrimento das Fibras de Penas	29
3.2.5	Avaliação da massa volúmica da Fibra	30
3.2.6	ATR-FTIR	31
3.2.7	DSC	32
3.2.8	TGA.....	33
3.2.9	Ensaio de Tração.....	34
3.2.10	Teste de Absorção de Líquido por Imersão.....	36
3.2.11	Pesquisa de Campo.....	36
4.	Apresentação e Análise dos Resultados	38
4.1	Teste de Microscopia Eletrónica de Varrimento das Fibras de Penas	38
4.2	Tingimentos das Fibras	40
4.3	Massa Volúmica das Fibras de Penas de frango.....	41
4.4	Produção do Material Compósito	43
4.5	ATR-FTIR.....	45
4.6	DSC	48
4.7	TGA	50
4.8	Ensaio de Tração	53
4.9	Teste de Absorção de Líquido por Imersão.....	55
4.10	Pesquisa de Campo	56
4.11	Considerações	60
5.	Desenvolvimento Conceptual do Produto.....	63
5.1	Público Alvo	63
5.2	Análise da Concorrência	64
5.3	Geração de Ideia	69
5.4	Prototipagem	74
6.	Conclusões e Perspetivas Futuras	78
6.1	Conclusões	78
6.2	Perspetivas Futuras.....	80

Referências Bibliográficas	82
Anexo 1 – Ficha Técnica da Resina (Bioresin® LS da Sika ®)	87
Anexo 2 – Ficha Técnica do Silicone Utilizado para Produção do Molde	89
Anexo 3 – Questionário	90
Anexo 4 – Fichas Técnicas dos Protótipos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Sete etapas do Design thinking	3
Figura 2 – As quatro ambições para cadeia têxtil	10
Figura 3 – Estrutura da pena (a) e (b)	13
Figura 4 – Classificação dos compósitos relativo a fase de reforço	15
Figura 5 – Classificação dos compósitos relativo ao tipo de matriz	15
Figura 6 – Peça com material compósito reforçado com muscovita	18
Figura 7 – Penas de frango. a – pequenas, b – médias e c – grandes	24
Figura 8 – (a) amostra das fibras de penas de frango. (b) amostra das cascas de cebola trituradas. (c) lado A da resina epóxida Biresin® LS da Sika®. (d) lado B da resina epóxida Biresin® LS da Sika®	24
Figura 9 – Máquina de Tingir Ahiba IR	25
Figura 10 – Processo de extração do corante natural da casca de cebola (a) e corante natural de casca de cebola extraído (b)	26
Figura 11 – Molde de silicone de meias esferas	27
Figura 12 – Representação do formato dos provetes em osso	28
Figura 13 – Molde por vazamento de silicone produzido	29
Figura 14 – Microscópio eletrónico Nova NanoSEM 200	30
Figura 15 – Compressor hidráulico Specac e molde de compressão de pastilhas	31
Figura 16 – IRAffinity-1S Shimadzu	32
Figura 17 – DSC882e Mettler Toledo	33
Figura 18 – STA7200 HITACHI	33
Figura 19 – Dinamómetro H100KPS da marca Hounsfiels Tinius Olsen	35
Figura 20 – Amostras preparadas para o teste de tração.....	35
Figura 21 – Amostras preparadas para o teste de absorção de líquido por imersão	36
Figura 22 – Microscopia eletrónica de varrimento das fibras de penas de frango (barbas).....	38
Figura 23 – Microscopia eletrónica de varrimento do corte transversal das plumas.....	39
Figura 24 – Microscopia eletrónica de varrimento das plumas da parte inferior da pena	39
Figura 25 – Microscopia eletrónica de varrimento vista transversal da zona central das plumas da parte inferior da pena	40

Figura 26 – (a) Fibras de penas naturais, (b)Fibras de penas tingidas com corante natural de casca de cebola, Fibras de penas tingidas com corantes ácidos (c) Supralan Yellow 4GL e (d) Supralan Yellow C-2R.....	41
Figura 27 – Pastilhas de fibras de penas naturais e tingidas com corante de casca de cebola.....	42
Figura 28 – (a) fibras de penas tingidas com casca de cebola, (b) processo de impregnação das fibras pela resina e (C) compósito reforçado com fibras de penas tingidas após processo de cura.	44
Figura 29 – Compósitos com 0%, 5%, 10%, 20% e 30% de fibras (frente).	44
Figura 30 – Compósitos com 0%, 5%, 10%, 20% e 30% de fibras (verso).	45
Figura 31 – FTIR espectrogramas sobrepostos das fibras de penas naturais e fibras de penas tingidas com corante de casca de cebola.....	46
Figura 32 – FTIR espectrogramas sobrepostos da resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% fibras de penas tingidas, 90% resina/10% fibras de penas tingidas, 80% resina/20% fibras de penas tingidas, 70% resina/30% fibras de penas tingidas	46
Figura 33 – Ampliação do FTIR espectrogramas sobrepostos da resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas.....	47
Figura 34 – Curvas DSC das fibras de penas, fibra de penas tingidas, resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas.....	49
Figura 35 – Curvas TGA das fibras de penas, fibra de penas tingidas, resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas.....	51
Figura 36 – Curvas tensão-deformação das 5 amostras.	53
Figura 37 – Gráfico das médias de tensão máxima nas amostras em função da percentagem de penas.	54
Figura 38 – Gráfico das médias do módulo de elasticidade (E) nas amostras em função da percentagem de penas.	55
Figura 39 – Resultados obtidos no teste de absorção de líquido por imersão.	56
Figura 40 – Gemas vegetais de Paulo Tavares	67
Figura 41 – Pingente Curuatá em Bronze com criação de Mônica Matos e gema de vegetal de açaí desenvolvida por Paulo Tavares	68
Figura 42 – Joias dos quatro estilos presentes na marca Sobral.....	68

Figura 43 – Brainstorm	70
Figura 44 – Painel de inspiração.....	71
Figura 45 – Conjunto de peças com textura aplicada à prata.....	72
Figura 46 – Brincos da coleção	73
Figura 47 – Design das joias.....	73
Figura 48 – Design das peças aplicados em croqui	74
Figura 49 – Anel em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola	75
Figura 50 – Anel, em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola, vestido na modelo	75
Figura 51 – Brinco em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola	76
Figura 52 – Colar em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola	76
Figura 53 – Protótipos confeccionados em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos corantes naturais a partir do método de aplicação	21
Tabela 2 – Principais materiais utilizados	23
Tabela 3 – Razões volumétricas entre matriz e fibras para a confecção das amostras	27
Tabela 4 – Massa volúmica das fibras de penas de frango	42
Tabela 5 – Massa volúmica de penas de frango tingidas com corante natural de casca de cebola.....	43
Tabela 6 – Resultados dos gráficos DSC	50
Tabela 7 – Resumo dos valores obtidos no ensaio TGA	52
Tabela 8 – Tabela comparativa da média da tensão máxima e do módulo de elasticidade	54
Tabela 9 – Resumo dos resultados das perguntas dicotômicas sobre pesquisa e proposta de novos materiais, design e sustentabilidade como valores agregados ao produto	58
Tabela 10 – Respostas a pergunta: “Analise o aspeto estético das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)”	59
Tabela 11 – Respostas a pergunta: “Analise a textura das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)”	59
Tabela 12 – Matriz de Seleção da melhor amostra de compósitos.....	61
Tabela 13 – Número de patentes encontradas para cada palavra-chave	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

FESEM – Field Emission Scanning Electron Microscope (Microscópio Electrónico de Varrimento de Ultra alta resolução com emissão de campo);

STEM – Scanning transmitted electron microscopy (Microscopia Eletrónica Transmitida por Varrimento);

ATR-FTIR – Attenuated total reflectance – Fourier transform infrared spectroscopy (Reflexão atenuada-eletroscopia de infravermelho por transformada de Fourier)

DSC – Differential scanning calorimetry (Calorimetria diferencial de varrimento);

TGA – Thermal gravimetric analysis (Análise termogravimétrica);

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ASTM – American Society for Testing and Material;

IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais;

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Conforme Pazmino (2007), diante de um alto desenvolvimento tecnológico, elevado consumo e busca por um alto padrão de conforto, o homem extraiu de maneira extensiva e inconsequente matérias primas nos últimos 50 anos, causando uma degradação do meio ambiente. Giudice, La Rosa e Risitano (2006) afirmam que a falta de consciência ambiental levou o ser humano a considerar-se, equivocadamente, fora do ecossistema global. Como resultado, para satisfazer as suas necessidades, utilizando apenas o critério de “maior eficiência ao menor preço”, a crise ambiental se instalou. Esta vem demonstrando como o ecossistema tem sido lesado pela utilização dos meios de produção modernos que foram projetados sem responsabilidade, comprometendo o meio ambiente, ou mesmo com a utilização ponderada dos recursos, que também causam danos ao meio ambiente.

Takamitsu e Menezes (2014) discorrem em seu artigo que a escassez de recursos naturais e o aumento do consumo e da poluição ambiental fazem com que os setores industriais passem a inserir requisitos ecológicos no desenvolvimento dos seus produtos. O mesmo ocorre na indústria de joias. A sociedade moderna parece entender e acolher a ideia de consumir produtos com novos valores. Sendo assim, matérias primas não convencionais, consideradas *eco-friendly*, ganham espaço na joalheria.

Os objetivos deste trabalho nascem, então, do pensar sob a perspectiva da joia contemporânea feita a partir de materiais atípicos e projetada numa óptica de respeito pelo meio ambiente. Os materiais compósitos de matriz polimérica com a utilização de fibras naturais de origem animal, mais especificamente, fibras de penas de frango, cumprem esta ideia, apresentando-se, neste trabalho, um produto de moda que apresenta menor impacto ambiental.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um material compósito reforçado com fibras de penas de frango para aplicação em joalheria contemporânea, promovendo um produto sustentável para ser utilizado na indústria da Moda.

1.2.2 Objetivos específicos

- Utilizar a perspectiva da joalheria contemporânea para o desenvolvimento de um material não tradicional e *ecofriendly* para aplicação em joias;
- Criar uma coleção de joias com base num material compósito reforçado com fibras de penas de frango que possuam características adequadas para sua aplicação em joias;
- Contribuir para a valorização do material, as penas de frango, assim como possibilitar o interesse pela reciclagem desse material.

1.3 Metodologia de desenvolvimento do trabalho

O presente estudo pretende ser classificado, de acordo com seu objetivo, como uma pesquisa exploratória, considerando que, de acordo com Gil (2002), as pesquisas exploratórias procuram permitir o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Considerando os procedimentos técnicos, o estudo enquadra-se como uma pesquisa de documentação direta (levantamento de dados no local onde os factos ocorrem) usando pesquisa de laboratório e pesquisa de campo. “A pesquisa de Laboratório é um procedimento de investigação mais difícil, porém mais exato. Ela descreve e analisa o que será ou ocorrerá em situações controladas. Exige instrumentos específicos, precisos, e ambientes adequados” (Marconi & Lakatos, 2003, p.190). Já a pesquisa de campo estuda os factos e fenómenos da maneira como se dão espontaneamente, sendo que “o interesse da pesquisa de campo está direccionado para o estudo de indivíduos, grupos, comunidades, instituições e outros campos, visando a compreensão de vários aspetos da sociedade” (Marconi & Lakatos, 2003, p.189). A fim de dar um norteamento para as pesquisas laboratorial e de campo, será realizada uma pesquisa bibliográfica que orientará o levantamento do conteúdo técnico, científico e de mercado necessários. Essas escolhas consideram o objetivo da pesquisa (o desenvolvimento de um novo material para aplicação na joalheria contemporânea) procurando compreender aspetos técnicos e simbólicos associados ao material proposto.

Para o desenvolvimento da matéria prima se faz necessário o uso de testes laboratoriais para determinar alguns factores: teste para caracterização da composição química dos materiais e sua interação, testes para observar a estabilidade térmica do material, seu comportamento em relação a absorção de líquido e ensaios mecânicos de tração. Com as propriedades reconhecidas e o intuito de obter melhores resultados, é essencial rever o processo a fim de analisar se serão necessárias modificações.

Após a conclusão desta etapa, deverá ser implementado um questionário para uma amostra do público alvo do produto. A coleta de dados será realizada através de uma série de questões ordenadas que são respondidas sem a presença do entrevistador. Os questionários são considerados uma boa ferramenta por possibilitar alcançar um maior público de maneira simultânea, abranger uma área geográfica mais ampla, obter respostas mais rápidas e precisas considerando o anonimato, menor risco de distorção pela influência do entrevistador e disponibilizar maior conforto ao entrevistado. O questionário foi previamente elaborado e testado, apresentando questões de múltipla escolha e perguntas fechadas ou dicotômicas (apenas duas opções de resposta: sim ou não). Diante dos objetivos, as perguntas podem ser classificadas como perguntas de facto ou perguntas de opinião. (Marconi & Lakatos, 2003).

Inicialmente as perguntas inseridas no questionário buscam caracterizar os entrevistados, em seguida são realizadas algumas que vão apresentar as preferências e opiniões dos consumidores. O intuito é de identificar os aspetos mais importantes para os consumidores na hora de avaliar uma joia e a sua opinião sobre o produto proposto, considerando, especialmente, a perspectiva estética que não consegue ser mensurada de maneira quantitativa através de testes laboratoriais. Os questionários foram aplicados entre os dias 08 e 13 de janeiro de 2020, a 100 consumidores. O acesso da investigadora aos entrevistados deu-se por meio da plataforma Google Docs que permite a coleta, cadastro e tratamento de dados. Desta forma, este estudo pode ser classificado como qualitativo e quantitativo.

Como guia para o trabalho será utilizada a metodologia para desenvolvimento de novos produtos - *Design Thinking*, que é dividida em sete etapas: definir, pesquisar, gerar ideias, prototipagem, selecionar, implementar e aprender (Ambrose & Harris, 2010).



Figura 1. Sete etapas do Design thinking. Fonte: [Ambrose e Haris, 2010] adaptado pela autora, 2020.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho apresenta seis capítulos. Sendo o primeiro capítulo composto pela introdução ao projeto, o enquadramento, os objetivos, a metodologia aplicada e a sua estrutura são apresentados.

Após a Introdução, usando a metodologia do *design thinking* como guia para a estruturação do trabalho, é apresentado o Estado da Arte, que tem a função de apontar conceitos e pesquisas recentes sobre os temas afins trabalhados na parte introdutória. Assim, nesses dois capítulos, são abordadas as duas primeiras etapas definidas pelo *Design Thinking*: “definir” e “pesquisar”.

O Estado da Arte através de um levantamento bibliográfico busca suportar as etapas seguintes da pesquisa sendo discutidos assuntos como: joalheria contemporânea, ecomateriais e economia circular, fibras de penas, materiais compósitos (em especial pesquisas com uso de matrizes termoendurecíveis e reforços naturais e de penas) e corantes.

Em seguida, serão introduzidos o terceiro, quarto e quinto capítulos respectivamente: Materiais e Métodos, Apresentação e Discussão de Resultados, e Desenvolvimento Conceptual que vão de encontro às etapas de “geração de ideias”, “protótipo e testes” e “implementação”. Nestes capítulos serão apresentados o processo de geração de conceito, os materiais escolhidos com base na pesquisa, os processos aplicados nesses materiais e os testes efetuados no produto proposto.

Dessa forma no capítulo três (Materiais e Métodos) apresentam-se os materiais e os processos experimentais que foram realizados no decorrer do trabalho, apontando-se as características dos materiais utilizados e os parâmetros definidos para execução dos processos experimentais. Foram utilizadas algumas técnicas de caracterização como: microscopia eletrônica de varrimento (Field Emission Scanning Electron Microscope - FESEM), teste de densidade da fibra, ATR-FTIR (Reflexão atenuada-eletroscopia de infravermelho por transformada de Fourier), DSC (Calorimetria diferencial de varrimento), TGA (Análise termogravimétrica), teste de tração e teste de absorção de água. Em seguida no capítulo quatro (Apresentação e Análise dos Resultados), são avaliados os resultados obtidos através dos processos experimentais comparando estes dados com resultados obtidos em estudos já existentes. E o capítulo cinco (Desenvolvimento Conceptual) define o conceito do produto avaliando: função, forma, valor, estética e, até mesmo, o carácter simbólico do produto. Para essa construção do conceito é apresentada uma análise do público-alvo e da concorrência e são utilizadas ferramentas como: *brainstorm* e painel de inspiração. Estas etapas permitem o desenvolvimento dos protótipos que buscam demonstrar a aplicabilidade do produto proposto.

Por fim, com base em todo o processo de desenvolvimento do trabalho é apresentado o sexto capítulo que engloba as conclusões e os trabalhos futuros que refletem a etapa “aprender” da metodologia aplicada, revelando através de uma análise detalhada dos resultados as implicações atuais e sugestões futuras.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Joalheria contemporânea

A moda é, por vezes, vista meramente como algo supérfluo, o que não condiz com os seus efeitos colaterais. Refletir sobre moda é importante não só para entender os consumidores e os produtos. Ela, parafraseando Lipovetsky (2009) e Svendsen (2010), não é exaltada no mundo intelectual mas é um fenómeno que está em toda parte, nas ruas, indústria, media e não pode ser marcada pura e simplesmente pela frivolidade. A moda, ainda de acordo com Lipovetsky (2009), deve ser tomada como uma instituição excepcional, demasiadamente problemática e não pertencente a qualquer época ou civilização. O autor ressalta ainda, que a moda é uma maneira única de mudança social, independentemente de qualquer objeto específico, ela é um mecanismo social que afeta as mais diversas esferas da vida coletiva.

De acordo com Lipovetsky (2009), o fenómeno moda, no sentido moderno, ligado a mudanças rápidas e um constante desafio por parte do indivíduo para se manter atualizado, começou a instalar-se a partir dos séculos XVII e XVIII. Essas características só se tornaram possíveis diante de factos históricos como as Guerras Mundiais e a Revolução Industrial, porque elas proporcionaram uma grande evolução nas técnicas de produção. A constante instabilidade e ritmo acelerado na mudança de produtos demonstram uma lógica económica que rege regras de produção e consumo de bens de forma acelerada.

Esse modelo de desenvolvimento é posto em discussão pela perspectiva da sustentabilidade que julga a necessidade de nos próximos decênios haver uma mudança nesse padrão, onde será possível:

Passar de uma sociedade em que o bem-estar e a saúde econômica, que hoje são medidos em termos de crescimento da produção e consumo de matéria-prima, para uma sociedade em que seja possível viver melhor consumindo (muito) menos e desenvolver a economia reduzindo a produção de produtos materiais (Manzini & Vezzoli, 2002, p.31).

Este pensamento abre espaço para conceitos como o *Design for Environmental, Green Design, Ecological Design* ou *Ecodesign* citados por Pazmino (2007), que surgem da convergência entre a atividade de projetar e o meio ambiente, concebendo um modelo projetual guiado por critérios ecológicos. É destacado ainda, a importância de planear um produto que seja ecologicamente correto e, ao mesmo tempo, economicamente viável.

Dentro do universo do Design de moda, as joias são apontadas, de acordo com Zugliani (2010), como artefactos desenvolvidos para adornar, transmitir beleza e identidade. Sendo assim, podemos considerá-las um código de comunicação, onde as suas características são, por exemplo, capazes de transparecer a história de uma época e de seu povo. De encontro a isso, Skoda (2012) declara que as joias são

consideradas uma expressão artística, documentos históricos e patrimónios da humanidade. A joalheria reflete nas suas obras a necessidade de inovação e exclusividade instigada pela sociedade e que se traduz em novos materiais e novas formas de produzir.

A joia contemporânea necessita de um grande esforço para ser definida e conceituada. Mercaldi e Moura (2017) confessam que essa dificuldade gira em torno dos conflitos e da amplitude dessa área que se relaciona com a arte, artesanato, design e moda. Os autores afirmam que a joia contemporânea busca expor e comunicar o seu tempo, impregnada de significados: valoriza o artesanal em conexão com o tecnológico e destaca identidade, atitude e personalidade, tanto do seu autor, quanto do seu usuário. É colocado em confronto o valor económico e os valores simbólicos, emocionais e estéticos ligados à joia. A crítica à preciosidade e a prática autorreflexiva orientada para o corpo também são conceitos ligados à prática da joalheria contemporânea.

Guilgen e Kistmann (2013) afirmam que as joias contemporâneas passam a incluir o uso de materiais não tradicionais e que essa mudança não afeta sua função de adorno e alta atribuição de valor simbólico ligados à joalheria tradicional. A diminuição do impacto ambiental e o papel político são citados como a base dessa mudança, demonstrando um forte conceito e valores associados a uma postura ideológica, acompanhada pela busca por inovação e exclusividade, refletindo no que Faggiani (2006) afirma sobre a atribuição de novos sentidos acerca do luxo na atualidade. A autora ressalta a tendência de que, cada vez mais, o luxo distancia-se do demasiado e tradicional, e passa a estar associado ao que é necessário à vida. Tendências ligadas à valorização do tempo, conforto, consciência e atitudes ecológicas são características citadas pela autora que caracterizam o novo aspeto do luxo.

Dessa maneira, o uso de materiais não convencionais na produção de joias pode ser considerado como uma estratégia mercadológica. Observando o que Guilgen e Kistmann (2013) e Takamitsu e Menezes (2014) tratam nos seus trabalhos, podemos perceber que a inclusão desses materiais, classificados como não preciosos, é capaz de atribuir ao produto um valor económico elevado, já que o carácter de exclusividade e inovação associado a esses novos materiais é observado. Assim, como afirma Codina (2005), sob a óptica contemporânea, mesmo que exista uma linha ténue que se põe entre os conceitos de joias e bijuterias, os materiais passam a ser avaliados pelo seu potencial estético.

Procurando novos materiais aplicáveis à joalheria que expressem identidade, inovação e exclusividade, Pires (2014) desenvolveu uma pesquisa relacionada às malhas com efeitos 3D para aplicação em joias. Na sua pesquisa, a autora utilizou como metodologia a ferramenta de *design thinking*. Como resultado foram apresentados protótipos de joias com aplicação das malhas com efeito 3D. Pires (2014) afirma que o processo de aprendizagem, adaptação das técnicas e desenvolvimento das estruturas, abriu

caminho para o surgimento de malhas tridimensionais, com formas e efeitos diversos para inúmeras aplicações.

Foram utilizados por Pires (2014), os seguintes fios: fios metálicos (poliéster/poliamida), de poliéster/viscose/acrílico, poliéster, poliéster/algodão, algodão, viscose/algodão/poliéster, algodão/modal e elastómeros. A utilização de fios metálicos não foi viável para tricotagem em teares, mas a autora afirma que a alteração de materiais demonstra ser capaz de trazer novos resultados estéticos vinculados à estrutura e volume. É apresentada, como perspectiva futura, a exploração de novas combinações de materiais para aplicação tanto na joalheria como em outras áreas, propondo uma linguagem estética diferenciada através de volumes, texturas e padrões.

Mercaldi e Menezes (2015) refletem em seu artigo sobre a incorporação de materiais sintéticos nas joias e as consequências e implicações desse uso. Os autores apontam, através de um estudo bibliográfico, que os plásticos apresentam inúmeras possibilidades plásticas e expressivas. O uso de plásticos na joalheria é apontado como inovador e relaciona-se com a mudança dos conceitos ligados a esse campo, proporcionando uma ampliação e redefinição desses conceitos, onde as joias passam a se conectar mais com a arte e sua interação com o corpo, criando uma atmosfera propícia para exploração de novos materiais, conceitos e processos a fim de criar novas relações simbólicas, sociais e culturais.

Porcelana, papel, vidros, madeira e esmaltes vítreos são exemplos desses materiais não convencionais, citados por Codina (2005), que podem ser moldados, fundidos ou esculpido para criação de joias. Suas aplicações podem ser sobre estruturas metálicas, ou apenas, serem furados e aplicados nas joias de maneira semelhante à forma como são utilizadas as gemas¹.

Apresenta-se ainda uma classificação de materiais utilizados no design de produto proposta por Gomes Filho (2006) que os divide em:

- Naturais: são materiais em sua forma primária de fonte mineral, vegetal e animal;
- Naturais transformados: são materiais naturais que são reelaborados através de processos de fabricação (operações de furação, corte, polimento, pintura, entre outros) para se tornarem outros materiais;
- Polímeros naturais: são materiais decorrentes de processos naturais como, por exemplo, âmbar, chifre, goma-laca, queratina, silicone, casco de tartaruga e celulose.

¹ De acordo com a norma ABNT NBR 10630:2016, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2016), o termo Gema quando utilizado isoladamente designa gema natural. Gema/pedra preciosa é um material orgânico ou inorgânico natural, com exceção dos metais, que, por sua beleza, raridade e durabilidade, é utilizado como adorno pessoal, objeto de arte ou ornamento.

- Polímeros sintéticos: são materiais artificiais de fonte orgânica sintética e que pode ser classificada entre: termoplásticos e termofixos;
- Compostos: são materiais produzidos a partir de dois ou mais materiais que buscam potencializar suas propriedades e reduzir suas falhas;

2.2 Eco materiais e economia circular

Straliotto (2009) afirma que o desenvolvimento de produtos está diretamente ligado à ecologia, considerando que o seu processo depende, necessita e interfere no meio ambiente. Essa relação de interdependência vem sendo discutida por um longo período na busca de mudanças no processo de desenvolvimento de produtos, visando um controle sobre o impacto no meio ambiente. Nascimento (2012) aponta a década de 60 como o período em que a consciência ambiental se intensificou e, de lá para cá, diversos eventos, relatórios, legislações e normas foram implementadas e influenciam a conjuntura atual. Sendo, por exemplo, o conceito de desenvolvimento sustentável, definido pelo Relatório de Bruntland², como aquele que procura atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de atender as necessidades das gerações futuras.

O século XXI é apresentado por Halala *et al.* (2002) como o século da sustentabilidade. Os autores citam a Agenda 21, conferência de 1992, ocorrida no Rio de Janeiro, que teve como objetivo determinar um plano de ação com intenção de desenvolver uma sociedade mais sustentável, sendo que, no ano seguinte, foi proposto o conceito de ecomateriais. Classificados como aqueles que buscam minimizar os impactos ambientais, sendo eles manufaturados a partir de matérias primas recicladas, ou que busquem o maior benefício para o bem-estar dos seres humanos sem comprometer a performance do material (Smith, El Hafiane, El Khessaimi & Faure, 2019).

Nguyen, Honda, Wang e Yamamoto (2009) afirmam, ainda, que um material para ser considerado um eco material deve seguir alguns pré-requisitos e pelo menos uma de suas condições necessárias. Os pré-requisitos estão ligados à otimização das propriedades físicas e/ou químicas e a uma melhor performance técnica do material quando comparado com sua versão convencional. Já as suas condições necessárias estão relacionadas com as melhorias ambientais e as trocas de cargas ambientais, ou seja, sua melhoria quanto ao desempenho ambiental considerando todo o seu ciclo de vida, sendo apresentadas em seis pontos: recursos verdes; manufatura com baixo impacto ambiental; alta

² “Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento”, estabelecido em 1987 com o título de “Nosso Futuro Comum”, pela Assembleia Geral das Nações Unidas, também chamado de Relatório Brundtland, em razão do nome de sua coordenadora. Sendo considerado um marco quando se fala sobre a correlação entre as questões ambientais e o desenvolvimento (Nascimento, 2012).

produtividade em uso; uso mínimo de substâncias tóxicas; altamente reciclável; e alta eficiência de purificação ambiental.

Halala *et al.* (2002) apontam que o conceito de eco material foi amplamente difundido no design de materiais e vem sendo vinculado à análise do ciclo de vida. Sendo assim, é importante destacar a relevância da análise do ciclo de vida na diminuição dos impactos negativos ao meio ambiente, através da identificação de quais etapas do ciclo necessitam ser revisadas.

De acordo com Stralio (2009), o ciclo de vida das joias pode ser dividido em sete etapas: pré-produção, design, produção, distribuição, uso, descarte e recuperação.

A fase de pré-produção abrange a obtenção e o beneficiamento da matéria-prima. O design compreende a criação, o projeto e, quando for o caso, a prototipagem da jóia. Na produção entram os processos de fabricação sobre a matéria-prima beneficiada, com o emprego de energia e materiais consumíveis, além de geração de resíduos. A distribuição compreende a embalagem, o transporte e a comercialização das jóias. A fase do uso, a mais longa do produto jóia, é a que menos impacta no meio ambiente, quando não consome energia e material, nem polui. O descarte pode compreender o descarte direto da jóia por perda, venda, etc. A recuperação pode se dar através da remanufatura ou reforma de uma jóia e também da reciclagem de seus materiais para o fabrico de uma nova jóia. (Stralio, 2009, p.126)

A etapa que causa maior impacto negativo ao meio ambiente é a etapa da pré-produção, devido ao processo de extração da matéria-prima do meio ambiente que muitas vezes se utiliza de substâncias tóxicas. Outros pontos que podem ser destacados: emprego de algumas ligas metálicas que liberam gases nocivos e devem ser banidas, limpeza química das peças que pode ser substituída pela técnica de ultrassom, uso de energia de fontes mais limpas nos maçaricos e ferramentas elétricas usadas na produção das peças e uso de embalagens duráveis e de fontes renovável, biodegradável, reciclado ou reciclável. Relativamente às vantagens, apresenta-se o facto das joias possuírem um ciclo de vida bastante longo que, por vezes, chegam a exceder o tempo de vida dos consumidores e, mesmo ao seu fim, o metal empregado nas joias é normalmente reciclado (Stralio, 2009).

Estes conceitos vão diretamente de encontro com o conceito de economia circular que, de acordo com a Fundação Ellen MacArthur, é baseada nos princípios de projetar considerando os resíduos e o impacto ambiental, mantendo produtos e materiais em uso e recriando sistemas naturais. A economia circular é, então, uma economia industrial restauradora por intenção. O propósito é interromper o sistema de economia linear que se baseia em: extrair, transformar e descartar, onde a matéria prima é retirada da natureza, os produtos fabricados e descartados quando o consumidor já não vê mais uso, causando uma insustentabilidade no modo de produção. As empresas, por sua vez, sentem os impactos do sistema linear quando os preços das matérias primas começam a se tornar mais altos e instáveis. Refletindo numa maior exposição a riscos de investimento para o crescimento das empresas (Fundação Ellen MacArthur, 2013).

No seu relatório “*New textiles economy: Redesignin fashion’s future*” a fundação expõe os impactos e as mudanças necessárias a indústria da moda. De acordo com este documento, a indústria da moda é capaz de desperdiçar 500 mil milhões de dólares pela forma como as roupas são projetadas, vendidas e usadas. É proposta uma nova abordagem onde modelos, roupas, tecidos e fibras voltem a circular na economia como uma fonte inesgotável de matéria prima, extinguindo assim, a sua transformação em resíduos. Agindo sobre os dois maiores problemas: baixa utilização das roupas e baixa taxa de reciclagem após o uso e, assim, promovendo benefícios à economia, ao meio ambiente e à sociedade.

A nova economia têxtil baseia-se em quatro ambições: eliminar substâncias perigosas e micro plásticos, incrementar a vida útil das peças, alavancar radicalmente a reciclagem e fazer uso efetivo de insumos renováveis (figura 2), dando suporte a um sistema cíclico e orgânico.

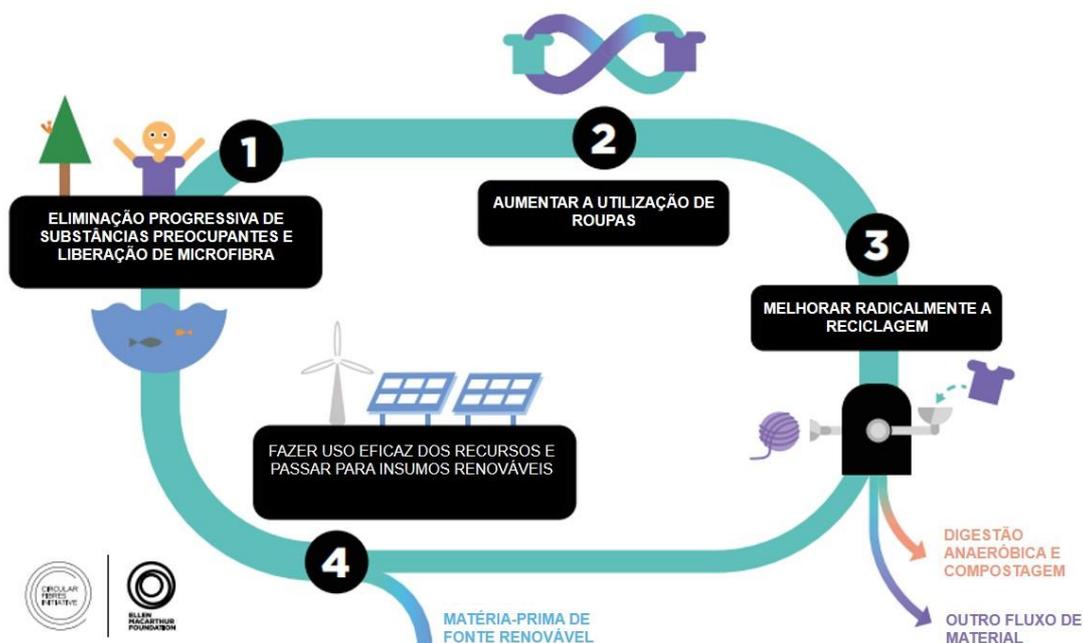


Figura 2. As quatro ambições para cadeia têxtil. Fonte: [Fundação Ellen MacArthur, 2017] adaptado pela autora, 2020.

- 1 – Eliminar substâncias perigosas e micro plásticos: é preciso garantir que a matéria prima tenha origem segura e saudável para evitar impactos negativos no ciclo de vida do produto. Para isso é necessário reduzir uso de fibras sintéticas e eliminar uso de substâncias tóxicas nos processos de produção;

- 2 – Incrementar a vida útil das peças: é importante projetar e produzir roupas de maior qualidade e com facilidade de acesso a elas através de novos modelos de negócios, tornando a durabilidade atrativa ao consumidor;
- 3 – Alavancar radicalmente a reciclagem: alinhar o design e a reciclagem projetando os produtos considerando o fim do seu ciclo de vida, desenvolver novas tecnologias que melhorem a qualidade da reciclagem, estimular o uso de matérias primas recicladas e a aceitação destes produtos por parte dos clientes;
- 4 – Fazer uso efetivo de insumos renováveis: a necessidade de matéria prima já seria drasticamente reduzida pelo aumento do tempo de uso dos produtos e aumento da reciclagem. Contudo, quando inevitável, é indicada a utilização de matéria prima renovável. É também necessária a implementação de um sistema mais eficaz com processos de produção eficientes na redução desperdícios.

Assim, de acordo com Tesfaye, Sithole, Ramjugernath e Chunilall (2017), a conversão de resíduos em matéria prima é muito interessante para a produção de bioprodutos. Sendo, no caso deste trabalho, as penas um recurso valioso que ajuda a indústria avícola a descartar seus resíduos de forma sustentável, gerando rendimento extra para a indústria, por meio de uma conversão sustentável dos resíduos em produtos de alto valor através da existência ou desenvolvimento de tecnologias capazes de realizar essa transformação.

2.3 Fibras de penas

As penas são o revestimento externo das aves possuindo uma estrutura central rígida à qual se conectam as fibras, em ambos os lados. Elas são comumente descritas como resíduos e contribuem para a poluição ambiental por consequência das suas formas de descarte. As formas mais comuns de descartar esses resíduos da indústria de avicultura são: a queima, a colocação em aterro e a produção de ração de baixa qualidade para animais, sendo que todas apresentam pontos negativos quando se avalia pela perspectiva da poluição ambiental (Alonso, 2017).

As penas são, muitas vezes, cozidas e esterilizadas à temperatura elevada e à pressão elevada, e depois são secas e moidas 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. (*Ibid.*, p.09).

Considerando o aspecto ambiental e que a produção de carnes de aves vem aumentando nos últimos anos, a procura pela transformação desses resíduos em matéria prima vem ganhando espaço. De acordo

com Uzun *et al.* (2011), esta matéria prima é vantajosa pois, além de abundantemente disponível, apresenta baixo custo e é uma matéria renovável. Alonso (2017) afirma que as penas são constituídas, na sua maior parte, por queratina, refletindo-se na composição da fibra de pena que é formada em 90% por proteína.

As fibras proteicas são formadas por fontes naturais de animais através da condensação de α -aminoácidos para formar unidades de poliamida repetidas com vários substituintes do átomo de α -carbono. A sequência e o tipo de aminoácidos que compõem as cadeias proteicas individuais contribuem para as propriedades gerais da fibra resultante. Existem duas classes principais de fibras proteicas naturais que incluem queratina (cabelo ou pelo) e fibras secretadas (insetos). (...) Em geral, as fibras proteicas são fibras de resistência, resiliência e elasticidade moderadas. Elas têm excelentes características de absorção e transporte de umidade. Não acumulam carga electrostática. Embora tenham uma boa resistência aos ácidos, são prontamente atacadas por bases e agentes oxidantes. Tendem a amareecer à luz do sol devido a um ataque oxidativo. São fibras altamente confortáveis em condições ambientais e possuem excelentes qualidades estéticas. (Needles, 1986, p.58-59).

Tal como é visível na Figura 3, os principais elementos estruturais das penas são: raque, barba e bárbules (Bessa *et al.*, 2017). O raque perfaz todo o comprimento da pena podendo apresentar até 18 cm. As barbas, consideradas as fibras da pena e o principal elemento do vexil, apresentam entre 1 e 4,5 cm de comprimento dependendo da sua localização e as bárbules, marcadas como ramificações das fibras, apresentam cerca de 0,3 à 0,5 mm e contém ganchos em suas extremidades (Reddy & Yang, 2007 e Alonso, 2017). Tesfaye *et al.* (2017) apontam em seu estudo que as barbas apresentam um diâmetro relativamente pequeno com média de 46.65 μm mas ressaltam que houve uma grande variação entre os valores e julgam ser resultado do uso de plumas (barbas e bárbules) de diferentes partes do corpo e de diferentes tamanhos de frangos. Entretanto, os autores também ressaltam que ao longo do comprimento, as barbas e bárbules, apresentam um diâmetro consistente variando menos que 10% e 4%, apresentando uma maior diferença quando comparados às extremidades distais com o restante da amostra. As fibras de pena apresentam uma textura rugosa e diferentemente da lã, fibra proteica natural de origem animal, não apresentam cutículas e sim uma superfície fibrilar (Alonso, 2017; Tesfaye *et al.*, 2017; Reddy & Yang, 2007).

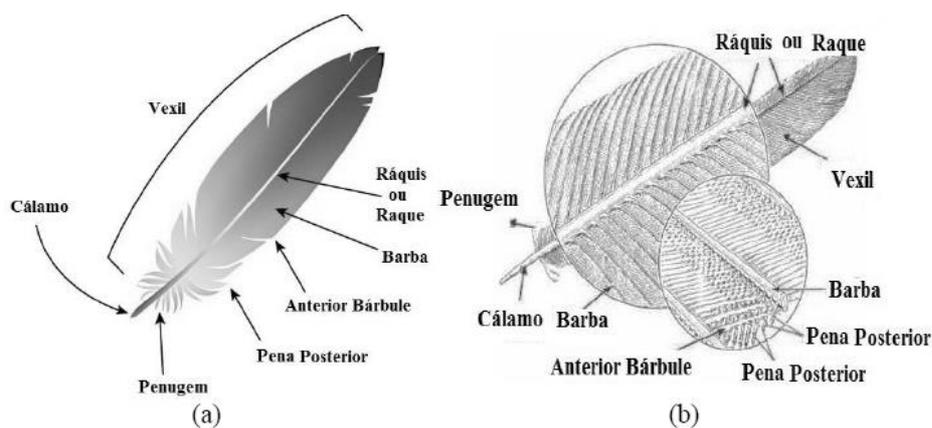


Figura 3. Estrutura da pena (a) e (b.) Fonte: [Back Yard Chickens, 2012] [Ferbank Science Center, 2011 apud Seawright et al, 2013]
Adaptada por Alonso, 2017.

Alonso (2013) apresenta as características físicas das fibras de penas de frango de origem natural e animal para aplicação têxtil. As fibras sofreram um processo de esterilização, lavagem, secagem e separação manual da ráqui (aste) com uso de tesoura. De acordo com a autora a fibra apresenta um formato achatado, uma estrutura tubular oca, baixa densidade, capacidade isolante sonora e térmica, cavidades que propiciam o transporte de líquidos e pode apresentar capacidade de reflexão dos raios solares concedendo brilho ao material. A estrutura morfológica das fibras de penas apresenta ao material uma baixa densidade. A estrutura tem a presença de microtubos que apresentam micro divisões internas formando bolsas de ar, que se assemelham a favos de mel e manifestam um comportamento heterogêneo por se tratar de um material natural (Alonso, 2017; Tesfaye *et al.*, 2017). Alonso (2017) afirma que quando comparada com outra fibra natural ou sintética ela apresenta a menor densidade. A autora ainda apresenta um comparativo com as fibras celulósicas e fibras de lã que possuem respectivamente 1,5 e 1,3 g/cm³.

Barone e Schmidt (2005) apontam que a fibra de pena é semi-cristalina, apresenta um diâmetro uniforme de 5 µm e sua massa volúmica é de 0,89 g/cm³. O processo de moagem auxilia na uniformização do comprimento das fibras que, de acordo com os autores, variam entre 0,3 cm e 1,3 cm. Com relação às propriedades de tração, Reddy e Yang (2007) afirmam que, quando comparadas à lã, as barbas de penas apresentam resistência e módulo de elasticidade semelhantes, mas apontam um menor alongamento. Os autores constatam ainda que as proteínas das barbas são do tipo α-queratina, com cerca de 25% de proteína cristalina e apresentam estrutura e arranjo diferentes das proteínas presentes nos ráquis. Diante de todos esses resultados, Reddy e Yang (2007) indicam que estas fibras em interação com outras poderiam garantir propriedades exclusivas. E apontam ainda que essas fibras de origem

animal, classificadas como fibras proteicas naturais, podem ser preferíveis para diversos usos como, por exemplo, para aplicação em compósitos e têxteis. Considerando que sua estrutura possibilita isolamento de ar e calor. Além disso, como evidenciado previamente, os impactos ambientais e a consciencialização sobre eles vêm modificando a visão de mercado e possibilitando que resíduos como este possam ser vistos e transformados em matéria prima com alto valor agregado (Reddy & Yang, 2007).

Alonso (2017), dando continuidade à pesquisa, desenvolveu dois produtos comerciais: não-tecido de penas e de penugens pelo processo de agulhadeira e não-tecidos de nanofibras de queratina de penas e penugem por electrospinning, demonstrando a possibilidade de reciclar e aplicar esse material na indústria têxtil. A autora afirma que o uso desse material como matéria prima é muito oportuno, já que possui qualidade, baixo preço e grande disponibilidade. Além de incentivar um movimento *eco-friendly* e redução dos custos finais do produto.

2.4 Materiais compósitos

Ogin (2000) e Callister (2006) consideram como materiais compósitos quaisquer materiais heterogêneos que apresentam uma porção significativa de cada uma de suas fases constituintes, de forma que cada fase componente apresente propriedades complementares, tornando possível a obtenção de materiais com particularidades que não se conseguem com os componentes de forma isolada.

Os materiais compósitos iniciaram a sua caminhada de sucesso em meados do século 20 e daí em diante a sua expressão industrial não parou mais de crescer. Desde artigos simples, utilizados quotidianamente por todos nós, até aplicações em estruturas e componentes para a indústria aeronáutica e aeroespacial, os materiais compósitos ocupam actualmente um lugar destacado entre os materiais de engenharia. Isto deve-se naturalmente as vantagens que possuem relativamente aos materiais tradicionais, entre os quais sobressaem a facilidade de processamento, a elevada rigidez e resistência mecânica e o baixo peso específico dos compósitos de matriz polimérica. (Moura, Morais & Guimarães, 2005, p.ix).

Para melhor compreensão dos materiais compósitos é possível afirmar que estes são formados pela combinação de pelo menos dois materiais, existindo uma interface clara entre eles. Esses materiais que constituem os compósitos podem ser classificados entre a fase de reforço, que pode ser constituída por fibras, partículas ou folhas (figura 4).

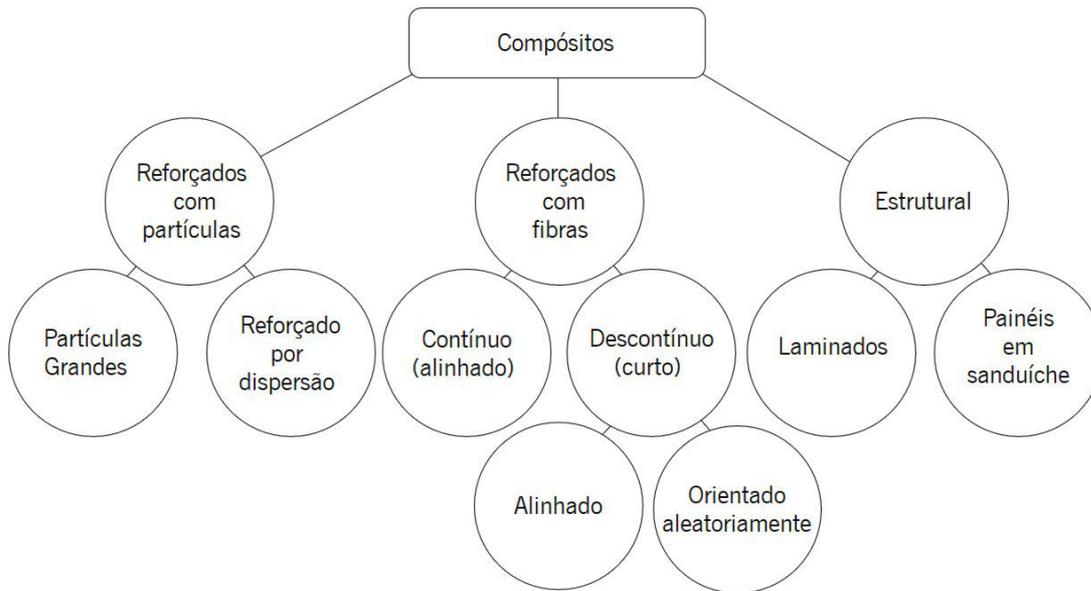


Figura 4. Classificação dos compósitos relativo a fase de reforço. Fonte: [Callister, 2006] Adaptada pela autora, 2020.

Incluem igualmente uma fase contínua (matriz) que pode ser de natureza polimérica, cerâmica ou metálica (figura 5).

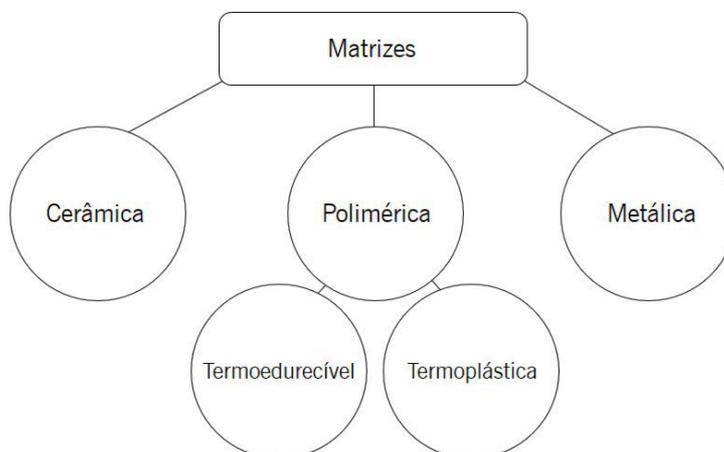


Figura 5. Classificação dos compósitos relativo ao tipo de matriz. Fonte: [Pinheiro, 2008] Adaptada pela autora, 2020.

Atualmente os compósitos de matriz polimérica tem apresentado uma maior diversidade de aplicação pelas suas propriedades à temperatura ambiente, sua facilidade de fabricação e seu baixo custo (Callister, 2006; Rashed, Islam & Rizvi, 2006). Estes compósitos, de acordo com o tipo de matriz polimérica que utilizam, podem ser classificados entre: termoendurecíveis e termoplásticos. Esses dois

tipos de polímeros apresentam distinções referentes às suas formas de processamento e às suas propriedades finais. De acordo com o Guia para Compósitos da *Gurit*, os termoplásticos podem ser fundidos e solidificados várias vezes sem que exista uma limitação para tal. Já os termoendurecíveis, no seu processamento, precisam de ser submetidos a uma reação química, nomeada de cura ou endurecimento, que os converta em um material rígido e infusível. Isto significa que, após a cura, o termoendurecível não pode voltar a ser fundido.

Dentro do universo das resinas termoendurecíveis, a família das resinas epóxicas, de acordo com o Guia para Compósitos da *Gurit*, apresenta algumas das melhores performances quando comparada com resinas existentes na atualidade, uma vez que possuem propriedades mecânicas e resistência à degradação ambiental melhores. Além de proporcionar um alta força adesiva e isolamento elétrico. Estas resinas são caracterizadas por uma longa cadeia molecular com grupos radicais ativos epóxi nas extremidades conferindo uma boa resistência à água. A sua estrutura molecular também lhe atribui bom desempenho mecânico e térmico. .

As resinas epóxicas são fácil e rapidamente curadas em qualquer temperatura entre 5°C e 150°C, dependendo do agente de cura escolhido. Uma das maiores vantagens dessas resinas é o seu baixo encolhimento durante a cura, causando uma excelente estabilidade dimensional. Elas são normalmente curadas através de uma reação de adição onde o endurecedor, na maioria das vezes uma amina, une-se às duas extremidades do grupo epóxi formando uma estrutura molecular tridimensional complexa.

Para garantir as propriedades finais depois da cura é importante que a proporção entre a resina e o endurecedor fornecida pelos fabricantes seja obedecida. Isso porque, quando essa relação não é obedecida, não é possível assegurar que ocorra a reação completa, considerando que as moléculas de amina e as epóxi reagem em uma proporção estável (Guia para Compósitos da *Gurit*).

É importante considerar que o enfoque desta dissertação são os compósitos reforçados com fibras naturais resultado da dispersão de fibras num material aglomerante. As propriedades destes compósitos dependem, então, da natureza de seus materiais e do grau de ligação entre eles (Moura *et al.*, 2005). Por isso, de acordo com o Guia para Compósitos da *Gurit*, de uma maneira geral, as propriedades finais desses materiais dependem de:

- Propriedades da fibra;
- Propriedades da resina;
- Fração de volume da fibra;
- Geometria da fibra.

2.4.1 Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais

Callister (2006) afirma que os compósitos mais significativos, levando em consideração a tecnologia, são aqueles que possuem a sua fase dispersa em forma de fibra. O uso de fibras naturais como reforço em materiais compósitos, vem sendo uma das formas encontradas de trazer soluções mais amigas do ambiente, sendo possível pela capacidade das fibras naturais de proporcionar características como: reforço de rigidez, menor densidade e menor custo quando comparadas às fibras não degradáveis, entre outras características (Pickering, Efendy & Le, 2016).

Duro (2013) realizou um estudo com 4 tipos de resinas diferentes, reforçadas com fibras de linho e sisal. A autora afirma que os compósitos reforçados com fibras naturais, após análise das propriedades mecânicas de tração e flexão, podem ser aplicados nas indústrias automobilísticas e construção civil.

Silva (2014) realizou um estudo sobre a aplicação de juta como reforço em materiais compósitos. O objetivo era obter um compósito capaz de competir com os produtos convencionais utilizados na construção civil e na indústria automobilística. Para isso, foram realizados testes com dois tipos de matriz polimérica (resina de poliéster e resina epóxida), reforçados com fibras de juta contínuas e alinhadas. A juta apresenta resistência específica relativamente alta, mas apenas uma percentagem limitada pode ser acrescentada na matriz polimérica para apresentar resultados satisfatórios, considerando que o tipo de aplicação do material requer que apresentem boa tenacidade e resistência. Foi observado ainda que os compósitos reforçados com resina epóxida apresentaram melhores resultados quando comparados com os compósitos de resina de poliéster, levando em conta os requisitos específicos para a aplicação desejada.

Duarte, Teixeira e Lima (2009) apresentam um estudo que busca desenvolver um material compósito reforçado com pó de osso bovino. O objetivo é apresentar propriedades e características semelhantes ao coral, a fim de obter uma opção de substituição mais sustentável para o setor de joias. Para a produção do compósito é utilizado um pó de osso bovino (tíbia bovina das pernas traseiras) que passou por um processo de desorganificação (tornar o osso inorgânico). Depois disso, o osso passa por processos de filtragem, secagem e, por fim, é peneirado.

Com relação à matriz do material, os autores iniciaram o estudo com poliuretano, uma resina de poliéster. O processo de tingimento foi realizado de maneira simultânea nas etapas de preparação do pó de osso e durante o preenchimento do osso inorgânico com a resina ou agente infiltrante. Os autores afirmam que os compósitos de pó de osso bovino como simulador de gemas de coral são inéditos e inovadores e buscam satisfazer a necessidade da indústria de joias por matérias primas renováveis.

Wilm (2015) procurou desenvolver outro tipo de compósito também reforçado com material natural, mas de fonte mineral, a fim de simular o efeito aventurina. Utilizou matriz polimérica de resina de poliéster com inclusões de partículas de biotina e muscovita. A muscovita apresentou melhores resultados nos testes por conseguir manter seu poder de reflexão na interação com a resina de poliéster. Após a avaliação inicial, a autora definiu uma padronização do tamanho e a composição das amostras de resina de poliéster com muscovita e realizou testes de refletância, absorção de água e de envelhecimento acelerado. A pesquisa verificou, então, que o material conseguiu reproduzir o efeito visual desejado e que poderia ser aplicado em joalheria. A Figura 6 mostra uma joia confeccionada com aplicação do material.



Figura 6. Peça com material compósito reforçado com muscovita. Fonte: Wilm, 2015.

2.4.2 Compósitos poliméricos reforçados com fibras de penas

De acordo com Uzun *et al.* (2011), a aplicação das fibras de penas de frango como reforço de materiais compósitos vem sendo estudada e oferece uma forma muito mais eficaz de reduzir o impacto no meio ambiente. Nesse estudo, foram testadas duas amostras de compósitos reforçados com fibras de penas de frango, sendo a primeira amostra com a matriz em resina epóxida viniléster (Polives™ 702) e a segunda amostra com a matriz em resina de poliéster tipo RTM híbrida (Polipol™ 337). Os autores concluíram que o compósito reforçado com fibras de frango tem potencial de aplicação levando em consideração seu comportamento ao impacto. A aplicação poderia dar-se em diversas áreas, sendo citadas pelos autores a indústria automotiva e a construção civil. Afirma-se ainda que as resistências à tração e à flexão do material podem ser melhoradas com o aumento da percentagem de fibras de penas de frango e também com a utilização de diferentes resinas. Outra possível maneira de melhorar as

propriedades do compósito seria investigar tratamentos mais eficazes para diminuir a falta de adesão entre a fibra e a matriz.

Gogoi *et al.* (2019) afirmam que a sua amostra com alta percentagem de resina apresenta uma melhor impregnação das fibras de penas de galinha, bem como a sua melhor aderência em relação a matriz, resultando em uma diminuição da capacidade de captação de água. Em seu estudo Jaya *et. al* (2018), observam que quanto maior a porção de fibras de penas nos compósitos maior se torna a absorção de água. Os autores apontam que esta característica está associada a presença de grupos de aminoácidos que apresentam comportamento higroscópico aumentando a interação com as moléculas de água. Isso porque apresentam grupos livres de O-H e N-H que formam ligações de hidrogénio com as moléculas de água promovendo essa absorção de água nos compósitos. Logo, quanto maior a porção de fibras maior a capacidade de promover estas ligações com as moléculas de água.

Bessa *et al.* (2017) apresentam um trabalho que busca avaliar o potencial para o emprego de fibras de penas de frango como reforço de materiais poliméricos, em especial, aqueles com matrizes termoendurecíveis como resinas epóxicas. De acordo com os autores, o estudo e aplicação procuram entender como os componentes podem contribuir para o isolamento térmico. Para isso, foram desenvolvidos materiais compósitos, com diferentes proporções entre a matriz e o reforço, através da técnica de moldação por compressão. As penas, do estudo de Bessa *et al.* (2017), foram extraídas de resíduos da indústria de avicultura brasileira e separadas em 3 grupos: curtas, médias e longas, apresentando, em média, 2,6 cm de comprimento. A resina epóxida utilizada foi disponibilizada pela Sika, de referência SR GreenPoxy 56, apresentando até 56% de sua estrutura molecular de origem vegetal.

Os materiais compósitos produzidos foram submetidos a testes de isolamento térmico e acústico a fim de determinar a influência da fibra sobre esses requisitos. Foi realizado, ainda, um teste térmico de DSC, identificando o ponto de degradação das fibras de pena de frango entre 220 °C e 237 °C. Como resultados, Bessa *et al.* (2017) afirmam que as fibras de penas de frango apresentam alto potencial para aplicação em materiais compósitos. Assim como foi possível constatar que a resistência térmica é diretamente proporcional à fração de fibras de pena presentes.

2.5 Corantes

De acordo com Needles (1986), as fibras proteicas são facilmente tingidas considerando a presença de numerosos grupos funcionais reativos. Logo, uma ampla gama de corantes pode ser utilizada. As fibras

de queratina têm uma tendência a receberem rapidamente o tingimento chegando com facilidade a tons mais profundos. Os corantes ácidos são bastante comuns para o tingimento de fibras proteicas, como lã e seda, pela interação desses corantes com os grupos aminos livres capazes de formar ligações iônicas. E os corantes naturais, normalmente, possuem boa afinidade com as fibras proteicas e são muito utilizados no artesanato, geralmente, com a conjugação de mordentes.

2.5.1 Corantes ácidos

De acordo com Perkins (1996), os corantes ácidos são assim denominados por possuírem grupos ácidos na sua estrutura. Sendo assim, os grupos ácidos reagem com os grupos base das fibras proteicas e poliamidas formando sais orgânicos. O autor afirma que a lã, seda e outras fibras de base proteica possuem grupos aminos livres que conseguem interagir com os corantes ácidos formando ligações iônicas.

Oliveira (2009) aponta que para uma solução de tingimento com corantes ácidos apresentar uma boa igualação, uma série de variantes irão implicar: o tipo de corante, o pH, a temperatura e a presença de auxiliares como por exemplo um agente retardador. O autor comenta estes pontos afirmando que a fixação do corante ocorre de maneira mais rápida em solução com menor pH devido à presença de uma maior carga positiva da fibra. A temperatura elevada propicia que a fibra se apresente mais inchada ocorrendo mais facilmente a penetração do corante, onde no caso da lã e outras fibras de pelos de animais, são normalmente utilizadas temperaturas próximas da ebulição.

2.5.2 Corante natural de cascas de cebola

O uso das cores sempre despertou interesse do homem, sendo o seu uso tão antigo quanto os próprios têxteis, surgidos ainda na pré-história (Mansour, 2013). Estes corantes são obtidos através de plantas, animais, minerais e fungos, produzindo vermelho, amarelo, azul, preto, castanho e combinações destas cores. Sendo assim, além de apresentarem uma fonte abastada e variada de corantes, são considerados seguros, ecológicos e de baixo custo. São compatíveis com o meio ambiente, apresentam baixo teor de elementos tóxicos e efeitos alérgicos (Kasiri & Safapour, 2013; Mansour, 2013).

Mas, como esperado, o tingimento com corantes naturais também apresenta algumas limitações. Kasiri e Safapour (2013) indicam a reprodutibilidade como uma das maiores dificuldades ligadas aos corantes naturais. Além disso, o tingimento natural exige que haja uma mão de obra especializada, apresenta baixa solidez e pode alterar de cor quando exposto ao sol, calor, ar e suor. Assim, torna-se necessário o uso de mordentes para melhoria das suas propriedades, existindo alguns mordentes metálicos considerados perigosos (Vankar, 2000). Vankar (2000) também afirma que a extração dos corantes

naturais pode ser muito demorada e apresentar um baixo valor de cor levando à necessidade de um longo processo de tingimento o que eleva o custo do tingimento quando comparado com os corantes sintéticos.

Os corantes naturais podem ser classificados com base na sua estrutura química, origem, método de aplicação, cor, entre outros. *Allium cepa* (cebola) pertence à família Alliaceae e produz um corante natural nos tons que variam entre o castanho claro e o castanho escuro, extraído das escamas secas do seu bulbo. Estas escamas são consideradas um material residual da indústria alimentar e apresentam bons resultados de tingimento podendo ser exploradas para tingimento natural comercial (Vankar, Shanker & Wijayapala, 2009). Considerando a classificação química, a maioria dos corantes naturais amarelos são derivados hidróxi e metóxi de flavonas e isoflavonas. (Silva, 2018; Siva, 2007; Vankar, 2000). Quanto à classificação do método de aplicação, de acordo com Rodrigues (2013), pode-se considerar como corante direto (tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos corantes naturais a partir do método de aplicação.

Classificação	Tina	Mordentes	Diretos
Características gerais	Insolúveis em água, têm como exemplos o índigo e o pastel, mas sob condições reductoras, podem se tornar solúveis em solução aquosa alcalina, a qual penetra nas fibras para o tingimento. Pela exposição ao ar, estes pigmentos são oxidados para a forma insolúvel e ficam presos a fibra, segundo Bastian (2009)	Engloba a maioria dos corantes naturais, pois requerem no tratamento das fibras têxteis – uma solução de mordente – sal de metal. Durante o tingimento o corante interage com o mordente de fibra insolúvel para formar a cor, o qual também garante o brilho e a solidez do primeiro. Ex: iões de alumínio, o de ferro, o estanho, o cromo ou o cobre, o creme de tártaro e o ácido forte, sendo que quanto ao último que possui HCl, esta substância é desvantajosa para os corantes amarelos, pois não interage muito bem com os seus flavonóides (Zhang e Laursen, 2005).	São aplicados diretamente na fibra, mas são menos laváveis e leves do que as tinturas de cuba ou com mordentes. Exemplos de corantes diretos incluem cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) e açafrão (<i>Crocus sativus</i>), de acordo com Ferreira <i>et al.</i> (2004).

Fonte: Rodrigues, 2013, p.54.

Silva (2018) destaca que o principal método de extração utilizado para obtenção do corante proveniente das cascas de cebola dá-se por meio aquoso, sem adição de solventes químicos, onde as cascas são trituradas, tratadas com água destilada e quente e, posteriormente, filtradas para a então aplicação no tingimento. Além disso, a autora regista que obteve os melhores resultados de tingimento com o extrato

de casca de cebola, em seu estudo utilizando amostras de poliamida, com temperatura nos 100 °C, pH de 3,5 e uma relação de banho de 1:100.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia experimental, no que diz respeito aos materiais utilizados e desenvolvidos no decorrer deste trabalho, sendo expostos os processos, materiais e equipamentos utilizados. Serão apresentadas, igualmente, as principais técnicas realizadas durante o percurso do trabalho com o intenção de caracterizar a morfologia e as propriedades do material proposto.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho, assim como, os seus fornecedores, estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2. Materiais utilizados.

Materiais	Fornecedores	
Corante natural	Cascas de cebola	Resíduo de frutaria
Resina epóxida	Biresin® LS	Sika®
Fibras	Fibras de penas	Dudico

Fonte: autora, 2020.

As penas, foram fornecidas pela empresa aviária brasileira Dudico, originárias de frangos para abate com 42 dias de vida, tendo sido entregues totalmente higienizadas pela referida empresa, que realiza este processo devido ao reaproveitamento das mesmas para produção de ração animal, respeitando a norma ISO 6741-3. Estas penas foram classificadas em três tipos diferentes: pequenas, médias e grandes, considerando seus comprimentos, sendo ainda, subdividida em: área superior, área central e área inferior, tal como pode ser visto na figura 7. As fibras, material utilizado pela pesquisa, são destacadas do ráqui, parte central da pena, por um processo manual realizado com tesoura elétrica. Em seguida, as fibras foram trituradas com auxílio de um triturador industrial com capacidade de oito litros, no intuito de uniformizar o comprimento das fibras, e depois levadas à estufa por um período de 48 horas a uma temperatura de 60°C.

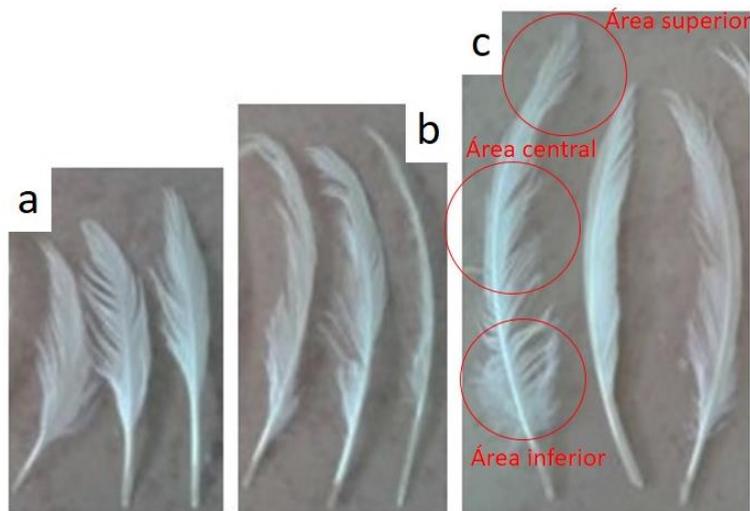


Figura 7. Penas de frango. a – pequenas, b – médias e c – grandes. Fonte: Autora, 2020.

Na figura 8 estão dispostas as imagens das fibras de pena de frango, as cascas de cebola trituradas fornecidas por frutaria e os lados A e B da resina epóxida Biresin® LS da Sika®, tal como descrito na tabela 2.



Figura 8. (a) amostra das fibras de penas de frango. (b) amostra das cascas de cebola trituradas. (c) lado A da da resina epóxida Biresin® LS da Sika®. (d) lado B da resina epóxida Biresin® LS da Sika®. Fonte: Autora, 2020.

3.2 Métodos

3.2.1 Tingimento das fibras

Foram efetuados testes com dois corantes ácidos: Supralan Yellow 4GL e o Supralan Yellow C-2R com relação de banho de 1:10. Na solução foram utilizados 1% do corante, 2% de Levegal LPA (igualizador) e 1g/L de acetato de sódio (eletrólito), sendo o pH 5. O tingimento foi realizado na máquina de tingir Ahiba IR (figura 9), a 100°C, durante 45 minutos e com gradiente de temperatura de 1,5°C/min. Posteriormente, as fibras foram enxaguadas numa sequência de água quente, fria e quente. Após esse procedimento foi retirado o excesso de água das fibras, tendo sido colocadas em estufa a 60°C, por, no mínimo, 24 horas.



Figura 9. Máquina de Tingir Ahiba IR. Fonte: Autora, 2020.

No tingimento, com corante natural, a extração do corante das cascas de cebola foi realizada em meio aquoso sem adição de outros componentes químicos. As cascas secas foram trituradas, adicionadas em água destilada, aquecidas e, posteriormente, filtrada, gerando o extrato para aplicação na fibra têxtil. A solução foi preparada numa proporção 10g de cascas de cebola para 1L de água destilada, aquecida sob agitação durante 60 minutos, a uma temperatura de 100°C (figura 10).



Figura 10. Processo de extração do corante natural da casca de cebola (a) e corante natural de casca de cebola extraído (b). Fonte: Autora, 2020.

Com a solução da extração foi realizado o tingimento das fibras utilizando uma relação de banho de 1:100 na máquina de tingir Ahiba IR a 100°C durante 45 minutos e g cad. 1,5°C/min. As fibras foram depois enxaguadas em água fria. Após esse procedimento foi retirado o excesso de água das fibras e foram colocadas numa estufa a 60°C, por, no mínimo, 24 horas.

3.2.2 Produção do material compósito

O processamento do material compósito foi realizado por meio da técnica de *hand lay-up*. Este método, de acordo com Marques (2011), é utilizado quando são necessários pequenos números de peças e apenas um dos lados do produto requer um bom acabamento de superfície. O autor cita ainda que este mecanismo requer baixo investimento, mas depende muito das habilidades do operador, sendo assim, um processo lento.

Foi utilizado de um molde de silicone (figura 11), que recebeu diferentes razões volumétricas de materiais (matriz e fibras), sendo confeccionadas amostras com 0%, 5%, 10%, 20% e 30% de fibras, conforme a tabela 3. Essas percentagens foram definidas tendo como base os trabalhos de Silva, Souza e Serejo (2019), Jaya *et al.* (2018), Oladele, Omotoyimbo e Ayemidejor (2014), Salehuddin, Wahit, Kadir, Sulaiman e Kasim (2014), Uzun *et al.* (2011) e Acda (2010).



Figura 11. Molde de silicone de meias esferas. Fonte: Autora, 2020.

Tabela 3. Razões volumétricas entre matriz e fibras para a confecção das amostras.

Amostras	Composição	Quantidade de fibra (g)	Quantidade de matriz (g)	Massa volúmica (g/cm ³)
1	100% Resina	-	28g	0,99 g/cm ³
2	95% Resina 5% fibras de penas	1,4g	26,6g	0,89 g/cm ³
3	90% Resina 10% fibras de penas	2,8g	25,2g	0,86 g/cm ³
4	80% Resina 20% fibras de penas	5,6g	22,4g	0,95 g/cm ³
5	70% Resina 30% fibras de penas	8,4g	19,6g	1,07 g/cm ³

Fonte: autora, 2020.

A resina epóxida utilizada nos ensaios foi a Bioresin® LS da Sika ®. A sua ficha técnica (anexo 1) afirma que sua aplicabilidade é dada de forma rápida devido a sua baixa viscosidade (~ 580 mPa.s) e que possui uma facilidade em impregnar e incorporar fibras, devendo ter esta relação entre fibra e resina determinada e controlada de maneira precisa. A Bioresin® LS da Sika ® apresenta massa volúmica de 1.2 g/cm^3 , sendo o seu tempo de trabalho de 50 minutos, o tempo de desmoldagem de 12 horas e a sua cura à temperatura ambiente ocorre em 14 dias. Neste trabalho, optou-se por um processo de pós-cura em estufa a $80 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 24 horas.

3.2.3 Produção do molde com formato de provetes para o ensaio de tração

Como adaptação da norma ISO 527-2: *Tensile tests of thermosetting materials*, conforme Ribeiro (2019), a fim de uniformizar o tamanho das amostras, foi definido o formato representado na figura 12.

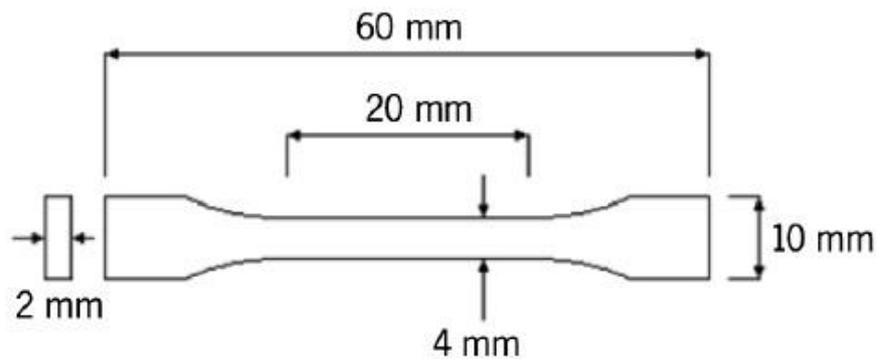


Figura 12. Representação do formato dos provetes em osso. (Thompson, Northmore-Ball & Tanner, 2001).

Sendo assim, foi desenvolvido um molde para reprodução dos provetes no formato proposto. Para a produção do molde, apresentado na figura 13, foi utilizada uma borracha de silicone de reticulação (HB FLEX 901 S) e um catalizador (CL 901 S), ambas da HBQUÍMICA, sendo que a mistura foi realizada a temperatura ambiente numa proporção de 100:5 (g/g) obedecendo à indicação da ficha técnica do produto (anexo 2). De acordo com o fabricante, o material proporciona uma elevada fidelidade de reprodução, baixo grau de dificuldade e alto grau de segurança de utilização, permitindo a obtenção de moldes elásticos perfeitos e com grande resistência mecânica e química.



Figura 13. Molde por vazamento de silicone produzido. Fonte: Autora, 2020.

O elastômero permite a obtenção de moldes de vazamento para o uso de resinas de poliéster, poliuretano, gesso, ceras fundidas, cimentos e outros materiais. Para este material não se torna necessário o uso de desmoldantes no fabrico dos moldes nem na produção das peças moldadas.

3.2.4 Teste de microscopia eletrônica de varrimento das fibras de penas

Com o intuito de caracterizar morfologicamente as plumas de penas de frango foi realizada uma análise através de uma Microscopia Eletrônica de Varrimento (FESEM). O ensaio foi realizado com o modelo Nova NanoSEM 200 apresentado na figura 14. As imagens dos cortes longitudinal e transversal foram obtidas em FESEM no modo STEM. O método de preparação das fibras consistiu em recobri-las com um filme de Au-Pd (ouro-paládio) que possui uma proporção de peso de 80:20 em %. As imagens foram capturadas com uma voltagem de aceleração de 15KV.



Figura 14. Microscópio eletrónico Nova NanoSEM 200. Fonte: <http://www.semat.lab.uminho.pt/Equipamento_1.htm> acessado em: 25 de agosto de 2020.

3.2.5 Avaliação da massa volúmica da fibra

Para avaliação da massa volúmica da fibra foram formadas pastilhas através de um aparelho de compressão hidráulico juntamente com o molde de compressão para pastilhas (figura 15). Para garantir que não houvesse interferência do ar nem da humidade, as penas foram colocadas numa estufa até ao início do teste. Foi definido um peso inicial de fibras (200 mg) a serem inseridas na prensa, sendo que, após o processo de compressão, as pastilhas foram individualmente pesadas e medidas para se chegar ao valor da massa volúmica através das equações de volume de um cilindro (Eq. 1) e de densidade (Eq. 2), onde r é o raio, h é altura, m é a massa e v o volume.

$$v = \pi r^2 h \tag{Eq. 1}$$

$$d = \frac{m}{v} \tag{Eq. 2}$$



Figura 15. Compressor hidráulico Specac e molde de compressão de pastilhas. Fonte: Autora, 2020.

3.2.6 ATR-FTIR

A análise de ATR-FTIR é um método utilizado para obter informações estruturais sobre uma molécula. Isto é possível porque as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibrações específicas, as quais correspondem a níveis vibracionais da molécula. Sendo assim, a amostra é depositada sobre o cristal de ATR e pressionada contra o mesmo, permitindo a análise a partir da radiação infravermelha que passa pela amostra e pelo equipamento sendo traçado um espectro.

As amostras foram analisadas pelo espectrofotômetro IRAffinity-1S Shimadzu (figura 16) com acessório ATR (DIA/KRS-5) e as seguintes configurações: 45 ciclos de varrimento no intervalo de 400 e 4000 cm^{-1} , com uma resolução de 8 cm^{-1} . Foram analisados sete corpos de prova: as amostras das plumas das penas naturais, das penas tingidas com extrato da casca de cebola, as amostras dos compósitos desenvolvidos a partir da resina epóxida em percentagens diferentes e a amostra 100% resina. A intenção dessa análise é confirmar se a fibra de pena possui base proteica, observar se o tingimento das penas com o corante de casca de cebola altera a sua estrutura e analisar a interação da resina com as penas em suas diferentes percentagens.



Figura 16. IRAffinity-1S Shimadzu. Fonte: Autora, 2020.

3.2.7 DSC

A calorimetria diferencial de varrimento é uma técnica de análise térmica baseada na diferença de energia (entalpia) empregue à amostra e a um material de referência. Sendo ambos submetidos a um programa de temperaturas controladas onde as amostras são monitoradas. Analisaram-se sete corpos de prova: as amostras das plumas das penas naturais, das penas tingidas com extrato da casca de cebola, as amostras dos compósitos desenvolvidos a partir da resina epóxida em percentagens diferentes e a amostra 100% resina.

Os ensaios de DSC foram realizados com auxílio de equipamento DSC882e Mettler Toledo (figura 17). Como parâmetro de controlo foi definido um programa de aquecimento/arrefecimento/aquecimento numa faixa de temperatura de 0°C a 300°C obedecendo a uma taxa de aquecimento de 10°C/min. Sendo:

- Aquecido dos 0°C a 100°C;
- Arrefecido dos 100°C a 0°C;
- Aquecido dos 0°C a 300°C;



Figura 17. DSC882e Mettler Toledo. Fonte: Autora, 2020.

3.2.8 TGA

A análise termogravimétrica é um método de avaliação térmica destrutiva que busca averiguar a estabilidade térmica das amostras sob análise. Essa técnica permite observar as variações de massa, normalmente perdas, em função de uma curva. Assim, as amostras demonstram a sua estabilidade quando não ocorre uma grande variação de massa ao longo do aumento da temperatura.

Os ensaios de termogravimétricos foram realizados com auxílio do equipamento STA7200 HITACHI (figura 18), sobre sete corpos de prova: as amostras das plumas das penas naturais, das penas tingidas com extrato da casca de cebola, as amostras dos compósitos desenvolvidos a partir da resina epóxida em percentagens diferentes e a amostra 100% resina. As condições definidas para a realização dos ensaios foi de uma faixa de temperatura de 0°C a 600°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min. e o nitrogênio como gás utilizado para as análises térmicas.



Figura 18. STA7200 HITACHI. Fonte: Autora, 2020.

3.2.9 Ensaio de tração

O ensaio de tração procura analisar a resistência mecânica dos materiais quando sujeitos a um esforço de tração. Como forma de controlar a qualidade do teste, as amostras possuem uma dimensão padrão e são tracionadas gradualmente, com uma taxa de deformação constante, até a quebra da amostra. Este ensaio apresenta como resultado uma curva de tensão-deformação das amostras testadas, sendo possível analisar a tensão máxima, o alongamento e o módulo de elasticidade, assim como, seus desvios padrões.

O valor de tensão (σ) pode ser analisado através da equação 3, onde F é a força aplicada e A é a área da sessão transversal da amostra que deve ser mensurada antes da realização do ensaio.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. 3})$$

A deformação (ε), é avaliada através da equação 4 que considera a divisão entre a variação do comprimento, diferença do comprimento final (l) da amostra e o comprimento inicial (l_0), com o comprimento inicial da amostra (l_0).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (\text{Eq. 4})$$

Através das informações contidas na curva tensão-deformação é possível calcular o módulo *Young* (E) (equação 5) que corresponde a uma reta tangente à tensão pertencente a fase elástica do material. O gráfico resultante apresenta uma curva e a maneira como ela se apresenta é capaz de demonstrar se o material apresenta um comportamento frágil ou dúctil.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Eq. 5})$$

O teste foi realizado através de um dinamómetro H100KPS da marca Hounsfiels Tinius Olsen (figura 19) utilizando uma adaptação da norma ASTM D5035.



Figura 19. Dinamômetro H100KPS da marca Hounsfiels Tinius Olsen. Fonte: Autora, 2020.

As condições definidas para o teste foram: uma célula de carga de 2KN, à velocidade de 2mm/min. e uma distância entre as amarras de 30mm. O teste foi realizado três vezes para cada uma das quatro amostras de compósitos desenvolvidos a partir da resina epóxida em percentagens diferentes de plumas e da amostra 100% resina, resultando em 15 corpos de prova. As amostras receberam nas suas extremidades a aplicação de lixas para evitar o escorregamento nas amarras (figura 20).



Figura 20. Amostras preparadas para o teste de tração. Fonte: Autora, 2020.

3.2.10 Teste de absorção de líquido por imersão

O teste de absorção de líquido por imersão procura determinar a taxa de absorção de líquido pelos plásticos quando imersos, tendo sido realizado a partir de uma adaptação da norma ASTM D570-98, sendo a água destilada substituída por soro fisiológico, pois este tem a composição mais próxima do suor, líquido que estará em maior contacto com as joias. Foram realizados três exemplares de cada uma das cinco amostras de compósitos desenvolvidos a partir da resina epóxida em percentagens diferentes de plumas e da amostra 100% resina, resultando em 15 corpos de prova (figura 21).



Figura 21. Amostras preparadas para o teste de absorção de líquido por imersão. Fonte: Autora, 2020.

A norma define que as amostras devam permanecer numa estufa por 24 horas, em seguida devem ser arrefecidas, devendo determinar-se imediatamente a sua massa. Após esse procedimento, as amostras são imersas em soro fisiológico por um período de 24 horas; em seguida, são retiradas, limpas com papel absorvente e os seus pesos finais registados. Os pesos foram registados por uma balança de precisão ($\pm 0,1$ mg), tendo o teste sido realizado em três unidades de cada amostra. O cálculo para a percentagem de absorção de líquido é obtido através da equação 8, onde W_1 é o peso da amostra seca e W_2 o peso da amostra úmida.

$$\% \text{ de absorção de massa} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100$$

(Eq. 8)

3.2.11 Pesquisa de campo

Com o intuito de mensurar os aspetos qualitativos ligados ao desenvolvimento do produto e a sua aceitação pelos consumidores foi realizada uma pesquisa de campo através da aplicação de um questionário que foi vinculado através da plataforma Google Docs (anexo 3). O questionário foi previamente estruturado e testado. Considerando os objetivos, o questionário apresenta questões de

facto e questões de opinião. Inicialmente são feitas perguntas que buscam caracterizar os entrevistados e, em seguida, são apresentadas questões para identificar algumas preferências e opiniões dos entrevistados, sendo necessário o uso de escalas para a quantificação destes dados de opinião.

O teste do questionário foi realizado com dez entrevistados entre os dias 05 de janeiro de 2020 e 08 de janeiro de 2020. Após a realização do teste, os questionários foram aplicados a uma amostra de 100 entrevistados, no período compreendido entre os dias 08 de janeiro de 2020 e 13 de janeiro de 2020.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a descrição e análise dos resultados obtidos através dos ensaios realizados. Esta análise parte da comparação destes resultados com os dados de estudos já existentes, permitindo conhecer o comportamento do objeto de estudo da pesquisa. Neste capítulo são ainda apresentados resultados de testes referentes à caracterização morfológica dos materiais, resistência à tração, ensaios de absorção de líquido, entre outros utilizados.

4.1 Morfologia das fibras de penas de frango

Foram realizados ensaios de microscopia eletrônica com o intuito de observar a morfologia das penas de frango. As figuras 22, 23, 24 e 25 apresentam as imagens microscópicas de seções diferentes das penas.

A figura 22 apresenta imagens microscópicas das barbas (da parte central e superior das penas) sendo possível observar nela a presença de ganchos, estas ramificações podem auxiliar na sua aderência em misturas empregadas para materiais compósitos, e ainda é possível identificar que os diâmetros variam entre 10,18 μm e 13,85 μm .

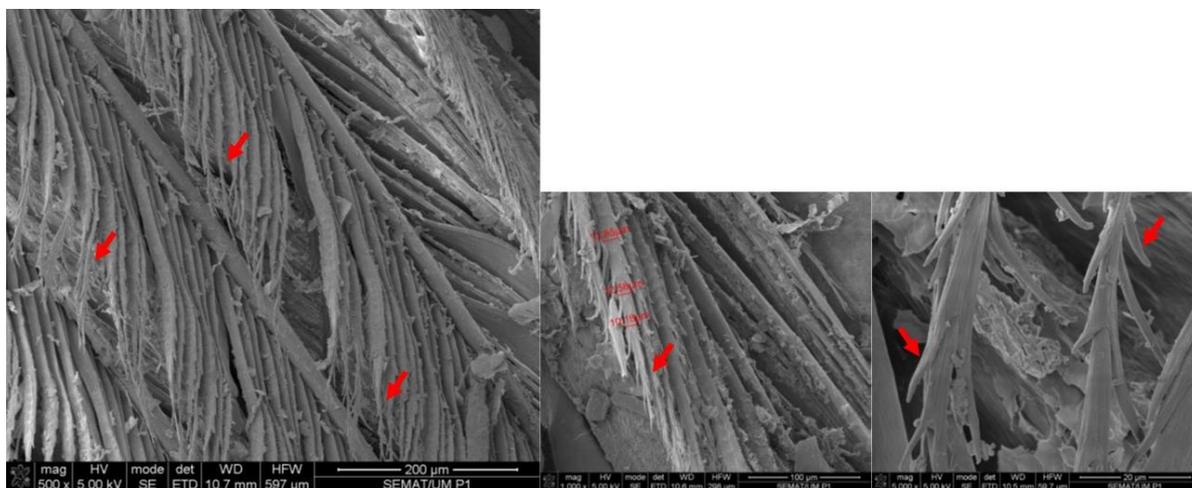


Figura 22. Microscopia eletrônica de varrimento das fibras de penas de frango (barbas). Fonte: Autora, 2020.

A figura 23 corresponde à imagem do corte transversal das plumas e a figura 25 à vista transversal da zona central das plumas da parte inferior da pena. As duas imagens comprovam que a seção da fibra de pena possui um formato achatado e alongado. Na figura 23 é possível observar a presença de micro divisões internas que formam bolsas de ar e se assemelham a favos de mel, essa estrutura proporciona

uma baixa densidade ao material, conforto térmico e acústico. O diâmetro total dessa estrutura mede cerca de 31 μm e suas áreas internas apresentam intervalos entre 3 μm a 10,2 μm .

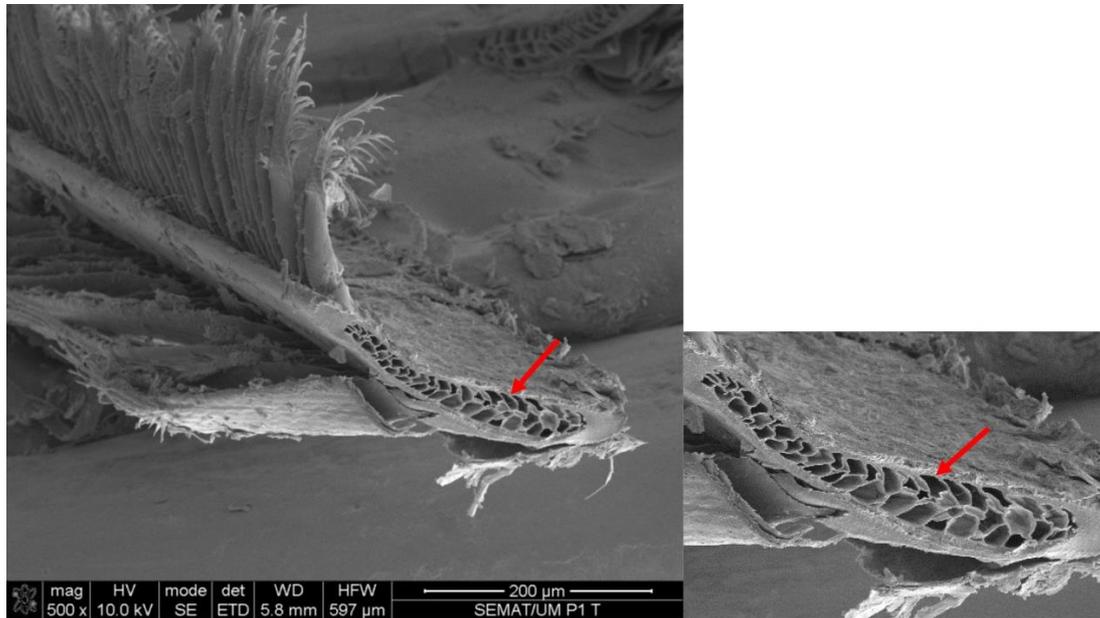


Figura 23. Microscopia eletrônica de varrimento do corte transversal das plumas. Fonte: Autora, 2020.

Conforme pode ser visto na figura 24, as penugens, plumas da parte inferior da pena, apresentam ramificações maiores e com diâmetro irregular. O corte transversal dessa penugem pode ser observado na figura 25, onde apresenta uma zona central oca com cavidade interna em torno de 2,5 μm .

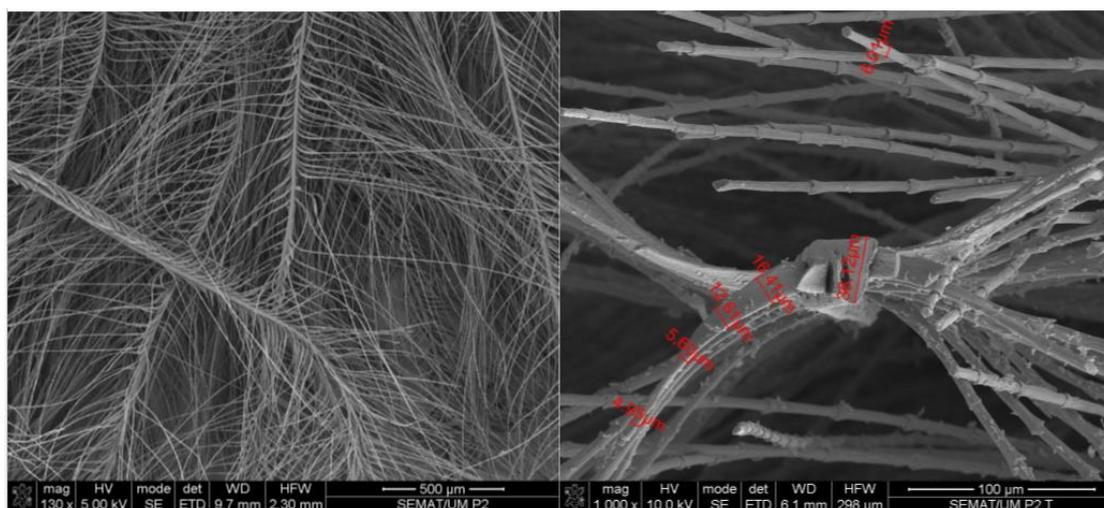


Figura 24. Microscopia eletrônica de varrimento das plumas da parte inferior da pena. Fonte: Autora, 2020.

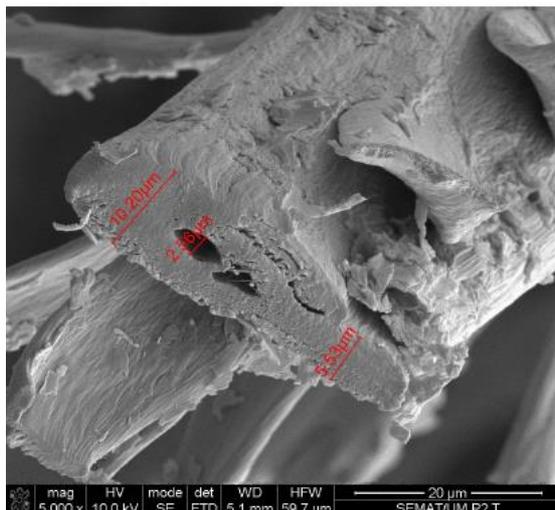


Figura 25. Microscopia eletrônica de varrimento vista transversal da zona central das plumas da parte inferior da pena. Fonte: Autora, 2020.

4.2 Tingimento das fibras

Levando em consideração a composição da fibra e a dificuldade de reprodutibilidade dos corantes naturais, inicialmente foram realizados tingimentos com corantes ácidos para observar o comportamento das fibras de pena e ter uma base comparativa para o resultado a ser obtido no tingimento com corante natural de cascas de cebola. É importante ressaltar que a solidez da cor, um dos requisitos que se torna uma das maiores desvantagens do tingimento natural, não é relevante para este projeto visto que as fibras serão posteriormente impregnadas com resina, evitando assim que o corante fuja da fibra. Na figura 26 são apresentadas as fibras naturais (sem tingimento), as fibras tingidas com casca de cebola e as fibras tingidas com dois tipos de corantes ácidos.



Figura 26. (a) Fibras de penas naturais, (b) Fibras de penas tingidas com corante natural de casca de cebola, Fibras de penas tingidas com corantes ácidos (c) Supralan Yellow 4GL e (d) Supralan Yellow C-2R. Fonte: Autora, 2020.

É possível observar que as fibras foram capazes de receber todos os corantes utilizados correspondendo ao comportamento esperado por fibras proteicas. Avaliando a relação entre a capacidade de absorção do corante pela fibra e a obtenção de um processo de tingimento das fibras com um menor impacto ambiental, podemos considerar que o tingimento natural com casca de cebola se torna a melhor opção para esta aplicação.

4.3 Massa volúmica das fibras de penas de frango

Tal como descrito anteriormente, foram confeccionadas oito pastilhas de fibras de penas naturais e oito pastilhas de penas tingidas com corante de casca de cebola por meio de um processo de prensa (figura 27). O objetivo é verificar qual a massa volúmica da fibra de pena natural utilizada e, saber se o processo de tingimento natural causa interferência na massa volúmica da fibra.



Figura 27. Pastilhas de fibras de penas naturais e tingidas com corante de casca de cebola. Fonte: Autora, 2020.

Através da tabela 4 podemos observar que todas as pastilhas de penas naturais foram preparadas com um volume médio de $0,461 \text{ cm}^3$ variando o peso final de cada amostra. Isso porque todas as amostras apresentaram altura de $0,4 \text{ cm}$ e raio de $0,7 \text{ cm}$. Sendo possível verificar a densidade de cada amostra e chegando a uma massa volúmica média da pena natural de $0,43 \text{ g/ cm}^3$.

Tabela 4. Massa volúmica das fibras de penas de frango.

Amostras	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Volume (cm^3)	Densidade (g/ cm^3)
1	200 mg	200 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,433 \text{ g/ cm}^3$
2	200 mg	197,6 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,427 \text{ g/ cm}^3$
3	200 mg	197,5 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,427 \text{ g/ cm}^3$
4	200 mg	193 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,418 \text{ g/ cm}^3$
5	200 mg	200 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,433 \text{ g/ cm}^3$
6	200 mg	198 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,429 \text{ g/ cm}^3$
7	200 mg	195 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,422 \text{ g/ cm}^3$
8	200 mg	200 mg	$0,461 \text{ cm}^3$	$0,433 \text{ g/ cm}^3$

Fonte: autora, 2020.

Observando a tabela 5 vê-se que as pastilhas de penas tingidas apresentaram um volume diferente das pastilhas de penas naturais mas, entre si, apresentaram todas o mesmo volume de $0,769 \text{ cm}^3$. Apresentando altura de $0,5 \text{ cm}$ e raio de $0,7 \text{ cm}$. Observando os resultados da tabela 5, pode se verificar que o valor médio da massa volúmica da pena muda com o processo de tingimento passando para $0,254 \text{ g/ cm}^3$.

Tabela 5. Massa volúmica de penas de frango tingidas com corante natural de casca de cebola.

Amostras	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Volume (cm ³)	Densidade (g/ cm ³)
1'	200 mg	195 mg	0,769 cm ³	0,253 g/ cm ³
2'	200 mg	190 mg	0,769 cm ³	0,247 g/ cm ³
3'	200 mg	199 mg	0,769 cm ³	0,258 g/ cm ³
4'	200 mg	196 mg	0,769 cm ³	0,254 g/ cm ³
5'	200 mg	194 mg	0,769 cm ³	0,252 g/ cm ³
6'	200 mg	196 mg	0,769 cm ³	0,254 g/ cm ³
7'	200 mg	200 mg	0,769 cm ³	0,260 g/ cm ³
8'	200 mg	196 mg	0,769 cm ³	0,254 g/ cm ³

Fonte: autora, 2020.

A massa volúmica apresentada como resultado do ensaio se mostra ainda menor do que a densidade encontrada na literatura. Os trabalhos citados não especificam se realizaram a avaliação da densidade nas plumas inteiras ou com elas processadas, como as utilizadas neste ensaio, podendo este factor ser a causa da diferença nos valores obtidos. Com isso e considerando que o ensaio manteve condições idênticas para todas as amostras e obteve um comportamento uniforme entre elas, com base nos valores obtidos, é possível concluir que o processo de tingimento natural com casca de cebola reduziu a densidade da fibra.

4.4 Produção do material compósito

Como referido no capítulo três, as amostras foram produzidas a partir da técnica *hand lay-up*³. Sendo produzidas cinco amostras com percentagens diferentes de fibras: 100% resina (amostra controlo), 5% penas/95% resina, 10% penas/90% resina, 20%penas/80% resina, 30%penas/70% resina.

Na figura 28 é possível observar as fibras de penas tingidas com casca de cebola, o processo de impregnação das fibras pela resina epóxida e o composito reforçado com as fibras tingidas ápos o processo de cura. Se pode perceber que há uma leve alteração na tonalidade da fibra resultante do processo de impregnação das fibras pela resina.

³ É um processo de fabricação simples que consiste em aplicar manualmente em um molde aberto a mistura do compósito (matriz e reforço).



Figura 28. (a) fibras de penas tingidas com casca de cebola, (b) processo de impregnação das fibras pela resina e (C) compósito reforçado com fibras de penas tingidas após processo de cura. Fonte: Autora, 2020.

Nas figuras 29 e 30 as amostras são apresentadas na forma em que foram retiradas dos moldes e sem receber qualquer tipo de acabamento. Na figura 29 é possível verificar que o lado em que o compósito mantém contacto com o molde apresenta um bom aspeto visual, sendo possível, dispensar acabamentos futuros como lixamento e polimento. Os versos das amostras (áreas que não mantiveram contacto com o molde), apresentados na figura 30, têm uma menor qualidade quanto ao aspeto estético sendo uma característica da técnica utilizada para a confeção das amostras.

Na amostra de controlo (100% resina) é possível verificar o seu alto brilho e transparência, aspetos que diminuem gradativamente com o aumento da percentagem de penas utilizadas, refletindo-se num aspeto mais rústico, com mais textura e menos brilho.



Figura 29. Compósitos com 0%, 5%, 10%, 20% e 30% de fibras (frente). Fonte: Autora, 2020.



Figura 30. Compósitos com 0%, 5%, 10%, 20% e 30% de fibras (verso). Fonte: Autora, 2020.

4.5 ATR-FTIR

O ATR-FTIR, por meio das bandas características da matriz (resina epóxida) e das fibras de penas de frango (fibras proteicas), buscou confirmar a natureza proteica das fibras utilizadas, observar se o processo de tingimento das fibras causou alguma modificação na fibra e identificar se houve interação entre as duas fases do compósito (as fibras e a resina) em suas diferentes percentagens. Nas figuras 31, 32 e 33 são apresentados os espectros de todas as sete amostras testadas.

Na figura 31 são apresentados os espectrogramas sobrepostos das fibras de penas naturais e das fibras de penas tingidas. Eles apresentam picos capazes de confirmar a natureza proteica desta fibra. Os picos 3275.13 cm^{-1} e 3271.27 cm^{-1} correspondem ao grupo funcional N–H associados a amins presentes nos aminoácidos (Gogoi, Mandal & Maji, 2019; Salehuddin *et al.* 2014). Presente na proteína queratina, o Metil (CH_3) pode ser identificado através dos picos 2962.66 cm^{-1} e 2916.37 cm^{-1} (Gogoi *et al.*, 2019). O ponto 2360.87 cm^{-1} é considerado um pico característico das nitrilas ($\text{C} \equiv \text{N}$) (Salehuddin *et al.* 2014). Os picos 1627.92 cm^{-1} e 1631.78 cm^{-1} caracterizam a presença de uma dupla ligação de carbono ($\text{C}=\text{C}$). Ligações de N–H também podem ser observadas nos pontos 1516.05 cm^{-1} e 1519.91 cm^{-1} e associadas a vibrações de bandas de amins II. A faixa ligadas aos pontos 1238.30 cm^{-1} e 1234.44 cm^{-1} representa ligações C–N e C–O componentes da Amina III. As bandas com número de onda entre $730\text{--}620\text{ cm}^{-1}$ representam Alquil Tióis (C–S) originais do aminoácido cisteína (Gogoi *et al.*, 2019).

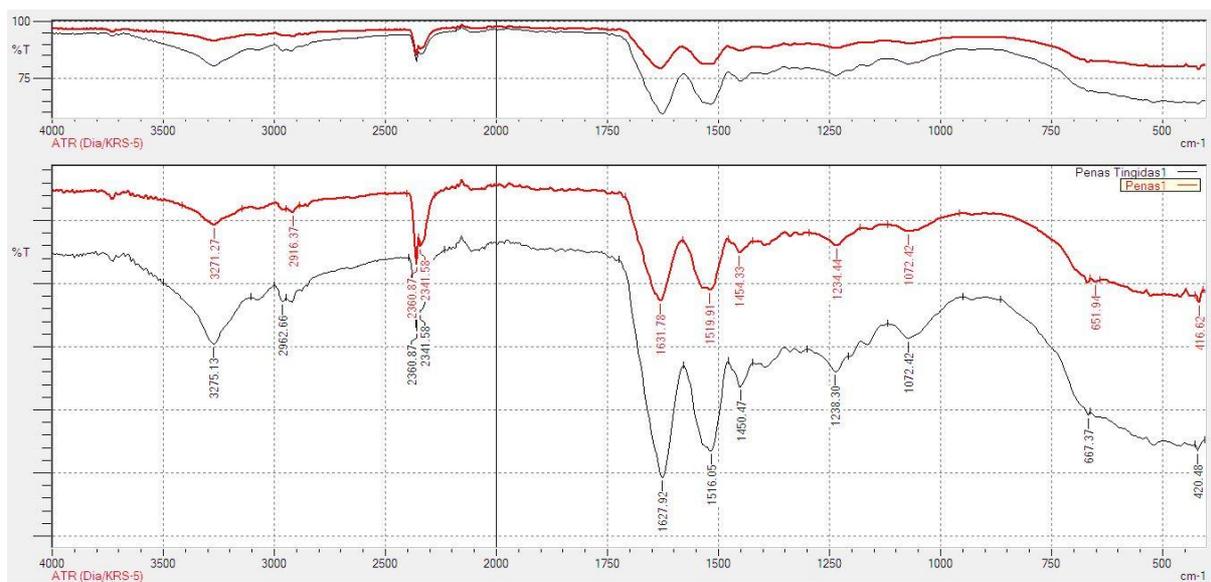


Figura 31. FTIR espectrogramas sobrepostos das fibras de penas naturais e fibras de penas tingidas com corante de casca de cebola.

Fonte: Autora, 2020.

Os espectrogramas da resina epóxida em 100% e dos compósitos, em suas diferentes combinações de percentagens entre resina e fibra, aparecem sobrepostos na figura 32. É importante verificar nestes espectros se existe interação entre a matriz e o reforço.

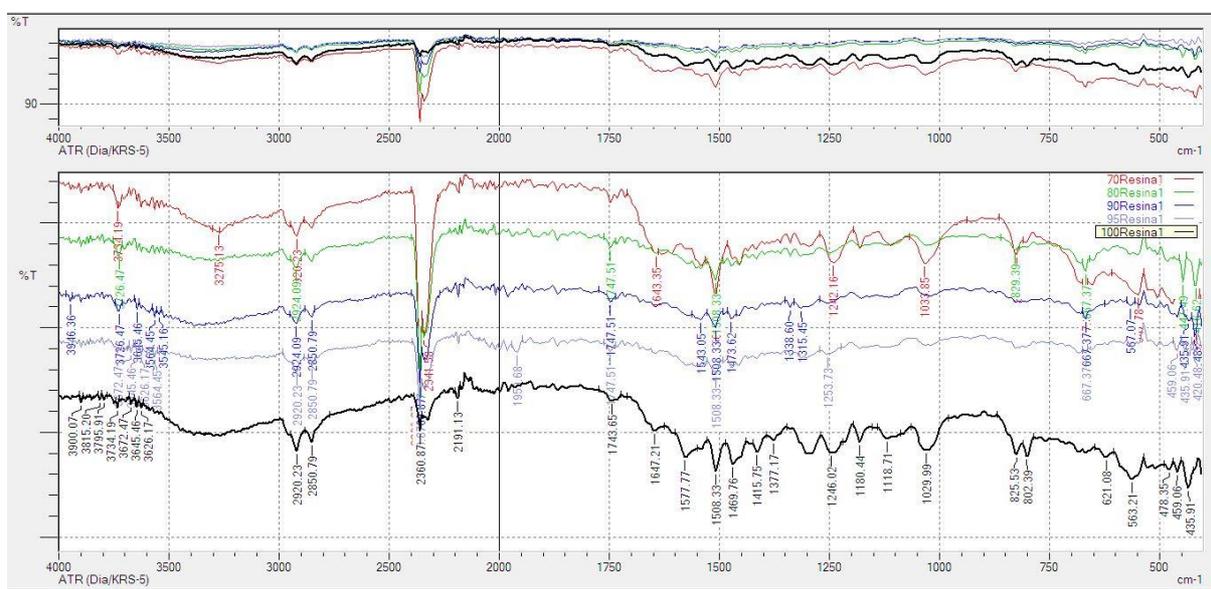


Figura 32. FTIR espectrogramas sobrepostos da resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% fibras de penas tingidas, 90% resina/10% fibras de penas tingidas, 80% resina/20% fibras de penas tingidas, 70% resina/30% fibras de penas tingidas. Fonte: Autora,

2020.

O grupo epóxi apresenta uma de suas bandas características entre 865–785 cm^{-1} , sendo identificado na amostra com 100% resina a presença de dois picos característicos do grupos epóxi: 825.53 cm^{-1} e 802.39 cm^{-1} (Gogoi *et al.*, 2019; Pires, Perreira, Dias Filho & Vecchia, 2005). É importante observar que esses picos não aparecem em todos os espectros da figura 32. Sendo assim, foi realizada uma ampliação dessa zona do espectro (figura 33). A partir dela é possível verificar com maiores detalhes que os compósitos com 95% resina/5% fibras de pena tingidas e 90% resina/10% fibras de penas tingidas não apresentam os grupos epóxi. Sendo assim, nestas percentagens de mistura, é possível afirmar que a interação entre as fases do compósitos alteram as características da resina. Já as amostras em 80% resina/20% fibras de penas tingidas e 70% resina/30% fibras de penas tingidas ainda apresentam um pico dentro da banda característica do grupo epóxi.

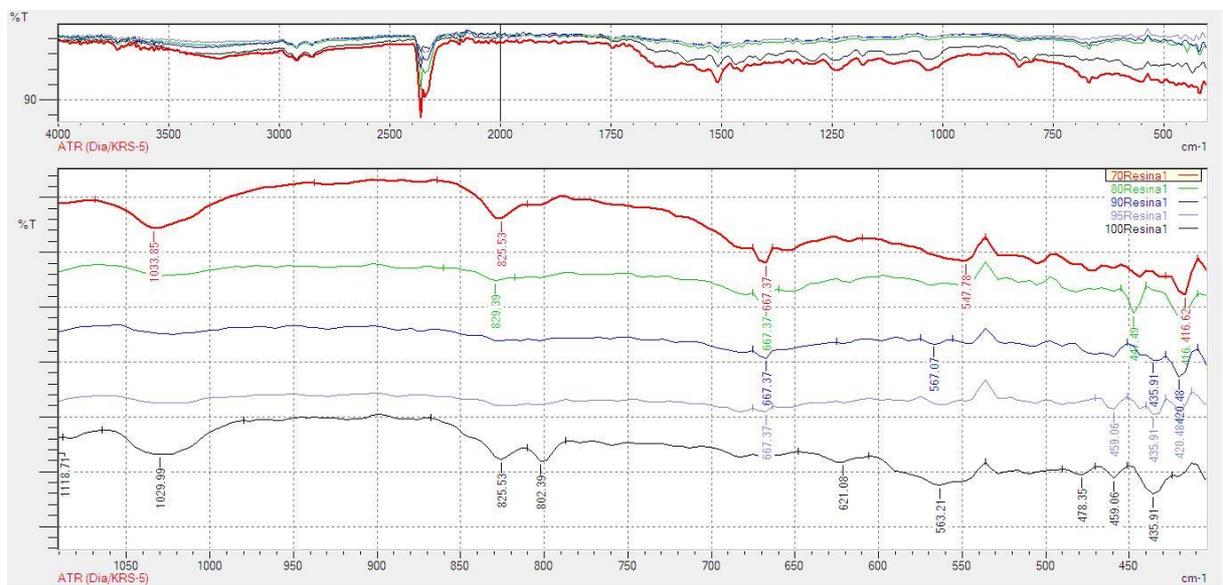


Figura 33. Ampliação do FTIR espectrogramas sobrepostos da resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas. Fonte: Autora, 2020.

Os espectros dos compósitos (figura 32), apresentam os picos citados na avaliação dos espectros das fibras, confirmando a presença das fibras de penas de galinha tingidas nos compósitos. Verificou-se apenas algumas alterações nas intensidades dos picos relacionados às ligações de N–H que antes foram observados nos pontos 1516.05 cm^{-1} e 1519.91 cm^{-1} e com a interação com a resina passou para valores mais baixos em torno dos 1508 cm^{-1} . Também apresentam alterações os pontos 1238.30 cm^{-1} e 1234.44 cm^{-1} que representam ligações C–N e C–O e passaram a apresentar valores mais elevados em torno dos 1246–1253 cm^{-1} .

Sendo assim, foi possível identificar através da análise de FTIR-ATR que:

- As fibras utilizadas para este trabalho possuem fonte proteica;
- As fibras de penas não sofrem alterações no processo de tingimento natural com extrato de casca de cebola;
- Ocorre interação entre as fibras e resina, sendo que, nas amostras com pequena percentagem de fibras a resina acaba por perder seus grupos epóxi;
- Quando comparados os espectrogramas das fibras de penas naturais e o das fibras de penas tingidas com corante natural é possível observar que o processo de tingimento não alterou a estrutura da fibra, porque os picos apresentados em ambos espectros se mantêm nas mesmas faixas de valores, como pode ser identificado na figura 31.

4.6 DSC

O ensaio de DSC permite conhecer o comportamento do material em relação a variação de temperaturas. As curvas dos gráficos e os valores apresentados pelas amostras podem ser visualizados, respetivamente, na figura 34 e tabela 6.

É possível observar pelos resultados que a amostra 1 (fibras de penas) e 2 (fibras de penas tingidas) apresentam dois picos endotérmicos. Esses picos indicam um intervalo de transição de fase sofrido pelas amostras e o ponto máximo deste pico relaciona-se à temperatura de ligação das moléculas (Tg).

Comparando as amostras 1 e 2 verifica-se que não há uma grande variação dos valores apresentados nos intervalos, indicando que o processo de tingimento não causou uma mudança significativa no comportamento térmico da fibra. O primeiro pico das amostras 1 e 2 ocorre aproximadamente entre 40 - 150°C. Aranberri, Montes, Azcune, Rekondo e Grande (2017), ao analisar as penas de frango, identificam um pico bem próximo a este intervalo que varia aproximadamente entre 30 - 130°C e está relacionado a quantidade de água ligada a estrutura da queratina indicando a ocorrência de um processo de desnaturação. O segundo intervalo de transição identificado no ensaio aponta a temperatura de decomposição das fibras que, em média, inicia aos 220°C e finaliza aos 240°C. Bessa *et al.* (2017) indicam valores bem próximos para a decomposição das fibras de penas com início aos 220°C e fim aos 237°C.

A amostra 3 (100% resina) apresenta uma curva com dois picos endotérmicos: o primeiro entre 60 - 71°C e o segundo entre 102 - 145°C. Os compósitos analisados foram formados pela mistura entre a resina e diferentes porções de fibras de penas tingidas. É importante observar, através da tabela 6, que as amostras 2 e 3 apresentam intervalos de temperatura que podem se sobrepor nas curvas DSC dos compósitos (Aranberri *et al.*,2017).

As amostras 4 (5% penas/95% resina) e 5 (10% penas/90% resina) apresentam apenas um pico endotérmico que ocorre por volta de 60 - 70°C. Esse comportamento pode ter ocorrido pelo facto dessas amostras terem perdido o grupo epóxi, como foi citado na análise do FTIR, e pela percentagem de penas ser muito baixa para conseguir expressar uma mudança térmica no compósito. Já as amostras 6 e 7 apresentam três picos endotérmicos que se colocam entre as faixas de transição apresentadas pelos materiais em separado (amostras 2 e 3). Podendo se verificar uma sobreposição dos valores no segundo pico e um crescimento da Tg nas amostras com maior percentagem das fibras de penas. Dessa forma, se pode considerar que a inserção das fibras causa uma melhora na resistência térmica (Bessa *et al.*, 2017). Tendo isto em conta, a amostra com 30% de penas/70% resina apresenta o melhor desempenho quando comparada às amostras dos compósitos.

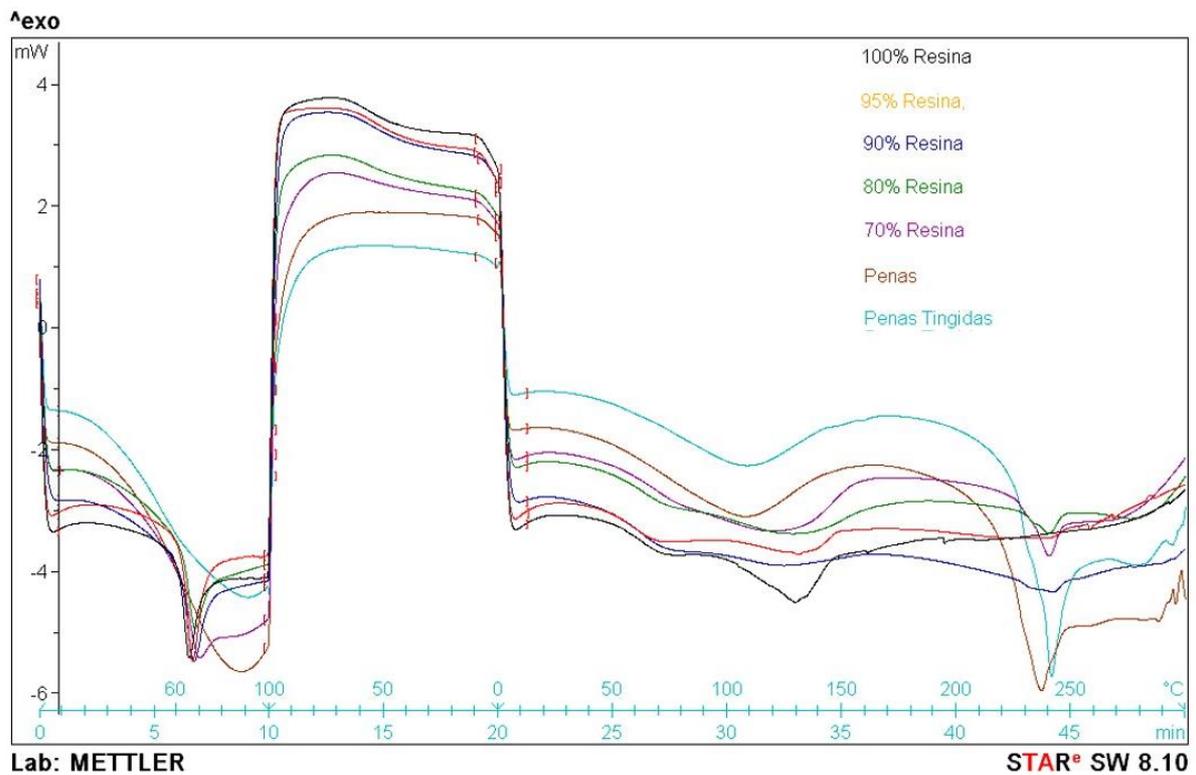


Figura 34. Curvas DSC das fibras de penas, fibra de penas tingidas, resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas. Fonte: Autora, 2020.

Tabela 6. Resultados dos gráficos DSC.

Amostras	Composição		Intervalos de transição (°C)	Pico máximo (°C)
1	100% Penas	1ª pico	44 - 147°C	105°C
		2ª pico	222 - 245°C	236°C
2	100% Penas tingidas com casca de cebola	1ª pico	48 - 150°C	107°C
		2ª pico	234 - 249°C	241°C
3	100% Resina	1ª pico	60 - 71°C	65°C
		2ª pico	102 - 145°C	129°C
4	95% Resina 5% fibras de penas tingidas	1ª pico	62 - 73°C	66°C
5	90% Resina 10% fibras de penas tingidas	1ª pico	61 - 75°C	67°C
6	80% Resina 20% fibras de penas tingidas	1ª pico	62 - 76°C	67°C
		2ª pico	55 - 163°C	129°C
		3ª pico	227 - 246°C	240°C
7	70% Resina 30% fibras de penas tingidas	1ª pico	62 - 78°C	69°C
		2ª pico	51 - 155°C	117°C
		3ª pico	230 - 246°C	240°C

Fonte: Autora, 2020.

4.7 TGA

A estabilidade térmica é avaliada através do ensaio de TGA. Na figura 35 são apresentados os resultados obtidos no ensaio por meio das curvas TGA, enquanto que a Tabela 7 apresenta o resumo dos valores obtidos. Tal como é possível observar na figura 35, as fibras cruas e as fibras que passaram pelo processo de tingimento apresentam curvas visualmente distintas. Analisando as curvas com auxílio da tabela 7, composta pelos principais valores dos gráficos TGA das sete amostras analisadas, é possível verificar que a perda de peso inicial das duas ocorre aos 100°C indicando eliminação de humidade (Gogoi *et al.*, 2019; Aranberri *et al.*, 2017). A maior diferença observada encontra-se nos pontos de maior perda de massa: a amostra de fibras cruas perde 16% de massa aos 520°C e a amostra de fibras tingidas perde 50% de massa aos 333°C. Ainda assim, ambas as amostras iniciam o processo de degradação aos 200°C

e permanecem com 19% de massa residual aos 600°C. Sharma et. al (2017) aponta esse comportamento em sua análise termográfica das fibras de penas de frango e micropartículas de queratina. O autor observa que a decomposição térmica começa lentamente aos 150°C e acelera acima dos 220°C com uma notável perda de massa. De acordo com Aranberri *et al.* (2017), Sharma *et. al* (2017), e Gogoi *et al.* (2019), isso ocorre devido a dissolução das ligações de dissulfeto que se dão entre 220 e 400°C ocorrendo a eliminação do H₂S da cisteína presente na fibra de pena de frango. Os autores afirmam ainda que a partir dos 400°C ocorre a degradação parcial da Queratina.

Ao comparar as curvas da amostra 100% resina com a curva da amostra de penas tingidas é possível observar que as suas faixas de temperatura de degradação são muito próximas, o que reflete na perda de massa em simultâneo nos materiais compósitos formado pela mistura entre estes dois materiais. Sendo assim, ao comparar as curvas TGA da amostra controlo (100% resina) e dos compósitos reforçados com as fibras de penas tingidas, nota-se que as curvas apresentam formatos semelhantes indicando essa perda de massa em simultâneo. Onde a primeira perda de peso ocorre abaixo dos 150°C e havendo uma notável perda de peso entre 220-400°C.

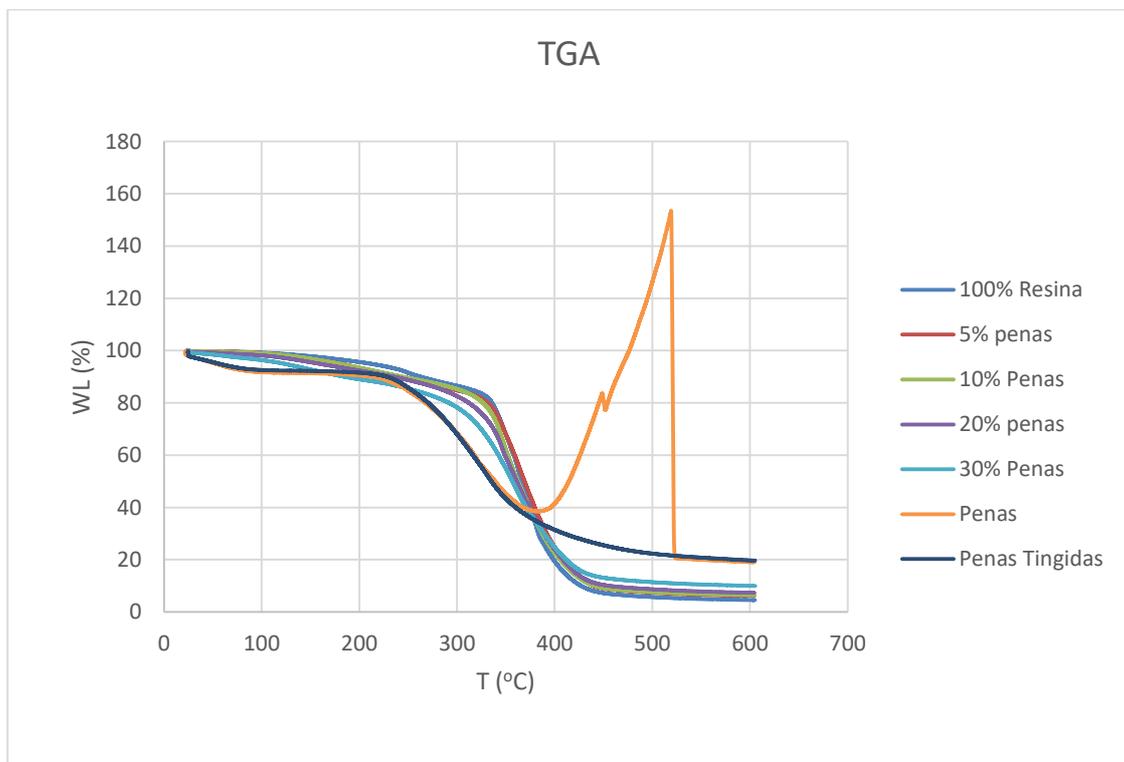


Figura 35. Curvas TGA das fibras de penas, fibra de penas tingidas, resina em 100% e dos compósitos em 95% resina/5% penas tingidas, 90% resina/10% penas tingidas, 80% resina/20% penas tingidas, 70% resina/30% penas tingidas. Fonte: Autora, 2020.

A partir da tabela 7, é possível identificar com maior facilidade que existe uma redução da temperatura inicial de degradação proporcionalmente ao aumento da percentagem de penas. De acordo com Aranberri et. al (2017) isso ocorre pela maior presença de queratina na composição. Ao verificar a percentagem de resíduo aos 600°C é possível apontar que o aumento da percentagem de penas aumenta a taxa de massa residual. Este comportamento se dá pelo facto da matriz polimérica finalizar o seu processo de degradação a temperaturas mais baixas que as fibras de penas (Aranberri et. Al, 2017; Sekhar, Pandurangadu & Rao, 2014).

Tabela 7. Resumo dos valores obtidos no ensaio TGA.

Amostras	Composição	Temperaturas iniciais de decomposição (°C)	Temperatura de decomposição (°C) em diferentes perdas de massa (%)				Resíduo à temperatura de 600°C (%)
			20%	40%	60%	80%	
1	100% Penas	200	264	315	363	523	19
2	100% Penas tingidas com casca de cebola	200	267	314	356	541	19
3	100% Resina	300	334	357	374	397	4
4	95% Resina 5% fibras de penas tingidas	300	327	357	378	406	6
5	90% Resina 10% fibras de penas tingidas	300	323	351	372	403	6
6	80% Resina 20% fibras de penas tingidas	250	307	347	372	406	7
7	70% Resina 30% fibras de penas tingidas	200	285	341	369	409	10

Fonte: Autora, 2020.

É possível concluir que todas as amostras apresentam estabilidade térmica até os 200°C, mas considerando que “A decomposição precoce, observada pela menor temperatura do início da degradação, implica menor estabilidade térmica e isso pode ser usado para comparar o desempenho térmico de vários compósitos” (Azwa, Yousif, Manalo & Karunasena, 2017, p.18), pode observar-se que a integração da fibra reduz a resistência do material às temperaturas de degradação. Dessa forma, podemos considerar que a amostra com 10% penas/90% resina apresenta o melhor desempenho quando comparadas às amostras dos compósitos, visto que a amostra mantém a temperatura inicial de decomposição igual as amostras 100% resina e 5% penas/10% resina.

4.8 Ensaio de Tração

Na figura 36 podem ser consultadas as curvas de tensão-deformação obtidas nos ensaios realizados aos três provetes de cada amostra.

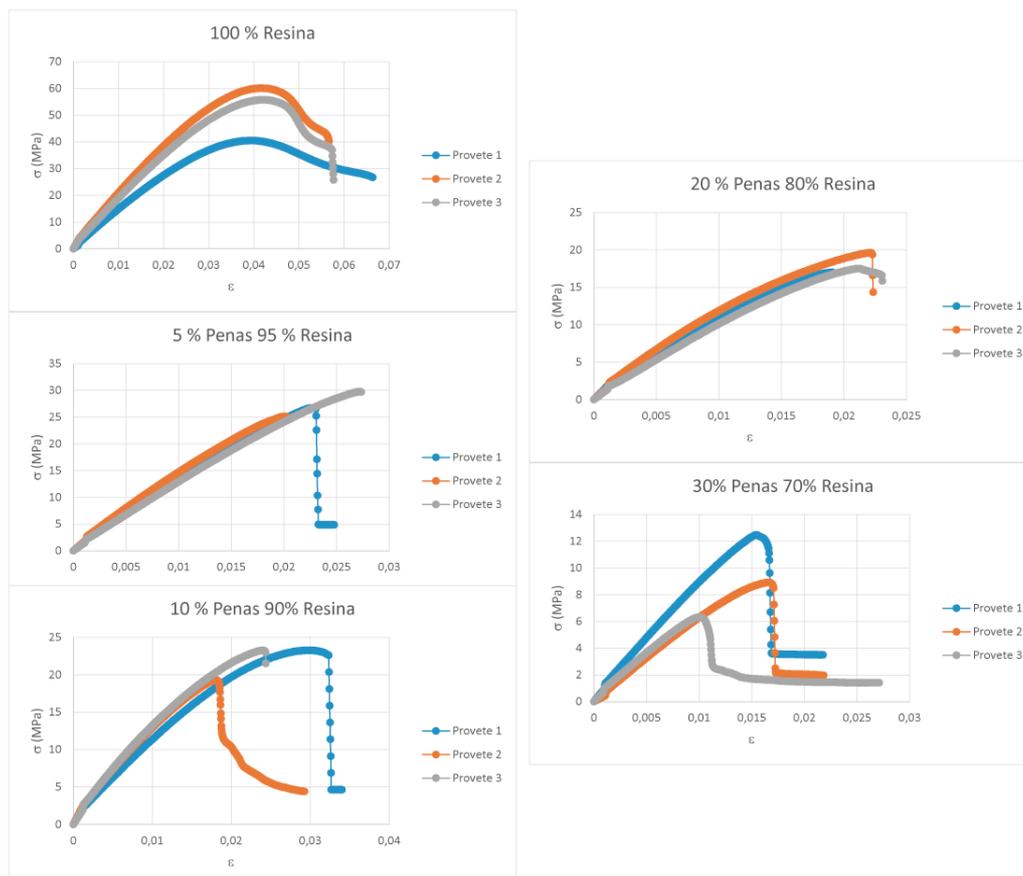


Figura 36. Curvas tensão-deformação das 5 amostras. Fonte: Autora, 2020.

A partir destas curvas é possível analisar a tensão máxima obtida para cada provete das diversas amostras, sendo que o módulo de elasticidade pode ser calculado através do declive da curva entre 0,001 e 0,003 de deformação. O resultado médio de cada amostra e o respetivo desvio padrão pode ser consultados na tabela 8. Estes valores são apresentados graficamente nas figuras 37 e 38.

Tabela 8. Tabela comparativa da média da tensão máxima e do módulo de elasticidade.

% Penas	σ Max (MPa)		E (GPa)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
0%	52,06	8,40	1,87	0,16
5%	27,2	1,92	1,44	0,14
10%	21,93	1,85	1,30	0,15
20%	18,04	1,14	1,10	0,15
30%	9,23	2,52	0,75	0,10

Fonte: Autora, 2020.

Pelos gráficos apresentados nas figuras 37 e 38 pode ser observado uma diminuição de ambas as propriedades à medida que a percentagem de plumas de frango aumenta. Os resultados mostram que para um aumento de 5% de penas os valores de tensão máxima e do módulo de elasticidade caíram aproximadamente 48 e 22 (%), respetivamente, quando comparadas com a amostra controlo (100% resina).

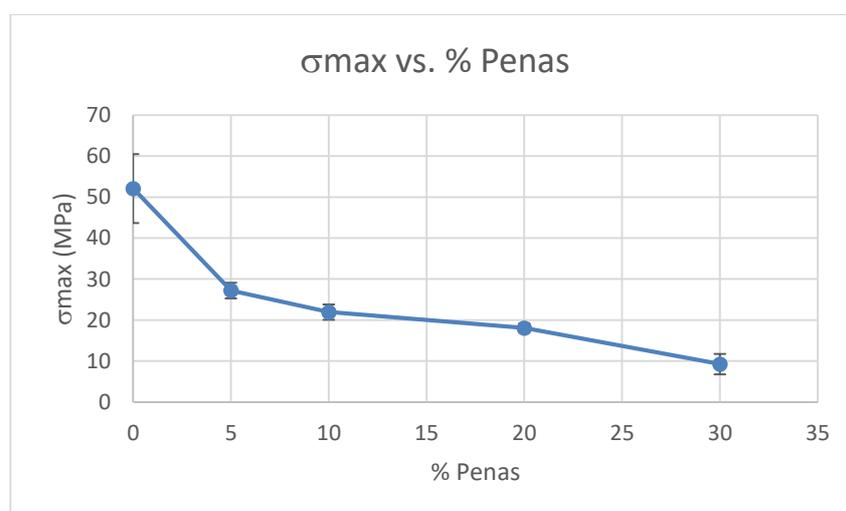


Figura 37. Gráfico das médias de tensão máxima nas amostras em função da percentagem de penas. Fonte: Autora, 2020.

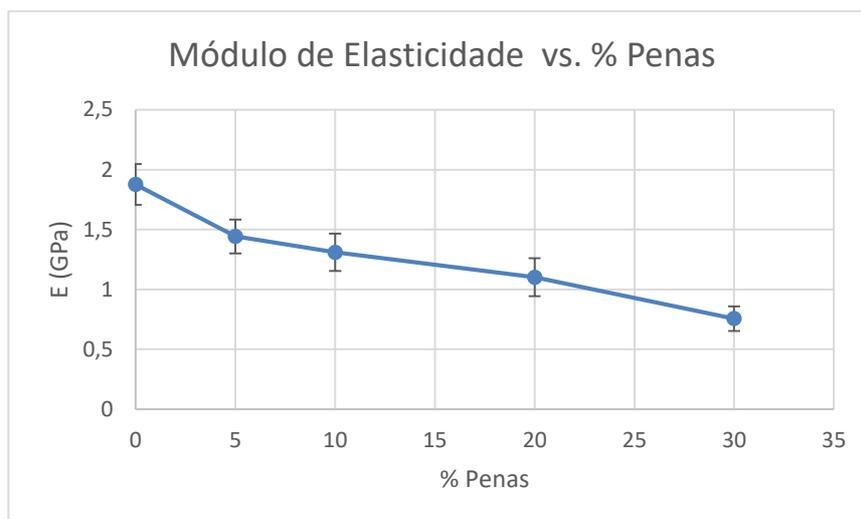


Figura 38. Gráfico das médias do módulo de elasticidade (E) nas amostras em função da percentagem de penas. Fonte: Autora, 2020.

Esse comportamento inversamente proporcional entre a tensão máxima e a incorporação de fibras revela uma baixa adesão entre as fibras e a matriz. Oladele et. al (2014) afirma que uma impregnação apropriada das fibras é um aspeto determinante para a força de ligação interfacial. Sendo assim, fica fácil compreender que quanto menor a porção de resina em relação as penas, maior a dificuldade de impregnar todas as fibras de maneira satisfatória. No seu trabalho Uzun et. al (2011) relata que a redução de algumas propriedades mecânicas era esperada com aumento das percentagens de fibras de penas de frango, tanto pela falta de adesão entre as fibras e a matriz, quanto por se tratarem de fibras curtas e sem orientação.

Dessa forma, com base nos resultados apresentados, verifica-se que a amostra com 5% de penas possui o melhor comportamento dentre as amostras com reforço fibroso, por apresentar valores mais elevados tanto na tensão máxima quanto no módulo de elasticidade.

4.9 Teste de absorção de líquido por imersão

Os dados coletados no teste de absorção por imersão por este estudo, norma ASTM D570 – 98, são apresentados no gráfico (figura 39). É possível verificar que a absorção de líquido cresce proporcionalmente ao aumento das percentagens de fibras incorporadas ao material e, conseqüentemente, uma maior presença de grupos de aminoácidos que interagem com as moléculas de água (Jaya et. al, 2018). A amostra de controlo (100% resina epóxida) não apresentou absorção de humidade justamente pela ausência dos grupos de aminoácidos. Quando se observa o comportamento

entre as amostras com incorporação de fibras de penas é possível verificar que a taxa de absorção cresce gradativamente entre as amostras com 5% penas/95% resina, 10% penas/90% resina e 20% penas/80% resina e depois há um salto de crescimento da taxa de absorção entre a amostra com 20% penas/80% resina e a amostra com 30% penas/70% resinas fibras de penas. Essa potencialização do aumento da taxa de absorção de água, na amostra com 30% de fibras, ocorre pela associação da maior presença de grupos de aminoácidos e a diminuição da adesão entre as fibras e a resina. Considerando que a impregnação das fibras se torna mais difícil com o aumento da percentagem de penas na mistura.

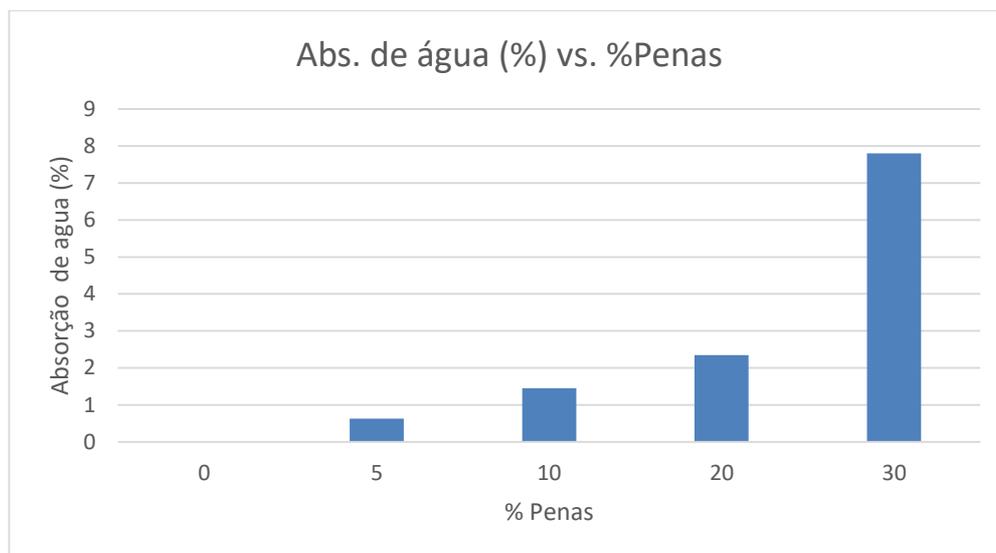


Figura 39. Resultados obtidos no teste de absorção de líquido por imersão. Fonte: Autora, 2020.

Considerando então os resultados apresentados, é possível identificar a amostra com 5% penas/95% Resina com o melhor comportamento dentre as amostras com reforço fibroso, por apresentar a menor taxa de absorção de água: 0,63% do seu peso inicial.

4.10 Pesquisa de campo

Utilizando um questionário online com 15 perguntas foram obtidas respostas que permitiram a análise quanto ao perfil dos entrevistados e suas opiniões sobre o produto proposto. O questionário foi aplicado entre os dias 08 e 13 de janeiro de 2020, através da plataforma Google Docs, e contou com a participação de 100 entrevistados. Essa ferramenta apresenta grande potencialidade para obtenção de informações sobre o público alvo, como pode ser observado pela pesquisa de Carlota (2015) que também fez uso de um questionário online para identificar as características de consumo do seu público alvo.

A amostra da pesquisa se constitui por 70% de portugueses, 29% de brasileiros e 1% italiano. Destes 85% são do sexo feminino e 15% do sexo masculino. A maior parcela de entrevistados possui entre 24 e 39 anos e constituem 44% da amostra, em seguida, 33% da amostra se faz por pessoas de 23 anos ou menos, 16% de entrevistados se encontram entre os 40 e 54 anos e 8% entre os 55 e 72 anos.

Os entrevistados foram questionados quanto a frequência com que costumam comprar joias e 44% responderam que costumam comprar com uma frequência entre um e dois anos, 30% costumam comprar entre seis meses e um ano, 11% costumam comprar joias entre três e seis meses, 2% costumam comprar entre um e três meses e os 13% restante optaram pela opção “outros” e se dividiram entre respostas como: “raramente”, “entre cinco e cinco anos”, “em datas comemorativas”, etc.

Quando questionados sobre o ciclo de vida de uma joia, 41% dos entrevistados disseram acreditar que uma joia possuía mais de 20 anos de ciclo de vida e 19% acreditam que elas possuem entre 11 e 20 anos. Dessa forma, 60% dos entrevistados acreditam que uma joia possui, pelo menos, dez anos de ciclo de vida. Isto comprova que o consumidor tem consciência e corrobora a teoria de Stralio (2009) de que as joias possuem um ciclo de vida longo.

Os entrevistados foram questionados quanto a importância que davam aos seguintes requisitos: Aspecto Visual, Durabilidade e Resistência ao risco e ao impacto. A intenção era mensurar se a preocupação com estes aspectos no processo de desenvolvimento do produto é reconhecida e valorizada pelos consumidores. Para conseguir uma mensuração foi aplicada uma escala de Likert de 1 a 5. Considerando 1- Nada importante e 5- Muito importante. Os três requisitos foram considerados muito importantes pela maioria dos entrevistados. O aspecto estético foi o requisito com maior ênfase porque 70% dos entrevistados o consideraram como “muito importante”.. A resistência ao risco e ao impacto apresentam 60% das respostas como Muito importante. E o requisito durabilidade apresenta 59% das respostas como Muito importante.

Foram expostas ainda aos entrevistados cinco variáveis ligadas, principalmente, ao aspecto estético: Brilho, Textura, Cor, Forma e Material e foi solicitado que eles avaliassem o peso de cada uma destas variáveis para que as joias lhes sejam atraentes. Para conseguir uma mensuração também foi aplicada uma escala de Likert de 1 a 5. Considerando 1- Nada importante e 5- Muito importante. Todas as variáveis apresentadas foram classificadas entre Muito importantes e Importante pelos entrevistados. Sendo a variável Forma a que conseguiu maior destaque por possuir 56% de entrevistados que a classificaram como Muito importante. Já as variáveis Brilho e Textura, apesar de conseguirem respectivamente 33% e 48% de respostas como Muito importante, apresentaram 21% das respostas como variáveis neutras.

Com o intuito de avaliar se os entrevistados consideram pesquisa e proposta de novos materiais, design e sustentabilidade valores agregados aos produtos e se levam em consideração estes pontos ao escolherem seus produtos foram realizadas quatro perguntas dicotômicas (apenas duas opções de respostas: sim ou não). Um resumo dos resultados obtidos com estas perguntas é apresentado na tabela 9. Ao observar os resultados fica claro que os entrevistados valorizam e consideram estes aspectos no processo de avaliação. Dando suporte para o objetivo deste trabalho e indo de encontro com as tendências de mercado que apontam a valorização de produtos sustentáveis a nível económico, cultural e ambiental (Tesfaye *et al.*, 2017; IBGM, 2005).

Tabela 9. Resumo dos resultados das perguntas dicotômicas sobre pesquisa e proposta de novos materiais, design e sustentabilidade como valores agregados ao produto.

Perguntas	Sim	Não
Na sua perspectiva o fato de um produto apresentar uma preocupação com o meio ambiente agrega valor ao produto?	91%	9%
Você paga ou pagaria a mais por produtos com uma preocupação com o meio ambiente?	73%	27%
No processo de compra de um produto você valoriza produtos com design, que contenham essência e carregam significados?	84%	16%
No processo de compra de um produto você valoriza produtos que apresentem pesquisa e proposta de novos materiais?	80%	20%

Fonte: Autora, 2020.

Apresentaram-se então aos entrevistados imagens das cinco amostras produzidas e foram realizadas duas perguntas: uma sobre o aspecto estético e outra acerca da textura das amostras, solicitando aos entrevistados que as classificassem em ordem decrescente de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente). Nas tabelas 10 e 11 são apresentados os resultados obtidos nas duas perguntas.

Tabela 10. Respostas a pergunta: "Análise o aspecto estético das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)"

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
1º	66%	28%	5%	1%	6%
2º	17%	54%	23%	4%	0%
3º	7%	14%	64%	8%	5%
4º	4%	2%	5%	82%	7%
5º	6%	2%	3%	5%	82%

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 11. Respostas a pergunta: "Análise a textura das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)"

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
1º	69%	21%	7%	1%	7%
2º	12%	64%	14%	8%	1%
3º	11%	9%	68%	9%	4%
4º	3%	4%	10%	77%	6%
5º	5%	2%	1%	5%	82%

Fonte: Autora, 2020.

É possível observar que, ao avaliarem o aspecto estético em geral, assim como, ao avaliarem a textura, a maior parte dos entrevistados classificaram a Amostra 1, que não apresenta penas em sua composição, como a mais atraente e a Amostra 5, que apresenta a maior proporção de penas em sua composição, como a menos atraente. Sendo assim, a atração estética é inversamente proporcional a maiores percentagens de penas.

Por fim, quando questionados se utilizariam uma joia contemporânea que apresentasse em sua composição um material reforçado com fibras de penas de frango, 51% dos entrevistados responderam que não e 49% responderam que sim demonstrando assim um certo equilíbrio entre as respostas. Considerando que novos produtos ao serem inseridos no mercado passam por um processo de difusão, onde os consumidores inovadores (primeiros adotantes) que são sensíveis a inovações e estão dispostos a correrem riscos ao conhecer novos produtos, não são a faixa mais significativa de consumidores

havendo uma lacuna entre eles e a grande massa de consumidores (Primeira maioria e Maioria tardia) que compõem a parcela mais atrativa por serem a maior fonte de faturamento e que exigem um maior investimento em marketing para transmitir maior segurança a essa parcela mais pragmática (Bicalho,2018; Moore, 2006; Rogers, 1995). Logo, a aceitação por parte de 41% dos entrevistados é significativa para o estudo.

Desta forma, é possível verificar que apesar dos consumidores, na sua grande maioria, afirmarem a valorização da sustentabilidade, quando avaliam o aspecto estético das amostras tendem a sentir-se atraídos pelas amostras com aspecto menos natural, com mais brilho e menos textura. Tentando então ponderar essa divergência consideramos que a amostra com 10% de penas/90% Resina (Amostra 3) seria a amostra escolhida a partir da análise desta pesquisa de campo.

4.11 Considerações

Nesse ponto do capítulo quatro será realizada uma análise conjunta de todos os testes laboratoriais e da pesquisa de campo com o objetivo de apontar qual a amostra apresenta o melhor desempenho considerando o objetivo do trabalho. Com o intuito de facilitar esta escolha será utilizada uma matriz de seleção. Para isso foram definidos os requisitos a serem avaliados, respeitando o objetivo do trabalho: Aspecto estético/Aceitação do consumidor, Sustentabilidade e Durabilidade/Aspectos técnicos. Dentro destes requisitos foi discriminado que pontos seriam avaliados como se pode ver na tabela 12.

Tabela 12. Matriz de Seleção da melhor amostra de compósitos.

PESO	REQUISITOS	100% resina	5% penas	10% penas	20% penas	30% penas	
31%	ASPEITO ESTÉTICO/ ACEITAÇÃO DO CONSUMIDOR	BRILHO, TEXTURA, COR, FORMA, MATERIAL	5	4	3	2	1
45%	SUSTENTABILIDADE	INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO (FIBRA)	1	2	3	4	5
8%		ABSORÇÃO A HUMIDADE	5	4	3	2	1
8%	DURABILIDADE/ ASPETOS TÉCNICOS	RESISTENCIA AO CALOR	3	2	4	3	4
8%		RESISTENCIA À QUEBRA	5	4	3	2	1
			3,04	2,94	3,08	2,98	3,04

Fonte: Autora, 2020.

Cada requisito recebeu um peso (%), a fim de demonstrar quais são os mais relevantes para o trabalho. Foi utilizada uma escala Likert de 1 a 5 (1- muito ruim e 5 - muito bom) para preencher a matriz. O requisito que recebeu maior peso (45%) foi a sustentabilidade, já que 91% dos entrevistados afirmaram que a preocupação com o meio ambiente agrega valor ao produto e que o objetivo do trabalho é propor um produto com carácter sustentável. Em seguida, o aspeto estético recebeu 31% de peso levando em conta que 70% dos entrevistados consideraram este requisito como Muito importante, enquanto aspetos ligados ao desempenho técnico e durabilidade foram considerados Muito importantes por 59/60% dos consumidores. Logo, os 24% restantes foram distribuídos igualmente entre os três aspetos avaliados em laboratório e que estão diretamente ligados à durabilidade e qualidade do produto.

Entende-se que quanto maior a percentagem de penas no produto maior o seu carácter sustentável, assim como, quanto maior a percentagem de penas maior o seu aspeto opaco/rústico. Tendo em conta esse contexto e considerando que a sustentabilidade possui o maior peso, mas também que existe a necessidade de ponderar a aceitabilidade estética dos consumidores e os aspetos técnicos, foi

preenchida a tabela 12, nos permitindo concluir que a amostra com 10% de penas/90% resina apresenta o melhor desempenho para aplicação deste estudo. Esse resultado não exclui a possibilidade de utilização das amostras com maior percentagem de penas, 20% penas/80% resina e 30% penas/70% resina, visto que as amostras não apresentam diferenças consideráveis, levando em conta os resultados obtidos.

5. DESENVOLVIMENTO CONCEPTUAL DO PRODUTO

A geração de conceitos é um estágio muito importante que envolve a determinação da função, forma, valor, estética e, até mesmo, o carácter simbólico do produto. A adequação, coerência e o carácter inovador do conceito são pontos-chaves para o sucesso do produto no mercado. A criação de um conceito forte é uma ferramenta para atender às exigências do consumidor e apresentar um diferencial entre o produto elaborado e os demais (Pires, 2014). O processo de desenvolvimento conceptual deste trabalho é apresentado neste capítulo e segue a metodologia de desenvolvimento do produto: *design thinking*.

5.1 Público alvo

O primeiro passo é entender o público-alvo e as suas necessidades. Kotler (2017), ao falar sobre as mudanças que vêm ocorrendo no mundo e que afetam diretamente no relacionamento entre as empresas e consumidores, revela que os antigos padrões da civilização individuais e exclusivos, a nível político, económico, sócio-cultural e religioso, vêm sendo substituídos por padrões sociais mais horizontais e inclusivos. Sendo a internet apontada como responsável por estas mudanças, considerando que ela proporciona uma maior conectividade e transparência.

Refosco, Mazzoti, Sotoriva e Broega (2011) afirmam que essa quantidade de informações disponíveis gera consumidores mais conscientes e preocupados com problemas sociais e valores éticos. De acordo com Rech e Sousa (2009), esses consumidores constituem um novo perfil de público que é intitulado LOHAS (*Lifestyle of Health and Sustainability*) e têm um estilo de vida direcionado à saúde e ao desenvolvimento social, permitindo assim, que sua forma de viver e seus valores conduzam à escolha dos produtos que consomem. Isso porque “o sistema de signos e símbolos vinculados aos objetos nunca foi tão forte e representativo da ordem social e tão emaranhado na coletividade” (Baudrillard, 1981 apud. Faggiani, 2016, p.23). Logo os produtos de moda, de acordo com Shulte e Lopes (2008), são capazes de comunicar e expressar características do indivíduo e de seu contexto social permitindo que o consumo se torne, para os consumidores, uma ferramenta para construção de identidade.

Codina (2005) afirma que a joalheria contemporânea busca valores na arte conceptual tendo a ideia e o valor artístico como o factor de maior importância. O objeto joia, no contexto da joalheria contemporânea, evidencia atitude, identidade e personalidade do autor e do sujeito que usa a peça (Mercaldi & Moura, 2017). Considerando que se trabalha com o conceito de contemporaneidade fica difícil criar um perfil detalhado e restrito de público-alvo. Ainda mais quando Bauman (2001) fala da fluidez, criando uma associação com a velocidade das mudanças e como ela possibilita “liberdade”. Dessa forma determina-

se que as joias a serem desenvolvidas têm uma inclinação ao público feminino e, por apresentarem um grande valor agregado refletindo no valor de venda da peça, acabam por se destinarem a pessoas com grande poder de compra. Para além disso, o alvo acaba sendo pessoas que valorizam design, a história e os conceitos ligados à peça, em especial, o investimento em produtos sustentáveis.

5.2 Análise da concorrência

Com o público alvo delineado, parte-se para a análise dos produtos concorrentes, sendo necessária uma pesquisa de patentes para avaliar a relevância da proposta deste trabalho. A pesquisa foi feita através do bancos de dados: *European Patent Office* (Espacenet) no mês de julho de 2020, apontando tudo que já foi publicado até então, através das seguintes palavras-chave: *Eco Jewelry*, *Eco Jewelry and composite*, *Jewelry and composite and chicken*, *Jewelry and composite and feather*, *Jewelry and composite and barbs*, *feather and chicken and composites*. Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 13.

Tabela 13. Número de patentes encontradas para cada palavra-chave.

Palavras-chave	Total
<i>Eco Jewelry</i>	392
<i>Eco Jewelry and composite</i>	107
<i>Jewelry and composite and chicken</i>	77
<i>Jewelry and composite and feather</i>	95
<i>Jewelry and composite and barbs</i>	33
<i>Feather and chicken and composites</i>	104

Fonte: Autora, 2020.

Na tabela 13 é possível identificar o número total de resultados que aparecem para busca de cada palavra chave utilizada. Analisando individualmente os resultados das patentes que surgiram a partir de todos os conjuntos de palavras chaves que incluíam “*jewelry*” foi possível identificar patentes com uso

de compósitos reforçados com matéria prima natural, por exemplo, com conchas, couro, palha, folha de oliveira, fibra de coco, caule da bananeira, cana de açúcar, pó de osso bovino e cinzas de cremação para diversos tipos de uso. Para além dos resultados, que estavam relacionados a técnicas de joalheria, a porta joias ou a materiais naturais com benefícios à saúde (ímanes e pedras naturais), não foram encontradas pelo mecanismo de busca utilizado, patentes relacionadas diretamente ao produto proposto: compósito reforçado com fibras de penas de frango para aplicação em joias. Dentre as patentes verificadas algumas se destacaram por apresentarem o uso de compósitos reforçados com matéria prima natural para aplicação em joalheria:

- KR20190136163A - Bloco de couro de joalheria: a patente apresenta um bloco de couro para joalheria ou acessórios. O compósito estrutural é formado pela colagem de uma camada de couro (ingrediente natural) a um filme TPU; uma camada de tingimento; e uma camada de revestimento com borracha de silicone para elevar a resistência ao desgaste;
- KR101140786B1; KR20110092099A – Sistema de fabricação de cristal ósseo e um método do mesmo: esta invenção apresenta o método de formação de um cristal de cinzas usando osteóide. A produção deste material ecológico dá-se através de um controlador que mostra o processo de trituração, mistura e moldagem das cinzas. O osteóide é esmagado, pulverizado e tem sua humidade removida. Depois é incorporado um aditivo que inclui o agente de revestimento sendo acompanhado o processo de mistura e moldagem do cristal produzido com a técnica de moldagem por compressão;
- US6382111B1 - Métodos para solidificar resíduos de cremação: esta invenção propõe que os resíduos do processo de cremação de humanos e animais falecidos sejam transformados em materiais compósitos a fim de tomarem formas de objetos. A proposta é que esses objetos sejam marcados com formatos de identificação a fim de haver um rastreamento e uma base de dados. Os resíduos são, para tanto, misturados com: tintas, vidros, cerâmica, argila, metal, cimento ou uma combinação entre eles e dão forma a recipientes, vasos, pedras para joalheria, pinturas, revestimentos, entre outros.

Avaliando apenas os resultado das palavras chaves: “*feather and chicken and composites*” observam-se patentes relacionadas ao uso de fibras de frango que apresentam uma visão generalista, apontando diversas aplicações para o resíduo, incluindo o uso em compósitos, mas não indicam processos e nem composições. Verificou-se em algumas patentes que citam o uso da queratina extraída da fibra de pena e sua aplicação em compósitos, mas não foi identificada nenhuma patente relacionada diretamente ao

objetivo deste trabalho. Entretanto destacam-se três patentes que apresentam o uso das fibras de penas de frango em compósitos:

- WO2004008498A2 - Materiais de baixa constante dielétrica a base de óleos de plantas e penas de frango: patente associada ao desenvolvimento de materiais com baixa constante dielétrica com uso de recursos renováveis como óleos de plantas e penas. Utiliza resina de soja, como por exemplo, óleo de soja epoxidado acrílico (AESO) e óleo de soja maleato de glicerídeo de pentaeritritol (SOPERMA), misturados com um diluente reativo, como por exemplo, monômero de estireno. A partir dessa matriz várias concentrações de fibras de penas de frango ou tapetes de fibras são misturadas fisicamente a resina através do uso de várias técnicas como, o processo de moldagem por transferência de resina (RTM) e processo de moldagem por transferência de resina assistida à vácuo (VARTM). As diversas misturas são então curadas em várias temperaturas para produzir compósitos rígidos. Estes compósitos apresentam constantes dielétricas suficientemente baixos para aplicações eletrônicas e ainda são inferiores aos materiais semicondutores convencionais como o dióxido de silício. Para além disso, as propriedades mecânicas são significativamente aprimoradas com a incorporação das fibras de penas.
- WO2005065301A2 – Compósitos poliméricos contendo queratina: O registo é relativo a compósitos poliméricos contendo queratina e pelo menos um polímero. Também fornece métodos de produção para estes compósitos. Considerando que as propriedades dos polímeros são melhoradas com a dispersão de queratina limpa e processada, e preferencialmente de origem de aves, no material polimérico. O material de queratina pode estar na forma de fibras, partículas ou pedaços grandes de penas de aves, pelos de animais, unhas, cascos ou chifres.
- BRPI0511949A; AT495214T; AU2005252587A1; AU2005252587B2; CA2570107A1; CA2570107C; CN1984944A; CN1984944B; EP1607430A1; EP1765917A1; EP1765917B1; ES2359715T3; PL1765917T3; US2008064793A1; US7866139B2; WO2005121223A1 – Compósitos de polímero reforçado com fibras, processos para preparar o mesmo e para preparar fibras de pelo de mamíferos e/ou penas, e, produto do polímero conformado: O invento apresenta um compósito de polímero reforçado com fibras de pelo de mamíferos e/ou penas, onde estas fibras passam por um processo de preparação compreendido por etapas: tratamento por oxidação através de uma solução com agente alvejante, separação dos pelos e/ou fibras oxidados, e secagem dos pelos e/ou fibras separados. A invenção aponta ainda processos de preparação do compósito e produtos de polímeros conformados compreendendo o referido compósito.

Com a pesquisa de patentes aplicada foi possível estabelecer o carácter inovador do processo de design proposto, tendo em vista o produto que se pretende desenvolver. Dessa forma, considerando que o foco para o desenvolvimento da coleção são peças com *design*, desenvolvidas com resinas sintéticas e com uso de materiais naturais foi feita ainda uma análise do trabalho de alguns profissionais da área de design e ourives que desenvolvem produtos com foco semelhante.

O ourives brasileiro Paulo Tavares é um deles e desenvolve gemas vegetais criadas a partir de resinas e corantes de algumas espécies vegetais da região amazônica (Pinto, 2014). O seu trabalho apresenta uma alternativa às tradicionais gemas minerais buscando um menor impacto no meio ambiente e maior valorização da cultura local.



Figura 40. Gemas vegetais de Paulo Tavares. Fonte: <http://espacosaojoseliberto.blogspot.com/2013/04/> acessado em: 08 de setembro de 2020.

Paulo Tavares afirma em entrevista a Quintela (2016) que a sua matéria-prima natural são materiais descartados naturalmente pela natureza. Desde o silício, aglutinante presente nas folhas da vitória régia, que passa por um processo térmico transformando-se em um polímero de estrutura cristalina, até aos pigmentos extraídos de plantas, flores, cascas e frutos colhidos do chão.

Paulo Tavares é também professor e, através da sua trajetória profissional, vem contribuindo com desenvolvimento de diversas técnicas e materiais. Como resultado de um de seus projetos em conjunto com a joalheira Mônica Matos surge o pingente Curuatá que participou numa exposição em Roma, cidade italiana, em 2013.



Figura 41. Pingente Curuatá em Bronze com criação de Mônica Matos e gema de vegetal de açai desenvolvida por Paulo Tavares. Fonte: Quintela, 2016.

Dessa forma, o trabalho do ourives compartilha algumas das diretrizes da joalheria contemporânea abordadas por este trabalho, quando desenvolve novos materiais propondo um menor impacto ambiental e agregando valor às suas peças através do design.

Outra referência em joias de resina, o designer Carlos Alberto Sobral, através da sua marca: Sobral, produz peças com efeitos multicoloridos, inusitados e exclusivos por serem peças feitas de maneira artesanal. Através do site da marca é possível observar que a marca já lançou coleções de cunho sustentável utilizando peças descartadas, quebradas ou recolhidas de criações e coleções passadas. Suas peças podem apresentar 4 efeitos diferentes: multicolor (a), metálico (b), encapsulados (c) e clássicos (d) (figura 42).



Figura 42. Joias dos quatro estilos presentes na marca Sobral. Fonte: <https://www.sobraldesign.com.br/efeitos/> acessado em: 08 de setembro de 2020.

- Multicolor: efeito produzido pela inserção de várias camadas de resina, uma a uma, resultando em um listrado colorido ou um efeito marmorizado multicolorido resultado da injeção simultânea de várias cores aleatórias.
- Metalique: efeito conquistado pelo encapsulamento de folhas metalizadas importadas.
- Encapsulados: efeito causado pelo encapsulamento de materiais orgânicos ou sintéticos (madeira, gravetos, conchas, sementes, canudos, pequenos objetos, entre outros).
- Clássicos: efeito criado através de cores lisas, materiais reciclados, mosaicos de colagens, além de padrões e texturas da natureza (marmorizado, tartaruga, madeiras, pedras, algas, sisal, âmbar, marfim e corais).

É possível notar pela caracterização dos efeitos que nem todas as peças da marca respeitam a prerrogativa do uso de materiais naturais. Podendo assim considerar “A Sobral” uma concorrente indireta que tem muita força pelo design de suas peças.

Considerando a pesquisa de patentes e a pesquisa de mercado apresentadas é possível verificar a existência de um mercado para joalheria sustentável com uso de materiais não tradicionais e a apreciação dos valores simbólicos. O produto proposto apresenta então, convergências quando comparados os valores simbólicos dos produtos e um carácter inovador, principalmente, por não terem sido encontradas patentes e marcas que já utilizem compósitos com fibras de penas para produção de joias.

5.3 Geração de ideia

Diante da problemática enquadrada, considerando os dados levantados e o perfil do público alvo definido, partiu-se para o processo criativo usando como ferramenta o *Brainstorm*⁴. Como já relatado, a joalheria contemporânea é conetada com a arte, comunica o tempo e traz destaque, identidade e personalidade (do autor e do usuário), sendo impregnada de valores. Esta metodologia permite um processo de livre criação. Sendo assim, o ponto de partida para o *Brainstorm* foi o entorno do autor (identidade local⁵), a matéria prima proposta (plumas) e o carácter sustentável. Os referenciais se conectam com o artesanal

⁴ Metodologia desenvolvida por Alex Osborn em 1939 que é associada à criatividade e utilizada como ferramenta para resolver problemas através do levantamento do maior número de ideias sobre um determinado tema ou questão (Mazzotti, Broega e Gomes, 2012).

⁵ De acordo com Pichler e Mello (2012), uma identidade local é constituída através da vivência de um grupo de pessoas em um local comum, onde dividem experiências e conhecimentos e com isso passam a produzir símbolos e representações que os unem.

e a busca por uma maior valorização simbólica, emocional e estética. O resultado do *Brainstorm* pode ser visualizado na figura 43.



Figura 43. Brainstorm. Fonte: Autora, 2020.

A sustentabilidade é um pensar coletivo e um bem comum que tem afinidade à busca atual pela coletividade, conectividade e inclusão. Considerando isso, o sentimento com que se parte para a criação é o de “pertencimento”, ideia de se sentir conectado a um coletivo que partilha de valores, crenças e modos. A autora busca então, nas suas raízes, vivências e aspectos da identidade local e referências que se conectam com esse propósito de união. O artesanato, a prata, o sol, o calor e a sua terra natal guiaram a construção do painel de inspiração (figura 44). Esse painel busca orientar o processo de design das peças e para isso são apresentadas texturas, cores e formas.



Figura 44. Painel de inspiração. Fonte: Autora, 2020.

O painel apresenta uma dualidade entre fluidez e rigidez, que busca representar uma contraposição entre a força e resistência e a poesia, alegria e vitalidade, presente no imaginário conectado ao nordeste brasileiro. As tonalidades amarelas e castanhas fazem alusão ao sol, terra, calor humano e energia. E as formas mais arredondadas têm relação com o sol, a ideia de ciclo e união. A temática da coleção recebe o título: "Filha do sol" que faz referência a um trecho do hino do Piauí, estado brasileiro, onde se encontra a cidade natal da autora.

Foi desenvolvida uma pequena coleção, conjunto de peças que apresentam relação entre si e uma harmonia estética, utilizando do tema da coleção e de elementos de estilo. Os elementos de estilo são detalhes que aparecem continuamente e com pequenas variações no intuito de produzir uma unidade visual entre as peças (Treptow, 2007). A coleção é composta por quatro colares, quatro anéis, seis brincos e três pulseiras.

Partindo do painel de inspiração e da temática da coleção, é possível observar como as referências são traduzidas no design das peças. A prata foi escolhida por ser o metal mais utilizado no polo joalheiro da cidade de Pedro II, no estado do Piauí (Brasil); sendo uma associação direta ao fazer local e sua identidade. Ao observar todas as peças juntas na figura 47 é possível perceber que os elementos de

estilo presentes nas peças são a cor, a textura e o formato arredondado dos compósitos. Eles irão ajudar a criar a unidade entre todas as peças e trazer uma harmonia estética à coleção.

As formas arredondadas apresentadas no painel, e que tem relação com o sol, ciclo e união, estão presentes nos formatos das peças e dos compósitos. A textura aplicada na prata, no conjunto de peças da figura 45, faz alusão ao sol, assim também como, as franjas de correntes, as aplicações com formatos pontiagudos e as esferas aplicadas em outras peças da coleção. Esses elementos são apontados na imagens 46, que apresenta todos os brincos da coleção juntos, e demonstram a dualidade proposta entre a fluidez e a rigidez. A fluidez ligada à ideia de poesia, alegria e vitalidade é traduzida pelo uso do formato circular e pelo movimento que as franjas devem apresentar. A rigidez é transmitida através dos formatos mais geométricos e pelos braceletes que abraçam o corpo com certa solidez.

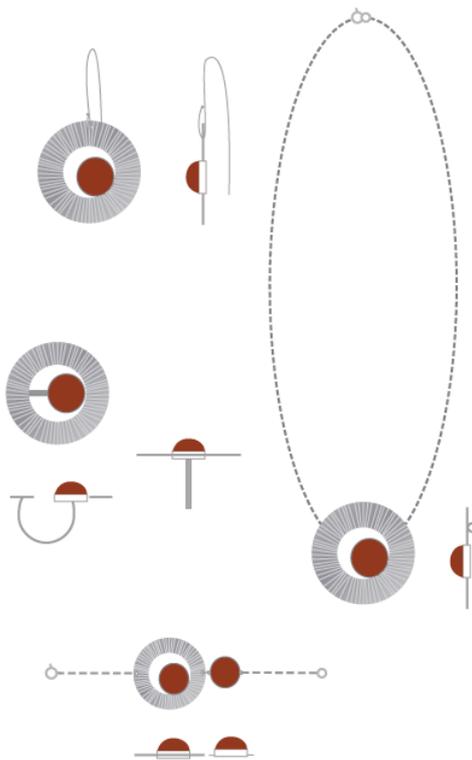


Figura 45. Conjunto de peças com textura aplicada à prata. Fonte: Autora, 2020.

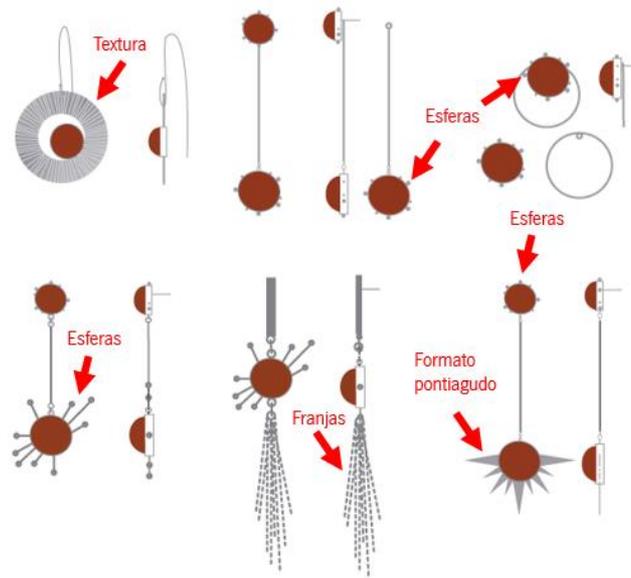


Figura 46. Brincos da coleção. Fonte: Autora, 2020.

Dois dos brincos que compõem a coleção apresentam módulos (base e corpo separados) permitindo uma versatilidade no uso. Esta característica demonstra adaptabilidade, movimento e união que está associada à ideia de conexão entre pessoas.

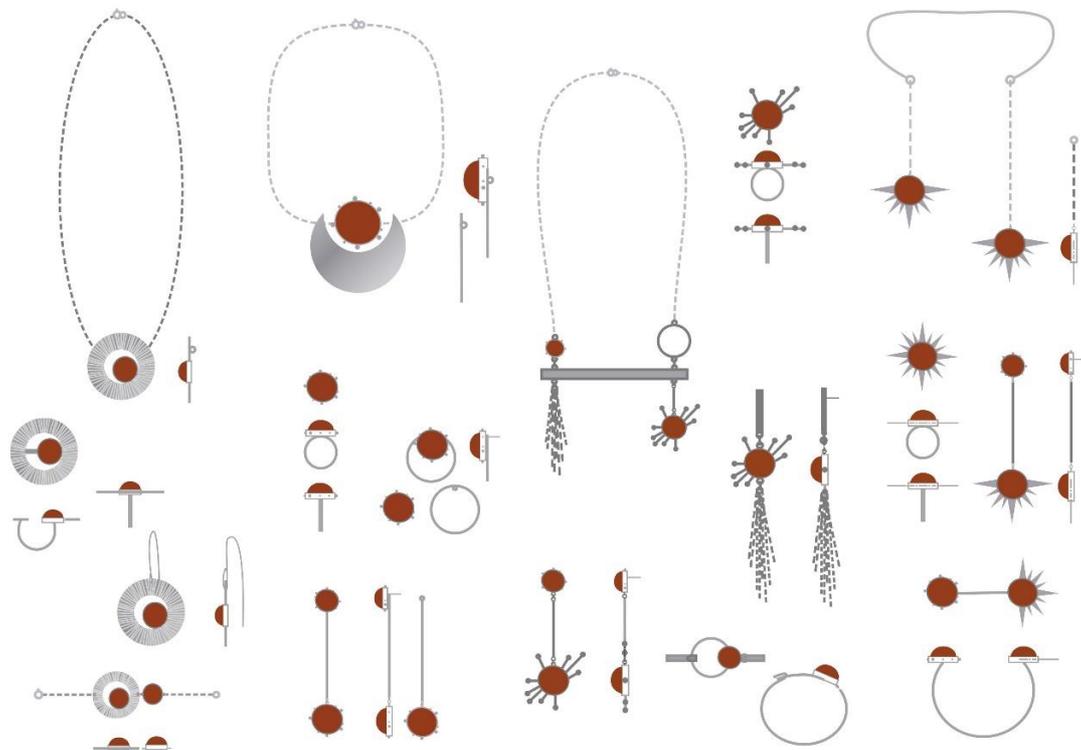


Figura 47. Design das joias. Fonte: Autora, 2020.

A coleção apresenta, assim, um conjunto de peças impregnadas de signos que representam a identidade da autora, comunicam o tempo e o sentimento de pertencimento e conexão a um coletivo que partilha de uma mesma preocupação com o meio ambiente.

5.4 Prototipagem

Dentre as peças desenhadas foram escolhidas três peças para serem confeccionadas, em prata 950 com material compósito (10% penas/ 90% resina) desenvolvido neste estudo, com o intuito de comprovar a aplicabilidade do material proposto (figura 48).



Figura 48. Design das peças aplicados em croqui. Fonte: Autora, 2020.

A confecção foi realizada por uma empresa: AL Joias, localizada em Pedro II, polo joalheiro do estado do Piauí (Brasil). A empresa executou o projeto com base nas fichas técnicas (anexo 4), sendo que o resultado pode ser observado nas figuras 49, 50, 51, 52 e 53.



Figura 49. Anel em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola. Fonte: Autora, 2020.



Figura 50. Anel, em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola, vestido na modelo. Fonte: Autora, 2020.



Figura 51. Brinco em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola. Fonte: Autora, 2020.



Figura 52. Colar em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola. Fonte: Autora, 2020.

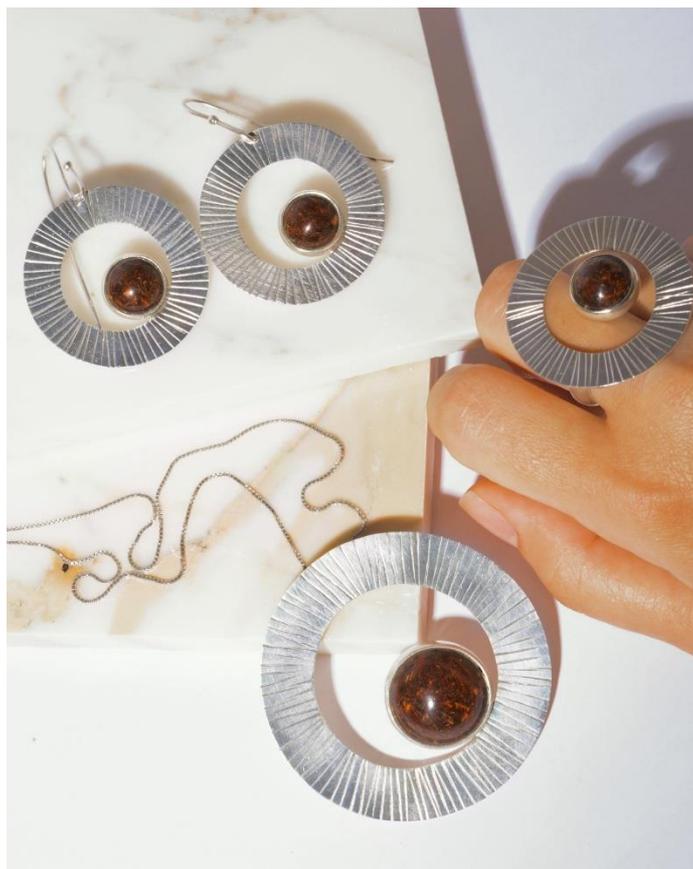


Figura 53. Protótipos confeccionados em prata 950 e material compósito reforçado com fibras de penas de frango tingidas com casca de cebola. Fonte: Autora, 2020.

Ao comparar o croqui das peças e as imagens dos protótipos é possível verificar que a estética proposta foi alcançada. O compósito (10% penas/ 90% resina) utilizado para o desenvolvimento do protótipo apresenta um equilíbrio entre as características esperadas nos âmbitos estético, sustentável e técnico. Desde a textura aplicada na prata, assim como, é possível verificar que não ocorreu dano estrutural no compósito utilizado para o processo de fabricação das joias, verificando-se que a aplicabilidade do material proposto é viável.

6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Este capítulo apresenta uma reflexão a respeito de todas as etapas deste trabalho apontando, não somente as conclusões a que se conseguiu chegar, como também, perspectivas futuras para esta pesquisa, mostrando caminhos que podem ser seguidos a partir do que foi desenvolvido.

6.1 Conclusões

O trabalho propôs o desenvolvimento de um material de cunho sustentável para a aplicação em design de moda: a joalheria. O projeto propôs o desenvolvimento de um material compósito reforçado com fibras de penas de frango, transformando o resíduo da indústria alimentar em matéria prima renovável, sustentável e com maior valor acrescentado. Nesse sentido, os resultados obtidos buscam compreender a viabilidade da proposta, que foi aqui embasada em estudos e avaliações à respeito do comportamento dos materiais envolvidos, do método de confecção do material, da sua aplicação na área referida e em sua aceitação, por parte dos consumidores.

Ao longo do desenvolvimento experimental foi possível identificar que as fibras de penas apresentam características favoráveis para aplicação proposta, tais como: baixa densidade, compatibilidade com tingimentos naturais, a existência de interação entre a fibra e a matriz polimérica (resina epóxida) e resistência térmica superior aos 100 °C. A análise microscópica e a análise de FTIR foram capazes de atestar que as fibras utilizadas eram mesmo fibras de penas de frango, de natureza proteica, tanto pela análise morfológica da fibra, como pela composição química, apresentadas como resultados dos ensaios e comparados aos dados apontados pela literatura existente. A morfologia da fibra identifica a existência de uma estrutura com ramificações e ganchos, além de uma textura rugosa. Essa característica da fibra auxilia na boa aderência em misturas de materiais compósitos.

Nos compósitos desenvolvidos foi possível avaliar essa interação entre as duas fases através do ensaio de FTIR e do ensaio de tração. O FTIR demonstra existir uma interação entre as fibras e a matriz, mas apresenta a perda de grupos epóxi nas amostras com menor percentagem de fibras (5% penas/95% resina e 10% penas/90% resina). O ensaio de tração aponta que quanto maior a percentagem de fibras de penas utilizadas, mais difícil se torna a impregnação das mesmas, assim como, existe uma maior dificuldade de adesão entre estas e a matriz. Gera-se, desta forma, uma redução dos valores de tensão máxima e do módulo de elasticidade com o aumento da incorporação de fibras. A absorção de líquido pelos compósitos também é afetada por essa dificuldade de impregnação das fibras gerando melhores resultados nos compósitos com menor percentagem de fibras incorporadas.

Considerando a caracterização da fibra foi possível identificar que a mesma apresenta baixa densidade proporcionando um menor peso ao produto. A sua massa volúmica sem tingimento é cerca de 0,43 g/cm³, sendo esse valor ainda mais baixo do que o encontrado na pesquisa bibliográfica. O facto é que a massa volúmica apontada nesses estudos já existentes pode ter sido avaliada utilizando plumas inteiras enquanto, neste estudo, foram utilizadas plumas processadas, trituradas. Para além de identificar uma baixa densidade das fibras, foi possível constatar que o processo de tingimento com corante de casca de cebola reduziu ainda mais a massa volúmica, sendo obtido um valor de 0,254 g/cm³. A baixa densidade é associada à estrutura morfológica indicada através da análise microscópica que revela a presença de estruturas ocas que formam bolsões de ar no interior da fibra, implicando em uma menor massa.

A compatibilidade das fibras utilizadas com corantes naturais foi comprovada com o teste prático de tingimento das fibras, que comparou os resultados obtidos com os corantes químicos e com o corante natural de casca de cebola, permitindo que outro resíduo de indústria alimentícia também fosse transformado em matéria prima. Apesar de uma das grandes problemáticas do tingimento natural ser a baixa solidez, no caso deste estudo, essa característica não gera grande impacto visto que as fibras são impregnadas pela resina, cujo processo de revestimento possibilita a propriedade de impermeabilização, sendo este, mais um dos pontos que demonstram a importância da interação entre as duas fases do compósito (as fibras e a resina epóxida).

As fibras provenientes de penas de frango foram expostas a temperaturas elevadas, tanto no processo de tingimento (100 °C), como no processo de incorporação à matriz polimérica (até 70 °C). Por este motivo, a avaliação térmica realizada através do DSC e TGA foi importante, possibilitando determinar que as fibras podem passar por estes processos sem perder as suas propriedades. O DSC e o FTIR comprovam que o processo de tingimento não gera mudanças significativas nas fibras de penas. O DSC ainda indica que a temperatura de decomposição das fibras de penas se inicia aos 220°C e finaliza aos 240°C, justificando uma melhoria do comportamento térmico com a presença do reforço fibroso nos compósitos, visto que a resina acaba por se degradar completamente em temperaturas mais baixas em relação as fibras utilizadas. Este dado é validado no teste de TGA que apresenta maior quantidade de resíduo no fim do ensaio, para o compósito com maior percentagem de fibras. Neste ensaio, verificou-se que as perdas de massa com o aumento da temperatura, está diretamente ligado à estabilidade térmica do material revelando ainda que a presença das fibras de penas aumenta a instabilidade térmica dos compósitos.

O processo de produção do compósito através da técnica: *hand lay-up* apresentou resultados satisfatórios, considerando as características do processo de produção, o aspeto estético alcançado e a adequação ao processo de produção dos protótipos. O aspeto estético, o valor conceptual que se pretendeu atribuir e a importância dos requisitos propostos ao produto foram avaliados através de uma pesquisa de campo. Ao observar os resultados da pesquisa é possível concluir que os entrevistados demonstram valorizar e considerar no processo de compra aspetos como: pesquisa e proposta de novos materiais, design e sustentabilidade. Estes acreditam que as joias apresentam um longo ciclo de vida, refletindo-se diretamente na frequência reduzida de compra desses artigos, onde 44% dos entrevistados afirmaram comprar com uma frequência entre um e dois anos.

Ao avaliar os requisitos propostos (Aspeto Visual, Durabilidade e Resistência ao risco e ao impacto), que foram coletados no questionário aplicado, foi possível identificar que os consumidores avaliam e dão importância a esses requisitos, sendo o aspeto estético aquele que apresentou maior destaque. Na perspetiva da avaliação estética do material, os entrevistados apresentaram a Forma como a variável com maior ênfase. Já as variáveis brilho e textura, apesar de apresentarem percentagens mais baixas para classificação, foram avaliadas como Muito importante (e demonstraram ter um enorme impacto quando os entrevistados passaram a analisar as imagens dos compósitos). Os entrevistados claramente apresentaram preferência pelas amostras que têm um aspeto mais brilhante e com menos textura, ou seja, por amostras com uma menor porção de fibras e com aspeto menos natural.

A pesquisa realizada apresentou então, uma nova perspetiva que, embasada na economia circular, propõe o uso das fibras de penas de frango no setor joalheiro. Além de inovadora, a pesquisa apresenta resultados viáveis para aplicação. O compósito selecionado e a coleção criada atenderam ao objetivo proposto pela pesquisa, sendo possível desenvolver um material compósito reforçado com fibras de penas de frango para aplicação em joalheria com viés contemporâneo, promovendo assim, um produto sustentável para ser utilizado na indústria da Moda, no segmento de joias. A característica estética é determinante no desenvolvimento de produtos para este segmento, sendo importante encontrar uma convergência entre aquilo que é aceite pelo consumidor e a sustentabilidade. A diminuição de 10% na matriz termoplástica a nível mundial, considerando apenas o segmento deste produto, é um factor considerável, sendo também possível o uso de maiores percentagens de fibras na composição dos produtos. Desta forma, pode-se concluir que a pesquisa aplicada ao longo do trabalho cumpriu com os objetivos estabelecidos.

6.2 Perspetivas futuras

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, torna-se importante avaliar as potencialidades do material trabalhado, pois mesmo dentro do viés da joalheria existe uma infinidade de outras possibilidades a serem exploradas com o uso do material desenvolvido e a sua aplicação num processo para o design sustentável. Por outro lado, importa explorar a viabilidade de outras aplicações desse material compósito no setor da moda, considerando o potencial para desenvolvimento de outros tipos de produtos como: armações de óculos, bolsas, aviamentos, objetos de decoração, entre outros. Revela-se igualmente importante a realização de testes com outros tipos de corantes naturais que possam viabilizar um maior leque de possibilidades estéticas para o material.

Existem ainda alguns pontos limitantes observados ao longo do trabalho associados ao tempo e/ou à avaliação da viabilidade financeira do processo de design utilizado, que podem ser melhorados em trabalhos futuros. Considerando a inclinação dos entrevistados para as amostras com aspeto mais brilhante e com menos textura, seria importante trabalhar na procura de soluções para que compósitos com maior percentagem de penas consigam ter um aspeto mais atrativo ao consumidor. Torna-se igualmente interessante fazer novas pesquisas, aplicar questionários apresentando os protótipos para mensurar a aceitação estética do material aplicado no produto, mostrando como este chegaria às lojas. Verificar outros processos de produção, ou a inclusão de novas etapas no processo utilizado para produção do protótipos, devem ser vistos e levados em consideração. Assim como se avalia importante para um cenário futuro a realização de alguns ensaios: ensaio de toxicidade para assegurar o uso deste produto pelos consumidores, visto que é um produto que está em contacto com a pele; ensaio de abrasão, para avaliar a resistência ao desgaste; e um ensaio de envelhecimento para avaliar o comportamento do compósito ao longo do tempo, considerando variáveis como exposição aos raios UV, suor, clima e processos de limpeza da peça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acda, M. N. (2010). Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites. *Philippine Journal of Science*, 139(2), 161-166.
- Alonso, R. S. (2013), *Pena de Frango: estudo das características físicas das fibras têxteis* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Alonso, R. S. (2017), *Estudos preliminares sobre a valorização têxtil de penas provindas da indústria da avicultura* (Tese de Doutorado). Université de Haute-Alsace e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mulhouse.
- Ambrose, G., & Harris, P. (2010). *Design Thinking*. Switzerland: AVA Publishing AS. Lausanne.
- Aranberri, I., Montes, S., Azcune, I., Rekondo, A., & Grande, H. (2017). Fully Biodegradable Biocomposites with High Chicken Feather Content. *MDPI, Polymers*, 9, 593, 1-15.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2016). *Gemas de Cor – terminologia e classificação* (2ª ed.). Rio de Janeiro: ABNT NBR: 10630.
- Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C., & Karunasena, W. (2017). A Review on the Degradability of Polymeric Composites Based on Natural Fibres. *Materials & Design*, 47, 424-442.
- Barone, J. R., & Schmidt, W. F. (2005). Polyethylene reinforced with Keratin fibers obtained from chicken feathers. *Composite Science and Technology*, 65, 173-181.
- Barone, J. R., & Schmidt, W. F. (2005), Polymer Composites Containing Keratin. WO2005065301A2. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/034711281/publication/WO2005065301A2?q=WO2005065301A2>
- Bauman, Z. (2001). *Modernidade Líquida*. Trad. Dentzien, P. Rio de Janeiro: Zahar.
- Bessa, J., Souza, J., Lopes, J. B., Sampaio, J., Mota, C., Cunha, F., & Figueiro, R. (2017). Characterization of thermal and acoustic insulation of chicken feather reinforced composites. *3rd International Conference on Natural Fibers: Advanced Materials for a Greener World*, 472-479.
- Bicalho, L. N. L. (2018). *Atravessando o abismo: marketing e vendas em startups de software*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras – Minas Gerais.
- Callister, W. D. (2006). *Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada* (2ª ed.). Trad. Sérgio, M. S. S. Revisão Técnica Paulo, E. V. de M. Rio de Janeiro: LTC.
- Carlota, J. C. (2015). *Design de joias: Aplicação de materiais alternativos no mercado joalheiro do extremo sul de Santa Catarina*. (Trabalho de conclusão de Bacharelado). Universidade do Extremo Sul Catarinense – UDESC, Criciúma – Santa Catarina.
- Codina, C. (2005). *Nueva Joyería: Un Concepto Actual de la Joyería y la Bisutería*. (2ª ed.). Espanha: Parramón ediciones s.a.
- Craenmehr, E. G. M., Vlieger, J. J., Wandelen, M. T. R., Slaghek, T. M., Kock; T. J. J. M., & Drost, W. C. (2008). *Compósito de polímero reforçado com fibras, processos para preparar o mesmo e para preparar fibras de pêlo de mamíferos e/ou penas, e, produto de polímero conformado*. BRPI0511949A/ AT495214T/ AU2005252587A1/ AU2005252587B2/ CA2570107A1/ CA2570107C/ CN1984944A/ CN1984944B/ EP1607430A1/ EP1765917A1/ EP1765917B1/ ES2359715T3/ PL1765917T3/ US2008064793A1/ US7866139B2/ WO2005121223A1. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/034928277/publication/BRPI0511949A?q=BRPI0511949A>
- Duarte, L. S., Teixeira, M. B. S., & Lima, G. M. (2009). O Desenvolvimento de Compósitos com Pó de Osso Bovino como Material Simulador da Gema de Coral Aplicado ao Design de Jóias. / *Seminário*

- sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul – I SDGEM. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~ctpedras/sdgem/artigos/Art14_Duarte_FINAL.pdf
- Duro, A. C. F. M. (2013). *Desenvolvimento e caracterização de compósitos reforçados com fibras de linho e sisal* (Tese de mestrado). Universidade do Minho, Guimarães.
- Ellen MacArthur Foundation (2017). *Economia Circular*. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>
- Ellen MacArthur Foundation (2017). *New textiles economy: redesigning fashion 's future*. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future>
- Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards the circular economy vol.2: opportunities for the consumer goods sector*. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods-sector>
- Fagianni, K. (2006). *O Poder do Design: Da Ostentação à Emoção*. Brasília: Editora Thesaurus.
- Gil, A. C. (2002), *Como elaborar projetos de pesquisa*. (4ª ed.). São Paulo: Editora Atlas.
- Giudice, F., La Rosa, G., & Risitano, A. (2006). *Product Design for the Enviroment: A Life Cycle Approach*. Boca Raton: Editora CRC Press Taylor & Francis Group.
- Gogoi, G., Mandal, M., & Maji T. K. (2019). *Study of Properties of Modified Soybean Oil Based Composite Reinforced with Chicken Feather*. *Fibers and Polymers*, Vol.20, No.5, 1061-1068.
- Gomes Filho, J. (2006). *Design do Objeto: Bases conceituais*. São Paulo: Editora Escrituras.
- Guilden, C de A., & Kistmann, V. B. (2013). Materiais e processos não-tradicionais utilizados no design de joias contemporâneo. *9º Colóquio de Moda, 6ª edição internacional*. Disponível em: http://www.coloquiomoda.com.br/anais/Coloquio%20de%20Moda%20-%202013/COMUNICACAO-ORAL/EIXO-6-PROCESSOS-PRODUTIVOS_COMUNICACAO-ORAL/Materiais-e-processos-nao-tradicionais-utilizados-no-design-de-joias-contemporaneo.pdf
- Gurit, *Guide to Composites*, GTC - 4 - 0111 - 1. Disponível em: [file:///C:/Users/teste/Downloads/guide-to-composites%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/teste/Downloads/guide-to-composites%20(1).pdf)
- Halada, K., Aizawa, T., & Mabuchi, M. (2002). New Step of Ecomaterial to Break through the Barrier between Ecomaterial-Selection and Eco-Design. *Materials Transactions*, 43(3), 397-405.
- Hamid, H. (2002). Methods to solidify cremation residues. US6382111B1. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/024929625/publication/US6382111B1?q=US6382111B1>
- Hong, C. K., & Wool, R. P. (2004). *Low Dielectric Constant Materials From Plant Oils And Chicken Feathers*. WO2004008498A2. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/030116009/publication/WO2004008498A2?q=WO2004008498A2>
- Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). (2005), *Manual Técnico de Gemas* (3ª ed.). Consultoria, Supervisão e Revisão Técnica, Jane, L. N. da G. Brasília.
- Jaya, H., AbdulKadir, H. K., Noriman, N.Z., Dahham, O. S., Mazelan, A. H., Latip, N. A., & Aini, A. K. (2018). The influences of chicken feather loading on tensile and physical properties of R-Hdpe/Eva/Cff composites. *International Conference on Materials Engineering and Science, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 454*, 1-11. doi:10.1088/1757-899X/454/1/012190
- Kasiri, M. B., & Safapour, S. (2013). Natural Dyes and Antimicrobials for Textiles. In Lichtfouse, E.; Schwarzbauer, J.; Robert, D. (Ed.), *Environmental Chemistry for a Sustainable World: Green Materials for Energy, Products and Depollution* (3ª ed., Vol. 3, pp. 229-286). Dordrecht – Heidelberg - New York – London: Springer.
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2017). *Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

- Lipovetsky, G. (2009). *O Império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas*. 1ª reimpressão. Trad. Maria Lucia, M. São Paulo. Companhia das Letras.
- Mansour, H. (2013). Textile Dyeing: Environmental Friendly Osage Orange Extract on Protein Fabrics. In Gunay, M. (Ed.), *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing* (pp. 207-231). Índia: IntechOpen.
- Manzini, E., & Vezzoli C. (2002). *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos sustentáveis*. Trad. Astrid, de C. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica* (5ª ed.). São Paulo: Editora Atlas.
- Marques, (2011). Fibrous materials reinforced composites production techniques. In Fangueiro, R. (org.), *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications* (pp. 191-215). Oxford: Woodhead Publishing.
- Mazzotti, K., Broega, A. C., & Gomes, L. V. N. (2012). A exploração da criatividade, através do uso da técnica de Brainstorming, adaptada ao processo de criação em moda. *1º CIMODE, 1º International Fashion and Design Congress*, 1-9.
- Mercaldi, M., & Menezes, M. dos S. (2015). A evolução do uso dos polímeros em objetos de adorno: A joia. *11º Colóquio de Moda, 8ª Edição Internacional, 2º Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Design e Moda*. Disponível em: <http://www.coloquiomoda.com.br/anais/Coloquio%20de%20Moda%20-%202015/COMUNICACAO-ORAL/CO-EIXO3-CULTURA/CO-3-A-EVOLUCAO-DO-USO-DOS-POLIMEROS.pdf>
- Mercaldi, M. A., & Moura, M. (2017). Definições da joia contemporânea. *ModaPalavra E-periódico. Ano 10, n.19. ISSN 1982-615x*. Disponível em: www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/download/8811/6302
- Moore, G. A. (2006). *Crossing the Chasm: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream Customers* (3ª ed.). New York: HarperCollins Publishers.
- Moura, M. F. S. F., Moraes, A. B., & Guimarães, A. G. (2005). *Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico*. Porto: Editora Publindústria.
- Nascimento, L. F. (2012). *Gestão ambiental e sustentabilidade* (Trabalho de conclusão de Bacharelado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Needles, H. L. (1986). *Textile fibers, dyes, finishes, and processes: a concise guide*. New Jersey: Noyes Publications.
- Nguyen, X.H., Honda, T., Wang, Y., & Yamamoto, R. (2009). Modulo H: Eco-materials. In Diehl, J. C.; Ryan, C. (Ed.), *Design for Sustainability: A Step-by-Step Approach* (pp. 123-134). Disponível em: <http://www.jcdiehl.nl/d4s-sbs/>
- Ogin, S. L. (2000). *Textile-reinforced composite materials in Handbook of technical textiles*. Organizado por Anand, S C; Horrocks A R. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Ok, J. S. (2011). A Bone Crystal Manufacture System And A Method Thereof. KR101140786B1/KR20110092099A. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/044929096/publication/KR101140786B1?q=KR101140786B1>
- Oladele, I. O., Omotoyimbo, J. A., & Ayemidejor, S. H. (2014). Mechanical properties of chicken feathers and cow hair fibre reinforced high density polyethylene composites. *International Journal of Science and Technology. 3 (1)*, 66-72.
- Oliveira, F. R. (2009). *Tingimento da poliamida 6.6 com corantes ácidos, reactivos e diretos após modificação superficial com descarga plasmática de dupla barreira dielétrica (DBD)* (Tese de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães.
- Pazmino, A. V. (2007). Uma reflexão sobre o Design Social, Eco Design e o Design Sustentável. *International Symposium on Sustainable Design e I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável*, 1 –

- 10.
- Perkins, W. S. (1996). *Textile coloration and finishing*. Durham: Carolina Academic Press.
- Pickering, K.L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recente developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Elsevier. Composites: Part A*, P. 98-112. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X15003115>
- Pichler, R. F., & Mello, C. I. (2012). O design e a valorização da identidade local. *Design E Tecnologia*, 2 (4), 1-9.
- Pinheiro, M. F. (2008). *Compósitos avançados reforçados com fibras naturais para construção* (Tese de mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Pinto, C. (2014). Sustentabilidade inserida no design de joias através das gemas vegetais. *10º Colóquio de Moda, 7ª Edição Internacional, 1º Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Design e Moda*. Disponível em: <http://www.coloquiomoda.com.br/anais/Coloquio%20de%20Moda%20-%202014/POSTER/POSTER-EIXO8-SUSTENTABILIDADE/PO-Eixo-8-SUSTENTABILIDADE-INSERIDA-NO-DESIGN-DE-JOIAS-ATRAVES-DAS-GEMAS-VEGETAIS.pdf>
- Pires, G., Pereira, D. S., Dias Filho, N. L., & Vecchia, G. D. (2005). Caracterização físico-química e mecânica do sistema éster de silsexquioxano/ resina epóxi dgeba/ dietilenotriamina. *Revista Matéria*, 10 (2), pp. 317-330. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10666/>
- Pires, L. M. (2014). *Joias em malha com efeito 3D: Estendendo os limites da tecnologia* (Dissertação de mestrado). Universidade do Minho, Guimarães.
- Quintela, R. S. (2016). *Lugar de Joias, Memórias e Histórias: O Polo Joalheiro de Belém e Personagens no Tempo Presente* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Pará, Belém.
- Ramakrishnan, N., Sharma, S., Gupta, A., & Alashwal, B. Y. (2018). Keratin based bioplastic film from chicken feathers and its characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 352-358.
- Rashed, H.M.M.A., Islam, M. A., & Rizvi, F. B. (2006). Effects of Process Parameters on Tensile Strength of Jute Fiber Reinforced Thermoplastic Composites. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 3, 1-6.
- Rech, S. R., & Sousa, R. K. R. (2009). Ecoluxo e sustentabilidade: Um novo comportamento do consumidor. *DAPesquisa*, 4 (6), 602-608.
- Reddy, N., Yang, Y. (2007). Structure and Properties of Chicken Feather Barbs as Natural Protein Fibers. *Journal of Polymers and the Environment* 15, 81–87. doi: 10.1007/s10924-007-0054-7
- Refosco, E., Mazzotti, K., Satoriva, M., & Broega, A. C. (2011). O novo consumidor de moda e a sustentabilidade. *VII Colóquio de Moda*, 1-10.
- Ribeiro, N. R. F. (2019). *Desenvolvimento de materiais compósitos reforçados à multiescala utilizando fibra de carbono, nanotubos de carbono e grafeno* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães.
- Rodrigues, J. A. R. (2013). *Uso de Corantes de Origem Natural Para o Tingimento de Artigos Têxteis de Moda* (Tese de mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rogers, E. M. (1995), *Diffusion of innovations*. 3ª ed. New York: The Free Press editora.
- Salehuddin, S.M.F., Wahit, M. U., Kadir, M. R. A., Sulaiman, E., & Kasim, N. (2014). Mechanical and morphology properties of feather fiber composite for dental post application. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18, 368-375.
- Sekhar, V. C., Pandurangadu, V., & Rao, T. S. (2014). TGA, DSC, DTG Properties of Epoxy Composites Reinforced with Feather Fibers of ‘Emu’ Bird. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3 (5), 13017-13023.
- Sharma, S., Gupta, A., Chick, S. M. S. T., Kee, C. G., Mistry, B. M., Kim, D. H., & Sharma, G. (2017).

- Characterization of keratin microparticles from feather biomass with potent antioxidant and anticancer activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 189-196.
- Shulte, N. K., & Lopes, L. (2008). Sustentabilidade Ambiental: Um desafio para a moda. *Modapalavra e periódico*, 1 (2), 30-42.
- Silva, I. L. A. da. (2014). *Propriedade e Estrutura de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas de Juta* (Tese de Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.
- Silva, M. G. da (2018). *Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti-UV de fibras têxteis* (Tese de doutoramento). Universidade do Minho, Guimarães.
- Silva, R. B., Souza, J. M., & Serejo, N. A. V. (2019). Desenvolvimento de ecocompósito proveniente de resíduos da indústria avícola aplicado para o design de botão. *3ª Semana de Estudos de Moda – SEMD 2019*, 1-7.
- Siva, R. (2007). Status of natural dyes and dye-yielding plants in India. *Current Science*, 92 (7), 916–925.
- Skoda, S. M. de O. G. (2012). *Evolução da Arte Joalheira e a Tendência da Joia Contemporânea Brasileira* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Smith, A., El Hafiane, Y., El Khessaimi, Y., & Faure, A. (2019). Some examples of mineral eco-materials. *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (12), 3408-3415.
- Sobral. *A Sobral*. Disponível em: <https://www.sobraldesign.com.br/a-sobral/>
- Sobral. *Efeitos*. Disponível em: <https://www.sobraldesign.com.br/efeitos/>
- Sobral. *Recycle*. Disponível em: <https://www.sobraldesign.com.br/recycle/>
- Straliotto, L. M. (2009). *Ciclos: Estudo de Caso de Ecodesign de Jóias* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Svendsen, L. (2010). *Moda: uma Filosofia*. Trad. Maria Luiza, X. de A. B. Rio de Janeiro: Zahar.
- Takamitsu, H. T., & Menezes, M. dos S. (2014). The use of alternative materials in contemporary jewelry. *2º CIMODE (International Fashion and Design Congress)*, 1 – 8.
- Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chunilall, V. (2017). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of physical properties and morphological structure. *Journal of Cleaner Production*, 149, 349 – 365.
- Thompson, M., Nothmore-Ball, M., & Tanner, K. (2001). Tensile mechanical properties of polyacetal after one and six months' immersion in Ringer's solution. *Journal Of Materials Science: Materials In Medicine*, 103 (3), 239–248.
- Treptow, D. (2007). *Inventando Moda* (4ª ed.). Brusque – SC: Gráfica editora Pallotti.
- Uzun, M., Sancak, E., Patel, I., Usta, I., Akalin, M., & Yuksek, M. (2011), Mechanical behaviour of chicken quills and chicken feather fibres reinforced polymeric composites. *Archives of Materials Science and Engineering*. 52 (2), 82-86.
- Vankar, P. S. (2000). Chemistry of Natural Dyes. *Resonance*, 73-80.
- Vankar, P. S., Shanker, R., & Wijayapala, S. (2009). Dyeing of Dyeing Cotton, Wool and Silk with extract of Allium Cepa. *Pigment and Resin Technology* 38 (4), 242-247.
- Wilm, M. (2015). *Design de jóias e seleção de materiais: simulação do efeito aventurina utilizando polímero e partículas minerais* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Yeon, K. C. (2019). Jewelry Leather Block. KR20190136163A. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/069002570/publication/KR20190136163A?q=KR20190136163A>
- Zugliani, G. M. (2010). *Arte & Joia: Uma análise da joalheria contemporânea brasileira* (Trabalho de conclusão de licenciatura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, Bauru.

ANEXO 1 – FICHA TÉCNICA DA RESINA (BIORESIN® LS DA SIKA®)

Product Data Sheet
Version 01 / 2018

Biresin® LS Laminating and Multi-purpose resin

Areas of Application

- Manufacture of precise, robust laminates with glass and/or carbon fibres
- Manufacture of laminated foam and compression moulds
- Backstampings of moulds, models, negatives and tools
- Also used for coupling layers

Product Benefits

- Multi-purpose application with different hardeners
- Good soaking and wetting properties
- For high addition of fillers
- With **Biresin® F4 (B)** for longer potlife and lower viscosity
- With **Biresin® S10 (B)** for shorter potlife and thinner layers
- Additional hardeners: see separate leaflet

Description

- Basis Two component epoxy system
- Component A **Biresin® LS**, epoxy resin, yellowish-transparent, unfilled
- Component B **Biresin® LS**, standard hardener, amine, colourless-transparent, unfilled
- Component B **Biresin® F4**, amine, colourless, unfilled
- Component B **Biresin® S10**, amine, amber, unfilled
- Component B **Biresin® S12**, amine, amber, unfilled

Processing Data	Component A		Component B			
	Biresin® LS	Biresin® LS	Biresin® F4	Biresin® S10	Biresin® S12	
Individual components						
Viscosity, 23°C	mPa.s	~ 1,250	~ 40	< 10	~ 3,500	~ 180
Density, 25°C	g/ml	1.14	0.98	0.87	1.05	1.0
Mixing ratio A : B	in pbw	100	12	18	22	16
Mixtures						
Mixed viscosity, 23°C	mPa.s	~ 580	~ 350	~ 3,500	~ 1200	
Potlife, 500 g, RT	min	55	80	10	60	
Demoulding time, RT	h	12	16	8	12	

Physical Data (approx. values)

Biresin® LS (A)	with component B	Biresin® LS		Biresin® F4		Biresin® S10		Biresin® S12	
Density	ISO 1183 g/cm³	1.2		1.2		1.2		1.2	
Curing conditions	time temperature	14 d RT	2 h 80°C	14 d RT	2 h 80°C	14 d RT	2 h 80°C	14 d RT	2 h 80°C
Shore hardness	ISO 868 -	D 83	D 83	D 80	D 82	D 83	D 84	D 82	D 84
E-Modulus	ISO 178 MPa	2,420	2,630	2,440	2,570	2,900	2,900	2,500	2,500
Flexural strength	ISO 178 MPa	95	107	88	94	108	117	96	103
Compressive strength	ISO 604 MPa	104	106	91	94	110	112	102	98
Tensile strength	ISO 527 MPa	69	74	67	69	69	74	71	74
Impact resistance	ISO 179 kJ/m²	10	14	18	44	16	21	19	16
Heat distortion temp.	ISO 75B °C	51	70	46	53	53	82	52	72

Packaging

Individual components	Biresin® LS (A) Biresin® LS (B) Biresin® F4 (B) Biresin® S10 (B) Biresin® S12(B)	220 kg; 50 kg; 20 kg net 2.4 kg net 2.5 kg net 2.5 kg net 15 kg; 2.5 kg net;
-----------------------	---	--

Biresin® LS 1/2



BUILDING TRUST



Processing

- The material, processing and mould temperature must be from 18 to 25°C.
- After mixing the two components it is easily possible to incorporate additives if necessary.
- Biresin® LS is applied quickly and easily due to its low viscosity. It will easily wet out fibres and incorporate high levels of fillers and powders with high binding force.
- The ratio between resin and selected fibre must be determined and reliably controlled.
- For laminates glass fibres with binding twill are better than binding cloth because of its better suppleness.
- It is advised to lay up a balanced laminate to avoid distortion when de-moulding.
- Void-free glass and carbon fibre laminates are possible by processing under vacuum bag conditions to remove excess air and resin.
- To clean brushes or tools immediately Sika® Reinigungsmittel 5 is recommended.

Storage

- Minimum shelf life of Biresin® LS (A), Biresin® LS (B) and Biresin® S10 (B) is 24 months and of Biresin® S12 (B) and Biresin® F4 (B) is 12 months under room condition (18 - 25°C), when stored in original un-opened containers.
- After prolonged storage at low temperature, crystallisation of resin (A) may occur. This is easily removed by warming up for a sufficient time to a minimum of 60°C.
- Containers must be closed tightly immediately after use to prevent moisture ingress. The residual material needs to be used up as soon as possible

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:

Sika Deutschland GmbH
Subsidiary Bad Urach Tel: +49 (0) 7125 940 492
Stuttgarter Str. 139 Fax: +49 (0) 7125 940 401
D - 72574 Bad Urach Email: tooling@de.sika.com
Germany Internet: www.sika.com



BUILDING TRUST



ANEXO 2- FICHA TÉCNICA DO SILICONE UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DO MOLDE

 HB QUÍMICA-REPRESENTAÇÕES COMERCIO E SERVIÇOS, LDA		<h2>FICHA TÉCNICA</h2>				
Armazém / Escritório: Trav. De Gatões, Armazém A 4460-886 CUSTÓIAS MTS hbarros@hbquimica.mail.pt - C. Social 5.000,00 € - Mat. C.R.C. Matosinhos sob o nº 57910 Tlf: 93.9697781 / 22.9533344 Fax: 22.9531156						
N.C. 505 435 730		HB FLEX 901 S CR + CL 901 S 24H red				
<p>GENERALIDADES:</p> <p>O HB FLEX CR 901S é uma Borracha de Silicone de Reticulação, à temperatura ambiente, após a adição do CATALISADOR CL 901 S 24H red.(5% em peso).</p> <p>O Elastómero assim obtido, permite obter moldes para vazamento de resinas poliéster, poliuretano, gesso, ceras fundidas, cimento e outros materiais, proporcionando elevada fidelidade na reprodução de pormenores, grande facilidade e segurança na utilização.</p> <p>A fluidez da mistura do HB FLEX CR 901 S com o CATALISADOR CL 901 S permite obter, por vazamento, moldes elásticos perfeitos, com elevada resistência mecânica e química.</p> <p>A não necessidade de desmoldantes, quer no fabrico dos moldes quer na produção das peças moldadas, permite, para além de uma maior rapidez de produção, uma maior fidelidade nas reproduções.</p>						
CARACTERÍSTICAS DA MISTURA <i>HB FLEX CR 901 S + CAT CL 901 S</i>		PROPORÇÃO DA MISTURA	VISCOSIDADE EM mPa.s	TEMPO DE VIDA ÚTIL DA MISTURA, A 25° C	TEMPO EM CONTACTO COM O ORIGINAL	COR
<i>HB FLEX CR 901S</i> + <i>CATALISADOR CL 901S</i>		100 gr 5 gr	24.000 +/- 500	120 MINUTOS	24 HORAS	BRANCA ROSA VERMELHA
CARACTERÍSTICAS DO ELASTÓMERO <i>HB FLEX CR 901 S + CAT CL 901 S</i> APÓS UMA SEMANA A 25° C		UNIDADES		VALOR		
DUREZA		Shore A		22		
PESO ESPECÍFICO		gr / cc		1,18		
CONTRACÇÃO LINEAR		%		0,2 a 0,3		
ALONGAMENTO À RUPTURA		%		350%		
RESISTÊNCIA À RASGAGEM		kN / m		22 +/- 1		

Desenvolvimento de pedras artificiais com viés sustentável para joalheria

Bem vindos! Este inquérito é voltado para o desenvolvimento da dissertação de Mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil, Vestuário e Acessórios, da Universidade do Minho.

O objetivo da dissertação é o desenvolvimento de um material compósito reforçado com fibras de penas de frango, as plumas, para aplicação em joalheria com viés contemporâneo, promovendo um produto sustentável para ser utilizado na indústria da Moda. Sendo este inquérito necessário para identificar aspectos relacionados à avaliação do público alvo consumidor sobre este material. As informações recolhidas serão utilizadas apenas para o embasamento e análise do estudo.

Desde já agradeço pela participação!

***Obrigatório**

1. Nacionalidade: *

Marcar apenas uma oval.

- Português
- Brasileiro
- Outro: _____

2. Género *

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
- Masculino

3. Idade *

Marcar apenas uma oval.

- 23 ou menos
- Entre 24 e 39 anos
- Entre 40 e 54 anos
- Entre 55 e 72 anos
- 73 ou mais

4. Com que frequência costuma comprar joias? *

Marcar apenas uma oval.

- Entre 1 e 3 meses
- Entre 3 e 6 meses
- Entre 6 meses e 1 ano
- Entre 1 e 2 anos
- Outro: _____

5. Ao comprar uma joia quanto tempo você acredita que seja o seu ciclo de vida? *

Marcar apenas uma oval.

- Menos de 1 ano
- Entre 1 e 5 anos
- Entre 6 e 10 anos
- Entre 11 e 20 anos
- Mais de 20 anos

6. Análise os aspectos estéticos de uma joia e a forma como eles lhe atraem? Identifique em uma escala de 1 a 5. Considerando 1- Nada importante e 5 - muito importante. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1. Nada importante	2. Pouco importante	3. Neutro	4. Importante	5. Muito Importante
Brilho	<input type="radio"/>				
Textura	<input type="radio"/>				
Cor	<input type="radio"/>				
Forma	<input type="radio"/>				
Material	<input type="radio"/>				

7. Na sua perspectiva o fato de um produto apresentar uma preocupação com meio ambiente agrega valor ao produto? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

8. Você paga ou pagaria a mais por produtos com uma preocupação com o meio ambiente? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

9. No processo de compra de um produto você valoriza produtos com design, que contêm essência e carreguem significados? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

10. No processo de compra de um produto você valoriza produtos que apresentem pesquisa e proposta de novos materiais? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

11. Como consumidor desse tipo de produto analise os requisitos abaixo considerando a importância que cada um destes requisitos apresenta para si? Identifique em uma escala de 1 a 5. Considerando 1- Nada importante e 5 - Muito importante. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1. Nada importante	2. Pouco importante	3. Neutro	4. Importante	5. Muito importante
Aspecto visual	<input type="radio"/>				
Durabilidade	<input type="radio"/>				
Resistência ao risco e ao impacto	<input type="radio"/>				

12. Análise o aspecto estético das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)? *



Marcar apenas uma oval por linha.

	1o lugar	2o lugar	3o lugar	4o lugar	5o lugar
Amostra 1	<input type="radio"/>				
Amostra 2	<input type="radio"/>				
Amostra 3	<input type="radio"/>				
Amostra 4	<input type="radio"/>				
Amostra 5	<input type="radio"/>				

13. Análise a textura das amostras e as classifique de primeiro a quinto lugar em ordem decrescente* de importância (ordem do mais atraente para o menos atraente*)? *



Marcar apenas uma oval por linha.

	1o lugar	2o lugar	3o lugar	4o lugar	5o lugar
Amostra 1	<input type="radio"/>				
Amostra 2	<input type="radio"/>				
Amostra 3	<input type="radio"/>				
Amostra 4	<input type="radio"/>				
Amostra 5	<input type="radio"/>				

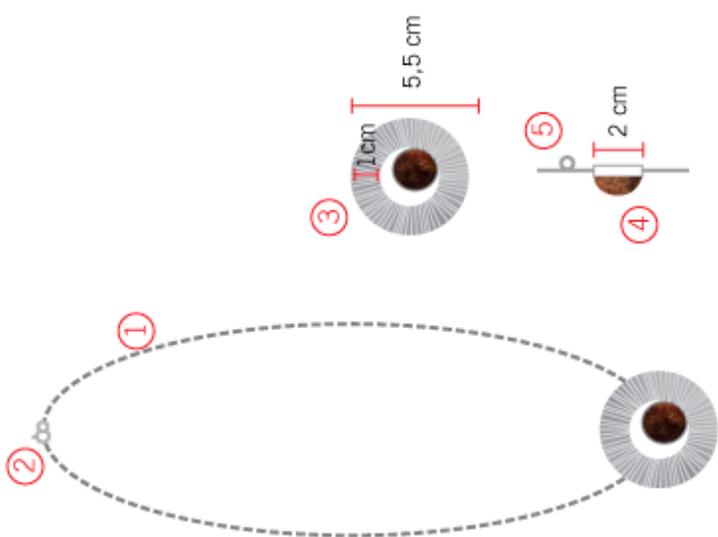
14. Você utilizaria uma joia contemporânea que apresentasse em sua composição um material reforçado com fibras de penas de frango? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

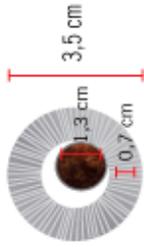
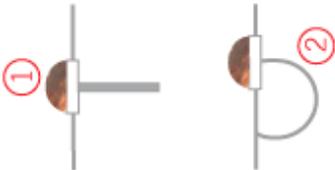
Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

FICHA TÉCNICA	
DESIGNER: Lívia Sampaio	COLEÇÃO: Filha do Sol
MODELO: Colar raio de sol	REFERÊNCIA: C001
<p> 1 Corrente de 70 cm; 2 Fecho; 3 Pingente com 5,5 cm de raio e abertura interna de 3,5cm de raio; 4 Composito com penas em formato cabochão com cravação inglesa; 5 Argola soldada na parte de trás para passar a corrente; </p> 	<p>MATÉRIA PRIMA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prata 950; - Composito reforçado com penas;
<p>OBSERVAÇÕES: Pingente apresenta um acabamento em riscas.</p>	

FICHA TÉCNICA

DESIGNER: Livia Sampaio	COLEÇÃO: Filha do Sol	MATÉRIA PRIMA: - Prata 950; - Composito reforçado com penas;
MODELO: Brinco raio de sol	REFERÊNCIA: B001	
		<ol style="list-style-type: none"> ① Pingente com 3,5 cm de raio e abertura interna de 2,1 cm de raio ② Composito com penas em formato cabochão com cravação inglesa; ③ Furo para passagem do gancho; ④ Gancho do brinco;
<p>OBSERVAÇÕES: Pingente apresenta um acabamento em riscas.</p>		

FICHA TÉCNICA	
DESIGNER: Lívia Sampaio	COLEÇÃO: Filha do Sol
MODELO: Anel raio de sol	REFERÊNCIA: A001
<p style="text-align: center;">  </p> <p> ① Pingente com 3,5 cm de raio e abertura interna de 2,1 cm de raio; composto reforçado com penas com 1,3 cm em formato cabochão, cravação inglesa; </p> <p> ② Anel com laterais arredondadas, 0,5cm de largura e Aro 17; </p> <p style="text-align: center;">  </p> <p>MATÉRIA PRIMA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prata 950; - Comósito reforçado com penas; 	
<p>OBSERVAÇÕES: Pingente apresenta um acabamento em riscas.</p>	