



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

JÉSSICA FERNANDA NEIVA VELOSO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO ECOLÓGICO DE FIBRA PROTEICA
PARA SUBSTITUIÇÃO DO MDF NO ECODESIGN MOBILIÁRIO**

Teresina

2024

JESSICA FERNANDA NEIVA VELOSO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO ECOLÓGICO DE FIBRA PROTEICA
PARA SUBSTITUIÇÃO DO MDF NO ECODESIGN MOBILIÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mendes de Souza
Coorientador: Prof. Dr. João Batista Lopes
Coorientador(a): Prof. Dra. Wilza Gomes Reis
Lopes

Teresina

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

S676d Soares, Jessica Fernanda Neiva Veloso.
Desenvolvimento de compósito ecológico de fibra proteica para substituição do MDF no ecodesign mobiliário / Jessica Fernanda Neiva Veloso Soares. -- Teresina, 2024.
74 f.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2024.

“Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mendes de Souza”.
“Coorientador: Prof. Dr. João Batista Lopes”.
“Coorientador(a): Prof. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes”.

1. Compósito ecológico. 2. Fibras naturais. 3. Pena de frango. 4. MDF. I. Souza, Jefferson Mendes de. II. Lopes, João Batista. III. Lopes, Wilza Gomes Reis. IV. Título.

CDD 620.112

JESSICA FERNANDA NEIVA VELOSO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO ECOLÓGICO DE FIBRA PROTEICA
PARA SUBSTITUIÇÃO DO MDF NO ECODESIGN MOBILIÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

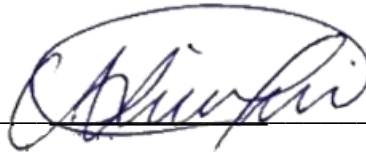
Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mendes de Souza
Coorientador: Prof. Dr. João Batista Lopes
Coorientador(a): Prof. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes

Aprovado em: 29 de fevereiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br JEFFERSON MENDES DE SOUZA
Data: 09/03/2024 18:51:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jefferson Mendes de Souza
(Presidente e Orientador)



Prof. Dr. José Ivan de Medeiros
(Membro Externo - UFRN)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO BARBOSA FURTINI
Data: 01/03/2024 14:20:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini
(Membro Interno - UFPI)

Documento assinado digitalmente
gov.br PAULO ROBERTO RAMALHO SILVA
Data: 04/03/2024 17:26:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva
(Membro interno - PRODEMA/UFPI)

Dedico este trabalho ao meu esposo e meus pais, que me apoiaram a sempre seguir minha vocação e meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

O mestrado foi um desafio acadêmico, profissional e sobretudo pessoal, que agregou muito nas minhas escolhas, e no modo de pensar sobre a vida, nada disso teria sido possível sem fé e sem a participação de pessoas que colaboraram de forma significativa nessa assídua conquista.

Agradeço primeiro a Deus por ser um pai de amor que me deu forças e sempre me dá oportunidades de realizar meus sonhos, me ajudou a ter fé para percorrer esse desafio, a minha mãezinha do céu, Nossa Senhora das Graças, todas as bençãos até aqui alcançadas são por meio das suas divinas intercessões.

Sobretudo, aqueles que sempre me apoiaram em toda a minha jornada, nunca me deixaram desistir e sempre me incentivaram a prosseguir na carreira acadêmica, a minha amada família, meu esposo Bruno Ferreira Ribeiro, meus pais Jefferson Veloso e Roselice Neiva, e minha amada avó Anália de Neiva Lima.

Agradeço também ao meu orientador, professor doutor Jefferson Mendes de Souza, que me apresentou esse ramo de pesquisa de compósitos e sempre me prestou todo o apoio e orientação necessária, sendo uma das peças fundamentais nesse trabalho.

Agradeço aos meus coorientadores: professor doutor João Batista Lopes e professora doutora Wilza Gomes Reis Lopes pelos auxílios e contribuições que foram de fundamental importância.

Agradeço também ao meu colega de pesquisa acadêmica Roniê Bezerra da Silva, que agregou de forma singular nos ensaios laboratoriais e que sempre me prestou toda a ajuda possível na pesquisa desse trabalho, por todo o apoio e dedicação.

Obrigada a todos por me apoiarem e idealizarem essa conquista.

RESUMO

Um dos grupos de materiais que mais gera impactos ambientais na sua extração e fabricação são os materiais lenhosos, assim como seus derivados, como o *Medium Density Fiberboard (MDF)*, pois dependem de uma matéria prima que tem sua retirada em grande parte de maneira prejudicial da natureza, efetuando gasto excessivo de fonte de energia durante sua produção, provocando emissão de gases que intensificam o efeito estufa. Diante dessa problemática, é necessário buscar novos compósitos ecológicos que possam substituir o MDF de maneira satisfatória. Assim, o objetivo principal desse estudo é desenvolver um composto a base das plumas da pena de frango e resina, que possa ser compatível para a substituição do MDF, atendendo os parâmetros normativos na aplicação do desenvolvimento de mobiliários. Utilizou-se como metodologia a pesquisa experimental, onde foram realizados os testes padrões de caracterização da matéria, segundo suas respectivas normativas. Obteve-se como resultados, que no ensaio de Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), foi identificado que os picos das amostras de pena de frango apresentaram um aumento em seu estiramento, verificando que de fato houve relação de homogeneização entre as fibras utilizadas no compósito e a resina. No ensaio de absorção a amostra que obteve maior infiltração foi a A85, já no ensaio de inchamento em espessura todas as amostras apresentaram valores que se adequam a normativa, com índices inferiores a 12%, sendo a amostra A85, a que obteve o maior índice de capacidade de inchaço com 2,89%. Observa-se através do ensaio de impacto que, desconsiderando a amostra de controle que possui apenas resina, a classe de amostras que apresentou melhor desempenho foi a A85, com média de 21,86 J. Através desse estudo, foi possível desenvolver um material ecologicamente eficaz capaz de substituir o MDF, que possa ser inserido na classe de biomateriais e utilizado especialmente em móveis e estruturas projetadas, além disso, o composto deverá possuir bom desempenho e resistência mecânica. Dentre as amostras estudadas, a que apresentou melhores resultados foi a A70, que possui apenas 30% de resina e 70% de pena de frango.

Palavras-chaves: Compósito ecológico. Fibras naturais. Pena de frango. MDF.

ABSTRACT

One of the groups of materials that generate the most environmental impacts in their destruction and manufacturing are woody materials, as well as their derivatives, such as Medium Density Fiber Panel (MDF), as they depend on a raw material that is largely removed in a way that is harmful to nature, causing excessive expenditure on energy sources during its production, causing the emission of gases that intensify the greenhouse effect. Faced with this problem, it is necessary to look for new ecological compounds that can satisfactorily replace MDF. Thus, the main objective of this study is to develop a composition of chicken feathers and resin, which can be compatible for replacing MDF, meeting regulatory parameters in the application of furniture development. Experimental research was used as a methodology, where standard tests to characterize the matter were carried out, according to their respective regulations. The results obtained were that in the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) test, it was identified that the peaks of the chicken feather samples contained an increase in their stretching, verifying that there was in fact a homogenization relationship between the fibers. used in composite and resin. In the sampling test, the sample that obtained the greatest infiltration was A85, while in the inch thickness test, all samples presented values that comply with the regulations, with rates lower than 12%, with sample A85 being the one that obtained the highest rate. inflation capacity at 2.89%. It can be observed through the impact test that, disregarding a control sample that only contains resin, a class of samples that showed better performance was A85, with an average of 21.86 J. Through this study, it was possible to develop an ecologically friendly material effective capable of replacing MDF, which can be included in the class of biomaterials and used especially in furniture and engineered structures, in addition, the composite must have good performance and mechanical resistance. Among the samples studied, the one that presented the best results was A70, which has only 30% resin and 70% chicken feather.

Keywords: Ecological composite. Natural fibers. Chicken feather. MDF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ordem de prioridade de geração de resíduos.....	20
Figura 2- Comparativo dos modelos de produção “Fast Furniture” x “Slow Furniture”	25
Figura 3- Composição estrutural das penas.....	28
Figura 4- Tipos gerais de penas.....	29
Figura 5- Classificação das resinas.....	33
Figura 6- Processo de separação do material.....	36
Figura 7- Secagem e trituração.....	37
Figura 8- Processo de mistura manual das matérias.....	37
Figura 9- Resultado das amostras moldadas.....	39
Figura 10- Espectrofotômetro PERKIN ELMER 100.....	40
Figura 11- Processo de testagem de absorção e inchaço.....	40
Figura 12- Prensa EMIC DL 20000.....	41
Figura 13- Aplicação de cargas no teste de tração.....	42
Figura 14- Exemplificação do ensaio de impacto.....	43
Figura 15- Microscópio eletrônico scanner modelo Nova NanoSEM 200.....	44
Figura 16- Aspecto de homogeneização visual da amostra A70.....	46
Figura 17- Corte transversal 7,30 μm a 8,77 μm	54
Figura 18- Corte transversal 3,42 μm a 8,47 μm	54
Figura 19- Corte logintudinal.....	55
Figura 20- Corte logintudinal.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Classificação dos painéis de MDF módulo de densidade.....	22
Tabela 02- Classe de MDF conforme circunstâncias de aplicação.....	23
Tabela 03- Produção mundial de frango entre 2021 e 2023.....	27
Tabela 04- Relação de materiais.....	35
Tabela 05- Relação de amostras.....	38
Tabela 06- Testes aplicados nas amostras.....	39
Tabela 07- Relação de pesos das amostras.....	47
Tabela 08- Relação de pesos das amostras do teste de inchaço.....	49
Tabela 09- Seleção de Amostras segundo ensaios laboratoriais.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01- FTIR amostral.....	45
Gráfico 02- Índices de absorção de água.....	47
Gráfico 03- Índices de inchamento.....	50
Gráfico 04- Análise de resistência por tração.....	51
Gráfico 05- Análise do índice de flexão.....	52
Gráfico 06- Relação de energia de impacto por variação amostral.....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas	ABNT
Corpos de Provas	CP
Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier	FTIR
Field emission scanning electron microscopy	FESEM
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia	IMAZON
Medium Density Fiberboard	MDF
Norma Brasileira Regulamentadora	NBR
Política Nacional de Resíduos Sólidos	PNRS
Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas	SEBRAE
Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira	SIMEX

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 Objetivos	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Sistematização metodológica	16
1.4 Estruturação da pesquisa	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 A urgente demanda de materiais sustentáveis	19
2.2 Fibras de Madeira de Média Densidade (MDF)	22
2.3 <i>Ecodesign</i> mobiliário	23
2.4 Fibras de pena de frango	26
2.5 Materiais compósitos e fibras naturais	31
2.6 Resinas	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Materiais	35
3.2 Métodos	36
3.2.1 Elaboração do compósito	36
3.2.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	39
3.2.3 Absorção e Inchaço	40
3.2.4 Tração e flexão	41
3.2.5 Impacto	43
3.2.6 Morfologia	43
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
4.1 FTIR	45
4.2 Taxa de Absorção de água	46
4.3 Inchamento em espessura.....	48
4.4 Tração.....	50
4.5 Flexão	51
4.6 Impacto	53
4.7 Morfologia	54
4.8 Seleção amostral	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	60
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é considerado um dos setores de maior contribuição para o desenvolvimento econômico e social, entretanto, também representa um dos grupos de atividades que mais gera danos ambientais, tanto no processo de fabricação dos materiais como na execução dos serviços e na geração excessiva de resíduos não recicláveis (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Assim, um dos grupos de materiais que mais gera impactos ambientais na sua extração e fabricação são os materiais lenhosos, assim como seus derivados, como o *Medium Density Fiberboard (MDF)*, que se trata de um aglomerado em chapa com miolo composto de resíduos de madeira como pó e serragem, adicionando ao processo de fabricação resina e cola. Após a prensa se transforma em painel de madeira, sendo aplicado principalmente na confecção de portas, pisos vinílicos, divisórias e especialmente no setor de móveis, com finalidade de acabamentos e uso humano.

Esse tipo de material ganhou grande destaque no mercado atual, pela sua praticidade e baixo custo quando comparado com a madeira, porém, ainda se trata de um composto que depende de uma matéria prima que tem sua retirada em grande parte de maneira prejudicial da natureza, além disso, também efetua gasto excessivo de fonte de energia durante sua produção, provocando emissão de gases que intensificam o efeito estufa (DE CAMPOS, 2012).

Dessa forma, buscando atender à crescente demanda de materiais que a indústria demanda, se torna necessário buscar novas tecnologias que viabilizem o reaproveitamento de matérias primas para a produção de novos materiais, que ofereçam resistência e qualidade, além de diminuir o impacto gerado pela extensa cadeia de retirada de madeira (FERNANDES, 2019).

De acordo com dados do Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (SIMEX) coletados entre agosto de 2020 e julho de 2021, que é conduzido pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), cerca de 40% da extração de madeira na Amazônia é irregular, o cenário se precariza ainda mais devido a retirada de material lenhoso em unidades de conservação indígena, que chegam a atingir cerca de 15% de todo o material ilegal retirado da região amazônica.

Além disso, também deve ser considerado o período de plantação e amadurecimento das árvores, para coleta da matéria, considerando o eucalipto e o pinus que são as duas principais espécies de árvores utilizadas como matéria prima na produção do MDF, estima-se uma média de 7 a 12 anos para obtenção final de matéria (EMBRAPA, 2020).

Minutti (2018) pontua que existe possibilidade em diminuir custos e impactos gerados na produção de materiais da construção civil, ligados às descobertas que os resíduos vegetais e animais podem oferecer, como a capacidade de substituir materiais sintéticos e em alguns casos aprimorar produtos já existentes.

Perante o exposto, tem se aprofundado a pesquisa em reaproveitamento de resíduos que possuem componentes que podem substituir o MDF tradicional, agregando aspectos sustentáveis ao produto e mantendo o mesmo desempenho (SANTANA; ARAGÃO JÚNIOR; EL-DEIR, 2020).

De acordo com o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), em 2019 O Brasil foi considerado o segundo maior produtor de frango do mundo com cerca de 13,06 milhões de toneladas/ano, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que produz mais de 18,5 milhões de toneladas/ano. A União Europeia e China vêm a seguir, com uma produção de 11,7 e 11,6 milhões de toneladas/ano respectivamente. O Brasil, no entanto, foi o maior exportador com 4,3 milhões de toneladas/ano, contra 3,3 milhões de toneladas/ano dos Estados Unidos.

Acompanhando o principal objetivo da produção aviária que é a carne, gera-se um resíduo pouco valorizado e que acaba muitas vezes sendo descartado no meio ambiente sem nenhum fim de reaproveitamento útil, gerando uma quantidade degenerada de resíduos, além de intensificar a proliferação de vetores como moscas, mosquitos e a geração de gás metano devido a decomposição do resíduo (VICENTIN; DE OLIVEIRA, 2019).

Sendo assim, torna-se necessário buscar formas de reaproveitar a pena no desenvolvimento de materiais compósitos, dessa forma, a problemática que rege esse trabalho está pautada em descobrir como a pena de frango pode ser empregada na fabricação de compósitos que buscam substituir o MDF, atendendo suas características, físicas e mecânicas no setor de produção moveleiro.

Essa pesquisa justifica-se pela necessidade em intensificar a produção de materiais sustentáveis dentro do campo do ecodesign, perante a abundante quantidade de resíduos gerados pela indústria agropecuária, com foco na produção

de aves, para que possa existir destinação apropriada, reduzindo assim em ambos os setores, os impactos gerados nos ciclos de produções e consumos tradicionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral dessa pesquisa é desenvolver um compósito a base das plumas da pena de frango e resina, que possa ser compatível para a substituição do MDF, atendendo seus parâmetros normativos na aplicação do desenvolvimento de mobiliários.

1.2.2 Objetivos específicos

Além disso, também possui como objetivos específicos:

- Estudar as características e composição da pena de frango;
- Apresentar a formulação do material e seus respectivos testes de desempenho, bem como expor o impacto do desenvolvimento desse material no âmbito da construção civil e da agropecuária;

1.3 Sistematização metodológica

No que se refere a natureza da pesquisa, é possível classificá-la como aplicada, visto que a mesma se propõe a gerar conhecimento para uma aplicação prática, em um contexto do cotidiano (PEREIRA *et al.*, 2018).

A pesquisa possui abordagem quantitativa, onde se buscar coletar dados que podem ser analisados de forma numérica, limitando-se a um objetivo específico, como no caso desse trabalho será a formulação de um compósito a base de pena e resina (MAZUCATO *et al.*, 2018).

Quanto aos objetivos desse estudo, é possível conceituá-los como descritivos, visto que os mesmos são pautados em discorrer acerca do processo de formulação e aplicação do material (PEREIRA *et al.*, 2018)

A respeito do método utilizado no desenvolvimento dos objetivos desse trabalho, optou-se por desenvolver um estudo que conta com o aparato bibliográfico

para caracterizar os insumos que foram utilizados no desenvolvimento do material (pena de frango e resina) como também para comparar os resultados com materiais similares desenvolvidos por outros atores.

Dessa forma, utilizou-se ainda de pesquisa experimental para a formulação do material compósito, visando realizar os testes padrões de caracterização da matéria, segundo suas respectivas normativas, que identificam a composição química, resistência mecânica, tração, níveis de dureza e seu comportamento em contato com substâncias líquidas, para que possa ser verificado se de fato o material atende aos objetivos propostos por esse estudo e de que forma podem ser melhorados perante as comparações das proporções de fibras e resinas estabelecidos nas variações percentuais das amostras desenvolvidas.

1.4 Estruturação da pesquisa

Esta dissertação é contemplada por meio de cinco capítulos, inicialmente o primeiro capítulo contempla a introdução do trabalho, apresentando a temática abordada, assim como os objetivos, a classificação metodológica e a estruturação da pesquisa. Logo depois, é exposto o Referencial Teórico, que é desenvolvido por meio de levantamento bibliográfico, abordando os principais conceitos técnicos referente ao tipo de material desenvolvido, como: compósitos, fibras naturais de penas, ecodesign mobiliário, *slowfurniture*, resinas, bem como dados de pesquisas que confirmam a viabilidade da pesquisa por arranjos técnicos e disponibilidade de matéria prima, ajudando no entendimento teórico da temática abordada. Posteriormente, são percorridos os três últimos capítulos: Materiais e Métodos, Análise e Discussão dos Resultados e Conclusões.

No capítulo três de Materiais e Métodos é apresentado o desenvolvimento laboratorial do produto, contemplando as matérias primas aplicadas e o processo, bem como, detalha os ensaios normativos realizados, com o objetivo de caracterização do material, sendo eles: Morfologia por Microscopia eletrônica, FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier), testes com fluídos como absorção e inchaço, testes mecânicos de tração, flexão, impacto e dureza.

Logo após, no capítulo quatro de Análise e Discussão dos Resultados, são analisados os dados obtidos por meio dos testes experimentais, além disso, os resultados obtidos também são comparados com outros estudos semelhantes e seus

respectivos índices normativos, analisando ainda qual amostra atende de fato a proposta do estudo.

Para finalizar, no capítulo cinco é descrito as conclusões do estudo por meio da análise dos resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa, além de contemplar observações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A urgente demanda de materiais sustentáveis

A construção civil é um dos setores industriais que mais corrobora para a ascensão social e econômica do Brasil, tanto pela geração de renda, como pela criação de infraestruturas que impactam o desenvolvimento da sociedade como um todo, no entanto, esse crescimento tem gerado efeitos negativos na área ambiental, pois além do grande consumo de recursos naturais e de energia para produção e materiais, grande parte desses materiais acabam se tornando resíduos que são descartados de maneira incorreta, sem nenhum tratamento adequado, sendo jogados em lixões, acabam contribuindo com o aumento do efeito estufa (DA SILVA JUNIOR; DOS SANTOS; DOS SANTOS ARAUJO, 2022).

Dentro do grupo de fibras animais, existe uma série de elementos com potencial aproveitamento para o desenvolvimento de compósitos naturais, como as penas, que possuem coeficientes de durezas compatíveis, além de possuírem boa durabilidade e design inovador com caráter rústico (LANES, 2017).

Os resíduos sólidos oriundo dos abatedouros avícolas são formados em sua grande maioria por ossos, sangue e penas, que, além de apresentarem alto potencial poluente, podendo ser também podem fonte de transmissão de doenças (SUNADA *et al.*, 2015).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2021 o Brasil foi o segundo maior produtor de carne de frango no mundo, com 15,4 mil toneladas.

Nesse sentido, é notável que a produção de frangos no Brasil, geram um número significativo de resíduos, principalmente de penas, que é uma potencial fibra no uso de compostos, dessa forma, é necessário buscar o reaproveitamento desse material, para reduzir o volume de resíduos que acabam agravando a crise ambiental no Brasil e no mundo.

Devido a crescente e emergente demanda ambiental que o país vem passando, foi promulgado a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Lei de Resíduos Sólidos) que se objetiva a adequar o gerenciamento de resíduos às legislações e normativas existentes, promovendo a preservação ambiental por meio de diversas ações públicas.

Segundo a Lei de Resíduos Sólidos, os materiais podem ser classificados conforme sua origem e quanto ao nível de periculosidade (resíduos perigosos e não perigosos), assim, a pena de frango se enquadra como um material não perigoso, inserido na classe proveniente de resíduos da indústria agrônômica (BRASIL, 2010).

É importante ressaltar, que essa determinação legislativa foi formulada com o objetivo de gerir a destinação final dos resíduos além de dar responsabilidade dessa finalização aos seus devidos geradores, sejam eles pessoas físicas ou empresas, fazendo com que todo resíduo seja processado adequadamente antes da destinação final, assim, dentre as soluções estão a reciclagem, práticas de educação sanitária e ambientais, logística reversa, coleta seletiva e compostagem (BRASIL, 2010).

Conforme dispõe o Art. 9º da Lei 12.305 que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o gerenciamento de resíduos possui ordem de prioridade, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Ordem de prioridade de geração de resíduos



Fonte: Autora (2023)

Existe ainda outra classificação normativa dos resíduos, segundo a NBR 10.004, que define a classificação de resíduos como sendo um processo que envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, além de seus constituintes e características com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente, dessa forma, a classificação é realizada em duas formas, a classe I que abrange os resíduos perigosos e a classe II, que inclui os resíduos não perigosos, sendo subdividida ainda em não inertes e inertes (ABNT, 2004).

Os resíduos não inertes (classe II-A) não possuem tendência a sofrer uma reação química, assim como podem apresentar propriedades biodegradáveis, comburentes ou solúveis em água, enquanto os inertes (classe II-B), são um tipo de material que quando em contato com água, não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas, mantendo-se inalterados por um longo período de tempo, sendo assim, o resíduo proveniente do coco após ser utilizado, se classifica como um resíduo não perigoso (ABNT, 2004)

Grande parte da produção de penas está ligado aos frigoríficos e batedouros, onde acabam despejando os resíduos em lixões e aterros, sem destinação correta do material, essa ação causa uma série de impactos ambientais e de gestão, como: a proliferação de vetores, impacto visual nos espaços públicos e privados, contaminação do solo, ocupação de grandes espaços nos aterros sanitários, emissão de gases, além de sobrecarregar o sistema público de coleta de lixo, dessa forma, é de grande valia o reaproveitamento desse resíduo para a geração de novos materiais reciclados (GEDOZ, 2014).

Quanto a isso, a Lei de Resíduos (2010) Art.47, posiciona que:

São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos: I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos; II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade; IV - outras formas vedadas pelo poder público (BRASIL, 2010).

Portanto, é de grande valia para a sociedade como um todo que sejam desenvolvidos métodos de reutilização das penas na criação de novos materiais compósitos.

2.2 Fibras de Madeira de Média Densidade (MDF)

Com o passar dos avanços tecnológicos, o setor de materiais também passou por novas formulações, em busca de materiais mais compactos e que oferecessem desenvolvimento similar, a madeira pura que sempre foi classificada como um dos materiais mais utilizados em todos os setores de produção como matéria prima básica, passou a ser substituída pelo MDF, que reformulada se caracteriza como um painel de aplicação não estrutural, composto por fibras de madeira com umidade inferior a 20% na linha de formação, por meio de uma laboração seca, com densidade variante de 631 kg/m³ a 800 kg/m³, passando por um processo de calor e pressão com aditivos de adesivo sintético (KREUTZ *et al.*, 2019).

Em sua grande parte, o MDF é aplicado na produção de mobiliário para os mais diversos ambientes, como hospitais, restaurantes, lojas, espaços residenciais e públicos, ou ainda como revestimentos e divisórias (GURGEL, 2020).

De acordo com a segunda Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 15316:2019 afirma que os painéis de MDF podem ser classificados conforme a densidade de sua matéria e suas respectivas dimensões, como indicado na Tabela 01.

Tabela 01- Classificação dos painéis de MDF módulo de densidade

Densidade (kg/m ³)	Faixas de espessura (mm)					
	≤ 6,0	> 6,0 a 9,0	> 9,0 a 12,0	> 12,0 a 19,0	> 19,0 a 30,0	> 30,0
> 800	HDF	HDF	-	-	-	-
651 a 800	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF
631 a 650	-	<i>light</i>	<i>Light</i>	<i>Light</i>		
551 a 630	-				<i>Light</i>	<i>Light</i>
450 a 550	-	-	<i>Ultralight</i>	<i>Ultralight</i>	<i>Ultralight</i>	<i>Ultralight</i>

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15316:2019

Outra faixa de classificação apresentada pela (NBR) 15316:2019 aponta quanto suas condições de uso, que relaciona sua aplicação com a conjuntura da sua utilização, nos aspectos de temperatura e umidade do ambiente que o material pode ser aplicado conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02 – Classe de MDF conforme circunstâncias de aplicação

Classe do Material	Descrição	Circunstâncias do ambiente
HDF	Alta densidade	Uso geral em local seco
HDF.H	Alta densidade	Condições úmidas
MDF	Não estrutural	Condições secas
MDF.H	Não estrutural	Condições úmidas
MDF.LA	Não estrutural (carga permanente)	Condições secas
MDF.HLS	Estrutural (carga instantânea ou de pequena duração)	Condições úmidas
L- MDF	Light – não estrutural	Condições secas
L- MDF.H	Light- não estrutural	Condições úmidas
UL1-MDF	Ultralight – Não estrutural (Resistência mecânica limitada)	Ambientes secos
UL2-MDF	Ultralight – não estrutural – Resistência mecânica superior	Condições em ambientes secos
MDF.RWH	-	Divisórias, forros e paredes

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15316:2019

2.3 Ecodesign mobiliário

O termo *ecodesign* trata-se da junção entre materiais, processos e técnicas que buscam desenvolver soluções que possam aglomerar funcionalidades e explorar a sustentabilidade aliada a conjuntura estético visual do produto (PALMA *et al.*, 2022)

Outras nomenclaturas comuns para essa expressão dar-se através de “eco-design”, “desenho ecológico” ou ainda “projeto para o meio ambiente” que possui como narrativa central a configuração de um determinado produto que analise seus resultados sobre o meio ambiente, partindo desde a designação da matéria-prima, processos de desenvolvimento, carregamento, entrega, utilização e descarte final (PALMA *et al.*, 2022).

Pinheiro (2017) pontua que o Ecodesign atua como uma abordagem que é baseado na redução de impactos ambientais gerados por um produto, onde em paralelo é capaz de manter seu desempenho em questões de utilização, beneficiando a qualidade de vida dos usuários em tempos atuais e futuros.

Essa vertente vai muito além da idealização de um produto sustentável, também atua como modificador de hábitos do consumidor, em razão da mudança

comportamental gerada de uma sociedade de produtos “descartáveis” para uma postura de artigos reutilizáveis. Apesar de ser um termo comparativamente novo se comparado com a história do desenvolvimento industrial, foi em meados da década de 90 que essa temática passou a ser impulsionada (BRAGA, 2014).

Assim, o *Ecodesign* apresenta-se como um grupo específico de práticas de projeto, orientadas ao desenvolvimento de produtos e processos eco eficientes, baseados no cumprimento de ambientais, segurança e saúde durante período de vida do produto, com o propósito de criações ambientalmente eficientes, sem comprometer os custos, qualidade e restrições de tempo para a fabricação. Desta maneira, para que sejam alcançados os objetivos relativos aos compromissos ambientais, é demandada a adoção de práticas projetuais para a recuperação de materiais e componentes, utilização de materiais não contaminantes, recuperação e reutilização de resíduos, redução do consumo de energia, concepção de itens multifuncionais, entre outras medidas (FONTGALLAND, 2022).

Palma *et al.* (2022) afirmam ainda que as ações de reciclagem e reaproveitamento de matérias são particularidades fundamentais em um projeto de design de novos produtos, além de se caracterizarem como um critério positivo frente ao competitivo mercado econômico, pois a imagem de sustentabilidade pode ser adotada como estratégia inovadora na criação de projetos empreendedores.

Logo, o comércio de produtos de caráter ambientalmente correto cria um novo portfólio de propostas e oportunidades, além disto, esse avanço cria uma abordagem, nomeada por meio dos prefixos “eco” e “bio”, baseada na disposição de neologias pretensas a esta demarcação. Devido a isso, o *ecodesign* pode ser aplicado nos mais variados setores econômicos, com grande destaque para o mercado moveleiro, frente a substituição das matérias primas habitualmente usadas, que podem ser substituídas por materiais bio compósitos (DIRYANA; KURNIAWAN, 2015).

O mercado moveleiro possui índices concretos de demanda comercial, que faz com que aumente seu potencial de execução com novos materiais, só em 2021 foi verificado uma crescente de 9,28 % na receita da indústria moveleira no Brasil, o que representa cerca de R\$78 milhões, totalizando uma faixa de 443 mil peças produzidas (RODRIGO, 2022).

O reaproveitamento de materiais é uma das temáticas que mais vem se intensificando no mundo todo, com a intensificação da reciclagem e da pesquisa de materiais compósitos que possam ressignificar as matérias primas já utilizadas, nessa

linha de desenvolvimento, a indústria de móveis não fica de fora (AZAMBUJA; CASTRO; TRIANOSKI; IWAKIRI, 2018).

Existe ainda, o termo “*Slow Furniture*” (móvel lenta), que defende a aquisição de móveis mais duradouros e sustentáveis, diminuindo a procura por produtos fabricados com matéria-prima barata e descartável, propostos no modelo “*Fast Furniture*”, detalhados na Figura 2.

Figura 2- Comparativo dos modelos de produção “*Fast Furniture*” x “*Slow Furniture*”

Fast Furniture	Slow Furniture
Produção em massa para grandes varejistas	Evita a produção em massa
Estrutura pobre	Móveis robustos feitos para durar gerações
Contém toxinas prejudiciais à saúde	Utiliza recursos sustentáveis
Requer muita energia para ser feito	Leva mais tempo para ser fabricado
Fabricado com materiais baratos	Custa mais, porém não desvaloriza
Destinado ao aterro sanitário	Pode ser passado entre gerações
Pouca durabilidade	Altamente durável
Trabalhadores mal remunerados	Toda cadeia produtiva é valorizada
Compra e entrega rápida	Vale a pena esperar
Móveis sem personalidade	Causa boa impressão entre os amigos
Opções são limitadas	Oferece melhor experiência de compra

Fonte: Bell'Arte (2022)

Com essa inclinação ecológica, grande parte dos projetos mobiliários que são desenvolvidos passaram a ter cunhos sustentáveis, seja na diminuição de resíduos ou com a utilização de fibras naturais ou derivados de produtos reciclados.

Palma *et al.* (2022) aponta através do seu estudo do reaproveitamento do MDF pós consumo, através do pó do material e resina, é possível obter uma melhor compreensão do processo de acabamento estético do ponto de vista ambiental, o que pode contribuir para seu sucesso em termos de mercado, além de fornecer uma base científica para o desenvolvimento de novos materiais compósitos, processos e usos para matérias primas comuns, visando uma melhor adequação ao futuro dos projetos de design, economia solidária e gestão dos materiais de construção.

Deste modo, o desenvolvimento de materiais sustentáveis apoia a economia solidária, que se trata do conjunto de atividades econômicas, envolvendo todo o ciclo,

como: produção, distribuição, consumo, poupança e crédito, ordenadas sob a forma de autogestão, de modo que a administração da empresa seja feita pelos seus membros de forma democrática.

Dessa maneira, assumir um modelo de economia solidária ocasiona a valorização de ações de colaboração, solidariedade e coletividade, proporcionando relações mais justas entre pessoas e empresas, do ponto de vista social, além de serem mais sustentáveis pelo lado econômico e ambiental (SEBRAE, 2023).

2.4 Fibras de pena de frango

As penas podem ser conceituadas como a parte referente a cobertura externa das aves, com uma estruturação central sólida, ligada por fibras em suas extremidades. No processo de separação da carne de frango para consumo nos frigoríficos, as penas acabam sendo retiradas e descartadas, tornando-se resíduos ambientais. Devido a isso, existem processos de descartes na indústria da avicultura, como: dispensa em aterros, combustão do material e fabricação de ração animal, porém, todos apresentam consequências desfavoráveis para o ecossistema (ALONSO, 2017).

As penas são estruturas básicas das aves, variando em cores, tamanhos e formas de acordo com suas funções e posições no corpo dos animais. São estruturas mortas quando atingem seu desenvolvimento final, assim como os pelos no corpo dos mamíferos. As penas são formadas a partir de folículos provenientes da epiderme. Penas são características distintivas das aves, uma vez que penas nas asas destes animais permite que eles voem, utilizando o movimento do punho para produzir um fluxo de ar sobre as penas primárias das asas para gerar ascensão durante o voo (TEIXEIRA, 2017).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022 foram produzidas 14.400 mil toneladas de carne de frango no Brasil, com prospecção de crescimento para 2023, como exibido na Tabela 03.

Tabela 03- Produção mundial de frango entre 2021 e 2023

TENDÊNCIA DE PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARNE DE FRANGO EM 2023 (MIL TONELADAS)							
PAÍS PRODUTOR	2021	2022 (PRELIMINAR)	2023 (1° PREVISÃO)	VARIÇÃO		% DO TOTAL EM 2023	
				DE 2021 P/2022	DE 2022 P/ 2023		
1	EUA	20391	20845	21284	2,20%	1,50%	20,66%
2	BRASIL	15400	14400	14745	-0,70%	3,10%	14,32%
3	CHINA	14700	14300	14300	-2,70%	0,00%	13,89%
4	UNIÃO EUROPEIA	10860	10920	10970	0,60%	0,50%	10,66%
5	ÍNDIA	3815	300	4060	2,20%	2,60%	3,94%
6	RÚSSIA	3220	3270	3430	1,60%	2,80%	3,33%
7	MÉXICO	1841	1750	1825	-4,90%	0,00%	1,77%
8	ARGENTINA	1775	1790	1780	0,80%	0,30%	1,73%
9	TURQUIA	1570	1577	1605	0,40%	1,80%	1,56%
10	TAILÂNDIA	1343	1300	1360	-3,20%	4,60%	1,32%
SUBTOTAL		74015	74052	75359	0,00%	1,50%	73,21%
DEMAIS		26495	26879	27583	1,40%	2,60%	26,79%
TOTAL		100510	100931	102942	0,40%	1,80%	100,00%

Fonte: Adaptado de AVISITE (2023)

O Brasil atualmente é o segundo maior produtor de frango no ranking mundial de acordo com os dados apresentado pelo IBGE em 2022, sendo esse tipo de proteína a mais consumida no país, o que mostra que a geração de penas, é uma matéria prima abundante, com grande disponibilidade, e dessa forma, boa prospecção para utilização em materiais compósitos, pois possui valor acessível e características que viabilizam o reuso da matéria.

Unidos aos fatores econômicos e ambientais, o emprego dos subprodutos derivados do abate de frango torna-se de grande interesse industrial diante da sua composição química, geralmente, com altas concentrações de proteínas, queratinas e lipídeos de alto valor biológico, que podem se transformar em novos produtos com diferentes características (MORA; REIG; TOLDRÁ, 2014).

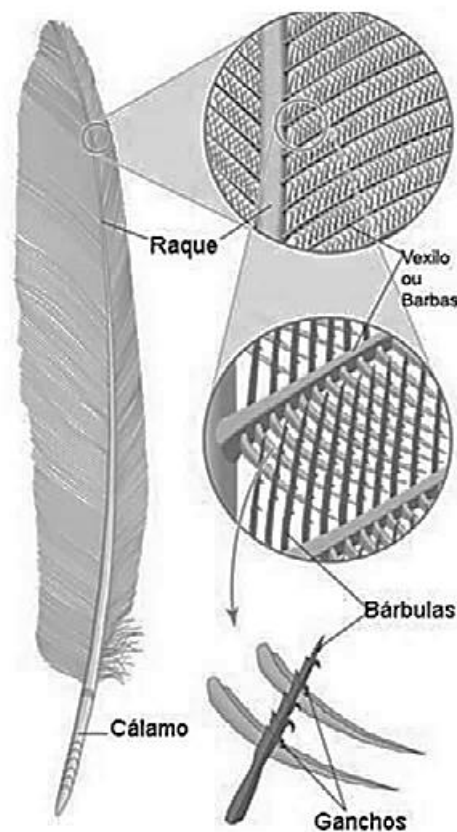
A queratina classifica-se como proteína fibrosa, insolúvel em água e com papel basicamente estrutural, outra característica peculiar da queratina é a grande quantidade de resíduos de cisteína, responsável por cerca de 7 a 13% do conteúdo total de aminoácidos (FEROZ *et al.*, 2020).

Assim, as penas de frango são consideradas um desses subproduto com grande potencial tecnológico, principalmente devido a sua elevada concentração de proteínas, aproximadamente 90%, com destaque para a queratina (SANTOS, 2023).

Dessa forma, Santos (2023) afirma também que as penas são fontes naturais de fibras proteicas, formadas pela condensação de aminoácidos para produzir unidades de poliamida, repetidas com vários substituintes do átomo de carbono. A sequência e a tipologia de aminoácidos que integram as cadeias proteicas individuais auxiliam no desenvolvimento das características gerais da fibra resultante, como elasticidade moderada, movimento de umidade, absorção e ampla resistência.

Conforme a Figura 3, Bessa *et al.* (2017) elenca que as principais partes das penas podem ser divididas entre: barba, bárbules e raque.

Figura 3- Composição estrutural das penas



Fonte: Aprile (2015)

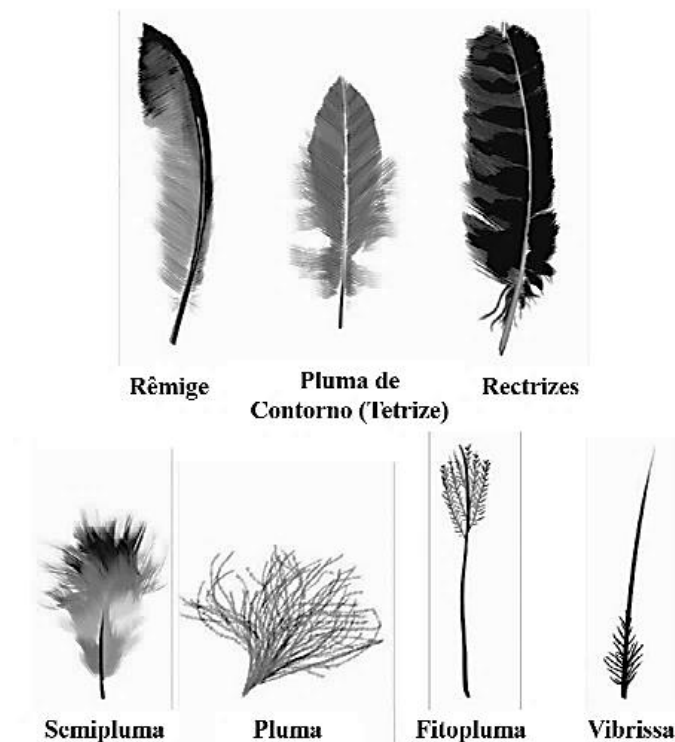
A raque atravessa toda a extensão da pena, é a parte central da pena, a extensão do cálamo e trata-se da estrutura eixo da pena. O vexilo, também popularmente conhecido como “barbas”, são consideradas as fibras da pena e o principal elemento do vexil, chegam a variar seu comprimento entre 1 e 4,5 cm, dependendo do local em que se encontram, já as bárbulas são marcadas como ramificações das fibras, alcançando cerca de 0,3 a 0,5 mm e contém ganchos em suas

extremidades, enquanto as barbas possuem um diâmetro menor, em média 46.65 μm (MINUTTI, 2018).

Alonso (2017) complementa ainda que as fibras de pena possuem uma textura rugosa e diferentemente da lã, fibra proteica natural de origem animal, não apresentam cutículas e sim uma superfície fibrilar.

De acordo com Teixeira (2017), as penas podem ser classificadas em sete categorias gerais: penas de voo, penas de contorno, semiplumas, plúmulas diversas, filoplumas, cerdas e vibrissas, representadas na Figura 4.

Figura 4- Tipos gerais de penas



Fonte: Adaptado de Cubillos (2016)

Teixeira (2017) elenca a classificação das penas conforme sua localidade, características e função:

- **Penas de Voo:** Dentre todas as tipologias, essas são as que possuem maior extensão, situadas nas caudas e nas asas, possuem a função de contribuir para o voo, divididas entre: rêmiges, rectrizes e plumas de contorno.
- **Rêmiges:** Apresentam o perfil extenso e corpulento de voo, ficam situadas nas asas das aves.

- **Rectrizes:** Apresentam o perfil extenso e corpulento de voo, ficam situadas nas caudas das aves.
- **Plumas de contorno:** Realizam a cobertura do corpo das aves, possuem características diferentes na sua estrutura, possuindo consistência solta, textura macia, popularmente são nomeadas de plumácea ou “penugem”. Essa classe de pena fica exposta na superfície e possui a atribuição de proteger a penugem de baixo desta camada, também possui propriedade de isolante térmico e pode refletir ou absorver a radiação solar. Esta é uma estrutura das penas que ficam mais distantes da base (da derme), formam uma estrutura firme chamada de vexilo, estrutura penácea semelhante à de uma folha. As penas de contorno possuem ainda diferentes classificações: rêmiges (penas das asas) e as rectrizes (penas da cauda) que possuem a característica de serem grandes e rígidas, que são penáceas modificadas para o voo.
- **Penas de termorregulação:** Possuem a função de manter o equilíbrio térmico, que age diretamente nos processos metabólicos das aves. Estas penas contribuem e diminuem o impacto das correntes de convecção do ar durante o voo evitando a perda de calor corporal. Segundo Cubillos (2016), essas penas se subdividem em: semiplumas, plumas, fitoplumas e vibrissas.
- **Semiplumas:** Dispõem de estrutura intermediária entre as penas de contorno e as plúmulas, agindo como isolante térmico e auxiliando no preenchimento do contorno do corpo das aves.
- **Plumas:** Possui múltiplas variações, sendo penas inteiramente plumáceas, tendo a raque mais curta do que a barba, ou em alguns casos, com ausência desta estrutura. As plúmulas propiciam conforto térmico às aves adultas de todas as espécies.
- **Fitoplumas:** Compreendem a penas com camadas finas, capilares, com barbas curtas ou bárbulas nas bordas distais. Na grande parte das aves, este tipo de pena não fica aparente e age como estruturas sensoriais que ajudam a ação das outras penas.
- **Vibrissas:** Caracterizam-se por possuir a raque rígida e com poucas barbas ou escassas barbas. Estão situadas em torno do bico, dos olhos (como pestanas), na cabeça ou até nos artelhos de algumas aves. São penas modificadas, localizadas

principalmente na base do bico e ao redor dos olhos. Preservam a região das narinas e dos olhos, além disso, as cerdas atuam com função sensitiva.

Segundo Alonso (2013), as propriedades físicas das fibras de penas de frango de matriz natural e animal possuem atributos viáveis para aplicação no reforço natural em compósitos.

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 micro tubos 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).

Dessa forma, Alonso (2017) destaca que ao realiza um comparativo com outra fibra natural ou sintética, a pena de frango possui menor densidade com 0,89 g/cm³ e diâmetro médio de 5 µm, mesmo quando equiparado com as fibras de lã e celulósicas que apresentam respectivamente 1,3 e 1,5 g/cm³.

Como existe uma pequena variedade no comprimento das penas, o procedimento de trituração facilita a uniformização do comprimento das fibras que oscila entre 0,3 cm e 1,3 cm. No fator tração, quando equiparadas à lã, as penas possuem módulo de elasticidade e resistência equivalentes. Quanto as proteínas presentes nas barbas das penas, são da tipologia α-queratina, em média possuem 25% de proteína cristalina e expõem estrutura e arranjo diferentes das proteínas presentes nos ráquis (SAMPAIO, 2021).

2.5 Materiais compósitos e fibras naturais

Com o desenvolvimento da tecnologia e as crescentes demandas da sociedade foram desenvolvidos novos produtos com configurações inovadoras, com capacidade de atender as necessidades, mas também de impulsionar o uso da união entre matérias, onde passaram a ser denominados de materiais compósitos. Os compósitos apareceram nas primeiras sociedades agrícolas, entretanto não se popularizaram, voltando a ser usados nas décadas de 1980 e 1990, para melhorar o desempenho de espaçonaves e aeronaves militares (VENTURA, 2009).

Júnior (2013) conceitua o termo compósitos, como os materiais gerados a partir das múltiplas combinações macroscópicas entre dois ou mais constituintes, tomando

algumas características superiores e outras inferiores aos procedentes dos constituintes iniciais.

A vista disso, encontra-se uma variedade possível de produtos para serem desenvolvidos, a geração destes materiais é feita por meio da mistura química ou física de uma fase contínua e outra descontínua (elemento de reforço e matriz), podendo ser apresentado no formato de mantas, partículas ou fibras (COSTA *et al.*, 2018).

Grande parte do desenvolvimento dos métodos e materiais atualmente disponíveis se deve à necessidade de aplicações mais complexos. Os primeiros humanos já usavam ferramentas feitas de pedra e osso animal para auxiliar em suas atividades diárias. Com o tempo, a variedade de materiais se desenvolveu com base em sua diversidade, características e resistência, e chegou ao mercado com uma forte gama de produtos (ZHIGILEI, 2010).

Existe uma extensa gama de pesquisadores que têm se dedicado buscar a contemplar as necessidades ambientais, analisando materiais e compósitos desenvolvidos a partir de fontes renováveis, como matrizes poliméricas reforçadas com fibras de carbono, fibras de vidro, fibras naturais e outros tipos de materiais (BALLA *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2017).

Porém, o grande destaque tem sido dado às fibras naturais, devido suas propriedades como baixo peso, resistência mecânica, durabilidade, baixo preço, além de atuarem como inovação no mercado, favorecendo o desenvolvimento de novas aplicações (AGARWAL; MOHANTY; NAYAK, 2021).

Logo, os materiais compósitos estão associados a inclusão de um reforço natural a uma matriz polimérica, se tornando uma opção alternativa para aprimorar as propriedades de um material, como também o tornar *eco-friendly*, que se trata de um material “amigável ao meio ambiente”, que colabora para a diminuição de impactos ambientais, como o reaproveitamento de resíduos que são destinados para aterros sanitários ou incineradores (ZANINI *et al.*, 2021).

De acordo com Sampaio (2021), as fibras de pena de frango, classificadas como fibras proteicas naturais, possuem características exclusivas, a sua estrutura permite a atuação como isolante térmico, o que torna oportuno o uso dessa fibra como matéria prima, devido sua alta disponibilidade no mercado, preço baixo, além de estimular uma cultura *eco-friendly* no mercado consumidor.

2.6 Resinas

Ferreira *et al.* (2023) apresenta as resinas como substâncias de origem natural ou artificial, que possuem a função de agir nos compósitos, muitas vezes referidas como polímeros, para a ligação das fibras entre si, gerando e distribuindo uma transferência de cargas entre as mesmas ao longo da matéria, gerando resistência de modo a suportar as cargas especificadas para inibir o surgimento de fissuras e preservando paralelamente as fibras da corrosão ou oxidação e dos agentes externos.

Essas matérias se apresentam como potencial base e película de novos produtos desenvolvidos com materiais primas naturais, pois atuam como formadoras da película da superfície, modificando características físicas e químicas, além de garantir brilho, resistência química, física, secagem e melhor aderência, sendo classificadas conforme sua composição e aplicação, como aponta a Figura 5 (LINHARES, 2017).

Figura 5- Classificação das resinas



Fonte: Autora (2022)

Conforme apresentado na figura 5, em geral todos os tipos de resinas são utilizados no processo de polimerização de diversos materiais, variando conforme finalidade de uso e tipo de produto, em especial a resina epóxi possui algumas particularidades, como efeitos termo endurecíveis, ou seja, não podem ser fundidas ou "remoldadas" após a sua cura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Através do procedimento experimental, foi possível realizar o desenvolvimento do material compósito, podendo esse processo ser dividido entre materiais e métodos, que discriminam os insumos, técnicas de processamento e metodologias de análise aplicadas com o intuito de identificar e discorrer sobre as características e comportamento do composto desenvolvido.

3.1 Materiais

Todos as matérias-primas aplicadas no desenvolvimento do compósito proposto neste estudo estão discriminadas na Tabela 04, bem como seus respectivos fornecedores:

Tabela 04- Relação de materiais

Material	Descrição	Fornecimento
Resina epóxi	RP 31	Siligel LTDA
Catalisador	Endurecedor RE 42	Siligel LTDA
Fibras	Pena de frango	Granja Dudico
Silicone	HB FLEX 901 S	HBQUIMICA

Fonte: Autora (2023)

Após recebimento do material, foi iniciado o processo de vistoria, que ocorreu de forma visual, detectando as penas que estavam íntegras para extração do elemento fibroso, dessa forma foi separado manualmente com uso de tesouras, a raqui estrutural da fibra que seria utilizado, logo depois as fibras foram armazenadas em recipiente plástico para fabricação das amostras, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Processo de separação do material



Fonte: Autora (2023)

3.2 Métodos

Devido ao baixo número de amostras e a utilização de fibras no desenvolvimento de compósitos, optou-se por utilizar a técnica de moldagem *hand lay-up*, que se resume nas etapas de: Preparação do molde, aplicação da fibra com as demais matérias, cura e desmoldagem da peça (MARQUES, 2011).

3.2.1 Elaboração do compósito

As fibras selecionadas foram processadas em um triturador industrial e passaram pela secagem, sendo mantidas na estufa por 24 horas a uma temperatura de 50°C, como representado na Figura 7.

Figura 7: Secagem e trituração

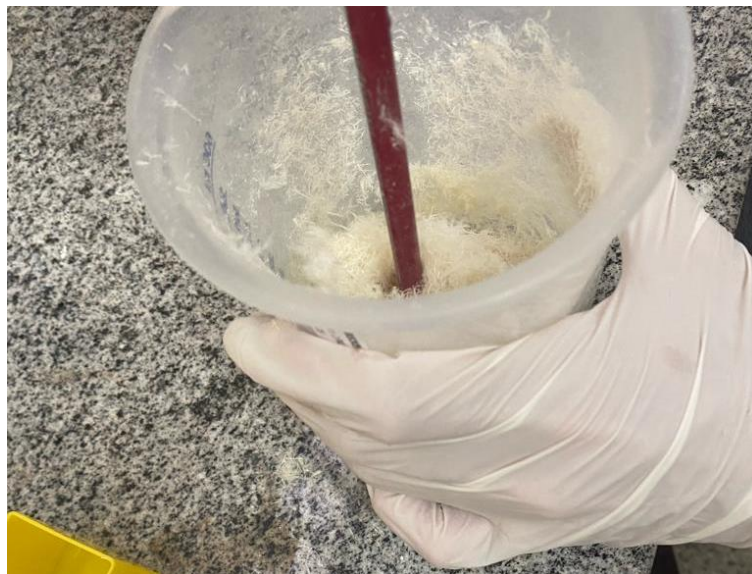


Fonte: Autora (2023)

Para a mistura da resina com a pena, foram utilizados recipientes plásticos devidamente higienizados para que não houvesse interferência de agentes microbiológicos, dessa forma, o processo foi feito manualmente, cada recipiente recebeu uma proporção variante de resina e fibra de pena adicionado de catalisador.

Em seguida o material passou pela mistura manual no béquer de plástico, e foi armazenado em recipientes para molde e cura de acordo com cada tipo de teste, conforme a Figura 8.

Figura 8: Processo de mistura manual das matérias





Fonte: Autora (2023)

Posteriormente o material foi desmoldado e recolhido, onde cada amostra (A70, A75, A80 e A85) foram determinadas através de dimensões pré-estabelecidas e razões volumétricas variantes de resina e da pena, baseados em estudos anteriores de Silva, Souza e Serejo (2019), Jaya *et al.* (2018), Oladele, Omotoyimbo e Ayemidejor (2014).

Em seguida, o material passou pelo processo de acabamento, que foi realizado de forma manual com o auxílio de lixa 1200, dessa forma, foram produzidos cinco tipos de Corpos de Provas (CDP's) com teores variantes de resina e de fibra de pena, para que os estudos experimentais pudessem ser realizados e houvesse a verificação dos melhores resultados, nomeados conforma a Tabela 05.

Tabela 05 - Relação de amostras

Nomenclatura Amostral dos corpos de prova	Resina (%)	Pena (%)
A70	30	70
A75	25	75
A80	20	80
A85	15	85
A0	100	0

Fonte: Autora (2023)

Após a obtenção das amostras, foi realizado a identificação de cada unidade conforme apontado na Figura 9 e em seguida dado continuidade aos testes de caracterização dos compósitos, dispostos na Tabela 06.

Figura 9: Resultado das amostras moldadas

Fonte: Autora (2023)

Tabela 06 – Testes aplicados nas amostras

Teste	Norma
FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier)	-
Absorção	NBR 15316-1
Inchaço	NBR 15316-1
Tração	NBR 15316-2
Flexão	NBR 15316-2
Impacto	ASTM D256-10 (2018)
Morfologia	-

Fonte: Autora (2023)

3.2.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O espectro infravermelho praticado através da técnica de inspeção por FTIR, permite identificar dados espectrais de alta resolução em uma ampla faixa espectral, fornecendo dados acerca da estrutura molecular de determinado material, o que permite que nesse teste seja verificado a homogeneização entre a fibra e a resina utilizada. A execução do teste ocorreu por meio de um espectrofotômetro da marca PERKIN ELMER modelo Spectrum 100, compilado no intervalo de 500 a 4000 cm⁻¹, conforme apontado na Figura 10.

Figura 10 – Espectrofotômetro PERKIN ELMER 100



Fonte: Richmond Scientific (2023)

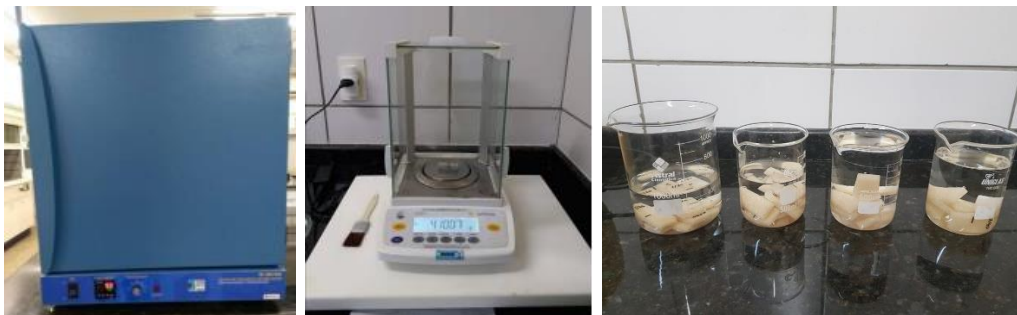
Essa análise é viabilizada através das moléculas existentes no compósito, já que as uniões químicas da fibra da pena e da resina dispõem de frequências de vibrações determinadas, resultando em níveis vibracionais da molécula. Dessa forma, o espectro em contato com a matéria gera uma análise a partir da radiação infravermelha, possibilitando afirmar se a fibra utilizada no compósito possui alicerce proteico.

3.2.3 Absorção e Inchaço

Para esse teste, utilizou-se da técnica de verificação de absorção de líquido por imersão, que busca identificar a proporção de absorção de líquido pelas amostras imersas na água.

Após permanência das amostras por 24 horas na estufa, as amostras foram pesadas individualmente em uma balança de precisão onde foi feito o registro manual da massa de cada amostra, logo depois os corpos de provas são mergulhados na água durante 24 horas, conforme indica o processo na Figura 11.

Figura 11 – Processo de testagem de absorção e inchaço



Fonte: Autora (2022)

Em seguida, foram recolhidas e pressionadas com papel toalha para que fosse possível a retirada de partículas remanescentes, logo depois foi realizado a pesagem das amostras.

Segundo Gonçalves e Monteiro (2019), a verificação da taxa de absorção é definida pela diferença dos pesos das amostras úmidas e secas, dividido pelo peso inicial das amostras secas, e em seguida multiplicado por 100 para obter um índice em formato percentual, conforme a equação 3.

$$\{(X2-X1) / (X1)\} \times 100 (\%) \quad (\text{Eq. 1})$$

X1= Peso inicial (amostras secas)

X2= Peso final (amostras úmidas)

Os moldes utilizados para produção de cada amostra foram padronizados com medidas padrões de cinco centímetros para os corpos de provas.

3.2.4 Tração e flexão

Para ambos os testes de cargas (tração e flexão), foi utilizado o maquinário de ensaios mecânicos da marca EMIC, linha DL modelo 20000, apresentado na Figura 12.

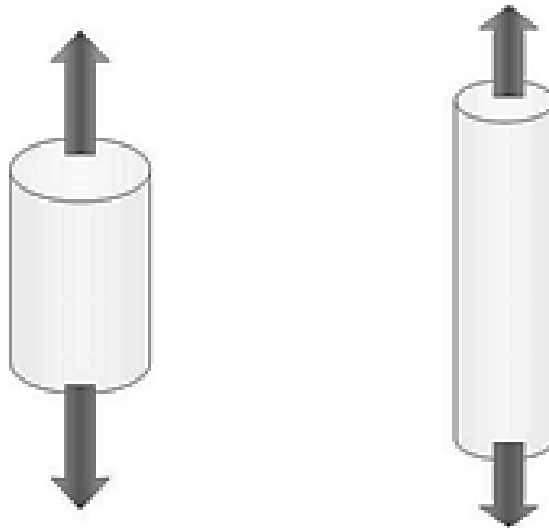
Figura 12 - Prensa EMIC DL 20000



Fonte: Soluções industriais (2023)

Em relação ao teste de tração foi possível absorver dados referentes a resistência mecânica das amostras ensaiadas quando sujeitas a cargas axiais, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13- Aplicação de cargas no teste de tração



Fonte: Cesar (2020)

O ensaio de tração resulta da atuação de forças em um polígono curvo que intercala as coordenadas de deformação e tensão obtidos em cada amostra, dessa forma, obtêm-se os índices de Modulo de elasticidade, tensão e alongamento axial (GONÇAVES; MONTEIRO, 2019).

Dessa forma, o cálculo da tensão é obtido através da equação.

$$\sigma = F \times A \quad (\text{Eq. 2})$$

σ = Tensão

F= Força

A= Área

Já a deformação (ε), apresenta-se por meio da variação entre o comprimento final e inicial após a aplicação de carga, dividido pelo comprimento inicial como demonstra a equação 2, com esse índice é possível analisar o quanto o material está suscetível a variar sua dimensão (GONÇAVES; MONTEIRO, 2019).

$$\varepsilon = (L - L_0) / L_0 \quad (\text{Eq. 3})$$

ε = Deformação

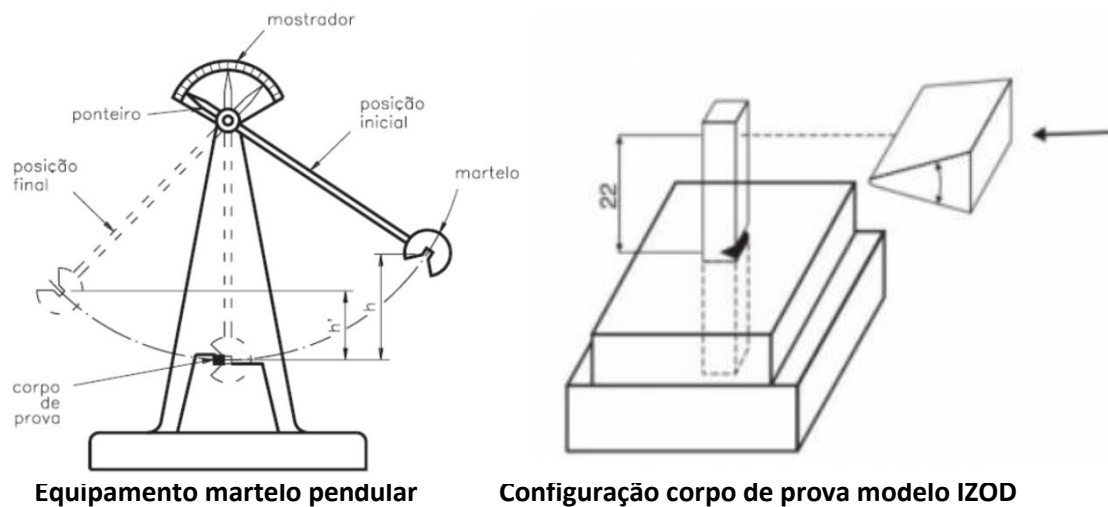
L= Comprimento final

L₀= Comprimento inicial

3.2.5 Impacto

Para o teste de impacto foi utilizado o modelo de corpo de prova Izod em condições de temperatura ambiente ao equipamento de martelo pendular, que segundo Moraes (2016), possui uma extremidade fixa próxima ao entalhe e recebe o impacto do pêndulo na outra extremidade, onde a principal medida resultante do ensaio de impacto é a energia absorvida para deformar ou fraturar a amostra, medida em Joules (J) que pode ser obtida pela diferença entre a altura inicial do martelo e a altura atingida pelo mesmo após o impacto, como exemplifica a Figura 14.

Figura 14- Exemplificação do ensaio de impacto



Fonte: Adaptado de Pinto (2016)

3.2.6 Morfologia

A análise morfológica se dedica a apresentar as características referentes a estrutura e forma dos organismos, sendo um estudo fundamental para identificação e classificação (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Para apresentar as características morfológicas das penas de frango, foram realizadas análises por *Field emission scanning electron microscopy* (FESEM), que

dar-se por microscopia eletrônica de varredura. Os testes foram realizados usando o modelo Nova NanoSEM 200 apresentado na Figura 15.

Figura 15- Microscópio eletrônico scanner modelo Nova NanoSEM 200



Fonte: Marketplace for secondary Capital Equipment (2023)

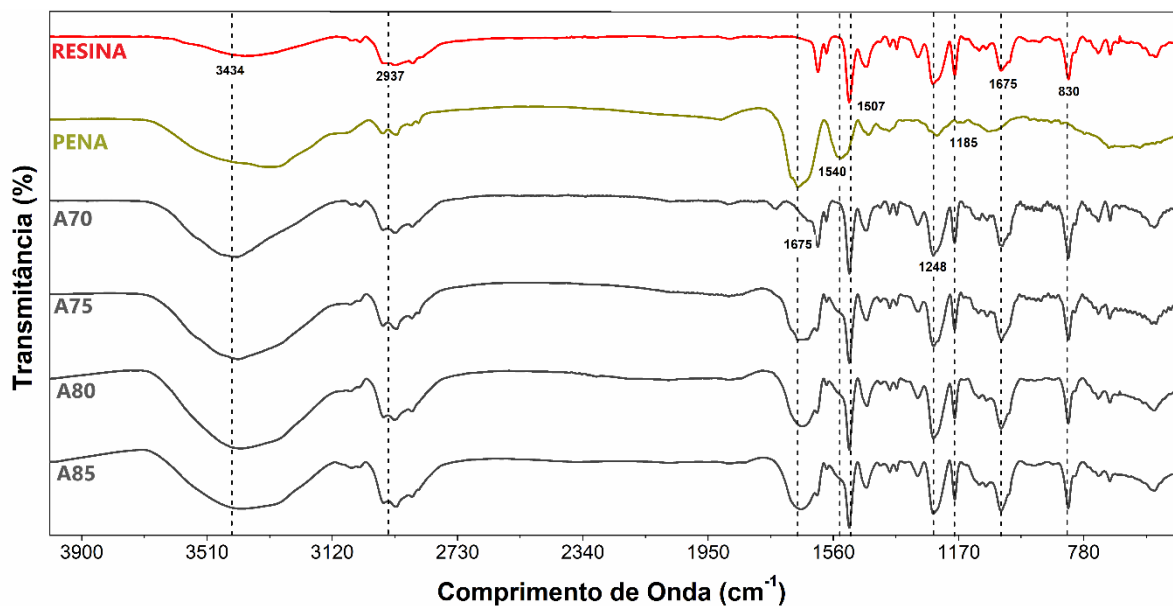
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 FTIR

Para o ensaio de FTIR obteve-se uma variação entre classe de picos de acordo com cada amostra, para valores até $3.379,69\text{ cm}^{-1}$, sugeridos por Jaya *et al.*, (2018) como distensão no grupo hidro halogenetos amina, que munem características hidrofílicas para fibra de penas de frango.

Já Kersting *et al.* (2015) aponta que índices variantes de $860\text{ a }950\text{ cm}^{-1}$ referem-se ao grupo epóxido. Dessa forma, analisando o gráfico 01 percebe-se que a resina epóxi utilizada no desenvolvimento dos corpos de prova fez com que o CP A0 chegasse ao pico estável de 2.937 cm^{-1} .

Gráfico 01- FTIR amostral



Fonte: Autora (2024)

Além disso, identificou-se aumento dos picos com exceção das amostras com misturas de penas de frango da amostra A75 que obteve 1.675 cm^{-1} , o que indica o aumento dos grupos amina e possibilita maior absorção de água.

Assim, através da análise das amostras A70, A75, A80 e A85 pode ser constatado uma ampliação dos agrupamentos amino.

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)

Em análise ao resultado obtido com o teste do FTIR, foi possível identificar variações dos picos referente a cada amostra dos compósitos e também em comparação a amostra controle e a amostra isolada A70, da pena de frango.

Portanto, através deste teste, constata-se que os picos das amostras de pena de frango apresentaram um aumento em seu estiramento, verificando que de fato houve relação de homogeneização entre as fibras utilizadas no compósito e a resina do tipo epóxi, que pode ser visto também por meio da Figura 16, e que as fibras da pena de frango possuem fonte proteica.

Figura 16- Aspecto de homogeneização visual da amostra A70



Fonte: Autora (2024)

4.2 Taxa de Absorção de água

Sampaio (2021) desenvolveu um estudo de composto com fibras de pena de frango, onde a amostra de controle (100% resina epóxida) não apresentou absorção considerável de umidade justamente pela ausência dos grupos de aminoácidos, já com as amostras com incorporação de fibras de penas é possível verificar que a taxa de absorção cresce gradativamente entre as amostras com 5%, 10% e 20% de penas,

logo depois constata-se um aumento na taxa de absorção entre a amostra com 20% e 30% de fibras de penas.

A autora justifica essa maximização do aumento da taxa de absorção de água, na amostra com 30% de fibras, ocorre devido a 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, dessa forma, ela considera sua melhor amostra sendo a que possui menor quantidade de fibra, o protótipo com 5% de penas e 95% de resina.

Através do ensaio de absorção realizado conforme os procedimentos descritos anteriormente, foi possível identificar os pesos secos e após imersão em água das amostras, conforme discorre a Tabela 07.

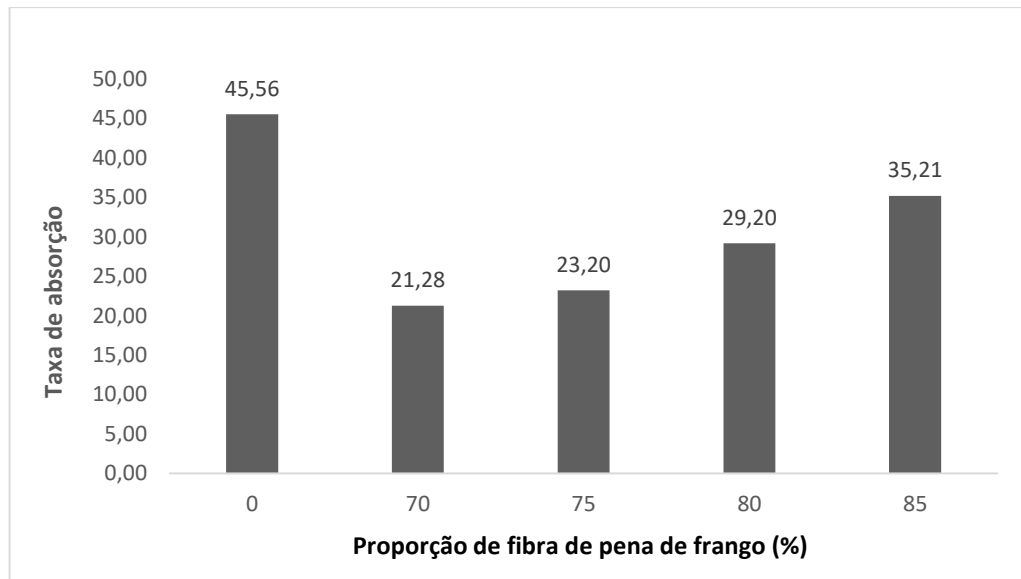
Tabela 07- Relação de pesos das amostras

Amostras	Peso seco	Peso úmido
A0	8,98	8,99
A70	8,93	9,27
A75	8,14	8,58
A80	6,50	7,00
A85	7,00	7,38

Fonte: Autora (2023)

Confere-se que a amostra que obteve maior absorção foi a A85, que possui apenas 15% de resina e 85% de pena de frango, já a amostra A0 que é utilizada como amostra controle de 100% de resina não apresentou absorção considerável.

Em relação as demais amostras, houve variação entre 4% e 8,57% de absorção, dessa forma, a amostra que apresentou resultado mais conciso para o objetivo desse estudo foi a A70, apresentando apenas 4,49% de variação na proporção de absorção de líquidos, e conseqüente menor infiltração, como representa os índices no Gráfico 02.

Gráfico 02- Índices de absorção de água

Fonte: Autora (2024)

Essa característica deve-se a matriz que possui fase contínua, sendo a resina presente em 30% e o reforço, fase dispersa de 70% de pena de frango ser a melhor para esse teste, quanto maior a proporção de fibra de pena, maior o acúmulo de líquidos em relação aos compósitos ensaiados, como mostra a linha de tendência do gráfico apontando crescimento exponencial.

Dessa forma, os resultados obtidos no ensaio concordam também com o estudo de Jaya *et al.* (2018) que verifica que a absorção de líquido cresce proporcionalmente ao aumento das porcentagens de fibras incorporadas ao material e, conseqüentemente, uma maior presença de grupos de aminoácidos que interagem com as moléculas de água.

4.3 Inchamento em espessura

Da Silva Araujo (2021) relata em seu estudo, que o ensaio de inchamento em espessura (IE), expõe a variação percentual do aumento em espessura da amostra após imersão em água, e um valor máximo de 12% é prescrito para os painéis de MDF segundo a NBR 15316-1.

Essas propriedades são consideradas importantes parâmetros de qualidade física, pois, possibilitam o direcionamento dos painéis para ambientes com condições severas ou mais amenas de umidade (Freire *et al.*, 2011).

Além disso, as variações referentes à perda ou ganho de umidade têm grande importância pela relação direta que estabelecem com as demais propriedades tecnológicas das chapas (Mendes *et al.*, 2015), podendo gerar prejuízos, principalmente de perda de resistência e diminuição da vida útil dos painéis. Devido a isso, precisam ser mais bem monitoradas.

Em comparação com a literatura, Belini e Tomazello Filho (2010) desenvolveram chapas de MDF em linha de produção industrial com densidade nominal de 700 kg m⁻³ utilizando fibras de *Eucalyptus grandis* e adesivo ureia-formaldeído, os autores relataram valores médios de 5,8% de inchamento em espessura para o período de 24 horas evidenciando que a maior taxa de inchamento dos materiais compósitos estão associados variabilidade no uso das fibras.

Já no trabalho de Da Silva Araujo (2021), que utilizou 70% de fibra de *Eucalyptus spp* com amostras imersas por 24 horas, seus índices de inchamento variaram de 11,2% a 15,6%, onde apenas os painéis submersos por 11 horas atenderam a normativa.

Dessa forma, o ensaio de inchaço, foi realizado utilizando-se dos mesmos procedimentos do ensaio de absorção de líquido. Em conformidade com os resultados obtidos, pode-se compreender que a amostra que obteve melhor desempenho foi a A70, pois apresentou menor capacidade de inchaço com apenas 1,51%, conforme apresentado na Tabela 08.

Tabela 08- Relação de pesos das amostras do teste de inchaço

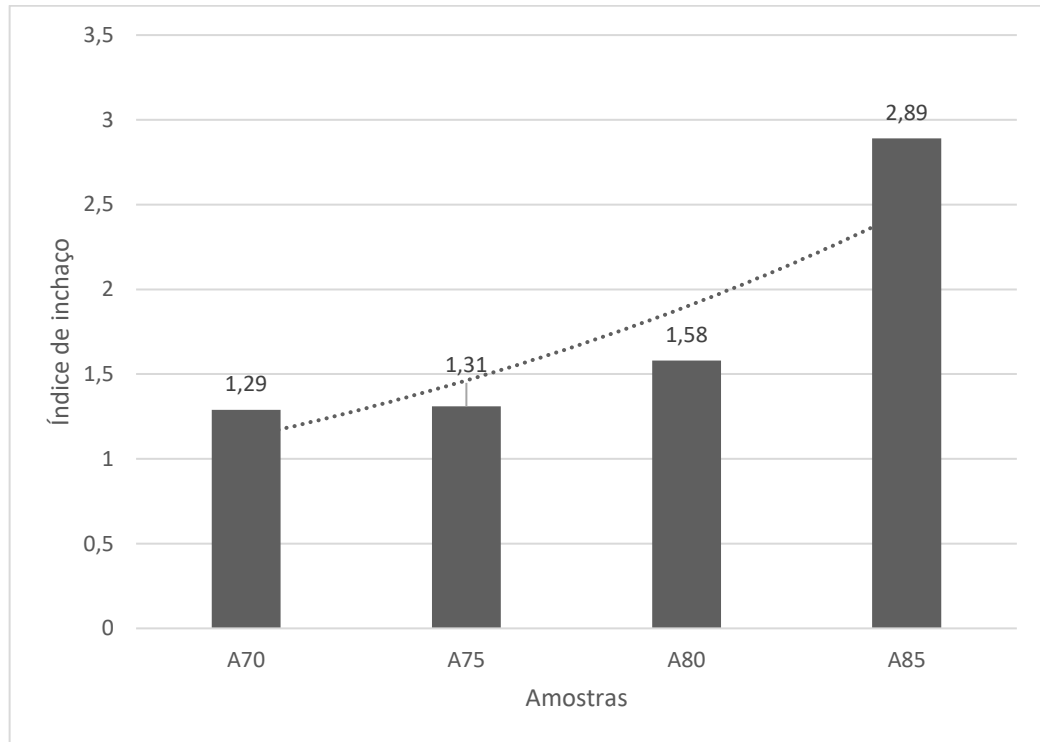
Amostras	Média Peso seco	Média Peso úmido
A0	6,57	6,73
A70	7,70	7,77
A75	7,63	7,70
A80	6,27	6,37
A85	6,90	7,07

Fonte: Autora (2023)

Assim, observa-se em comparação com as demais amostras, que quanto maior a porcentagem de fibra mais o material tende a ter capacidade de inchamento superficial, como observa-se na amostra A85, que possui menos resina e maior quantidade de fibra, dessa forma obteve o maior índice de capacidade de inchaço com

2,89%, como aponta o Gráfico 03, e dessa forma foi a amostra com menor desempenho.

Gráfico 03- Índices de inchamento



Fonte: Autora (2024)

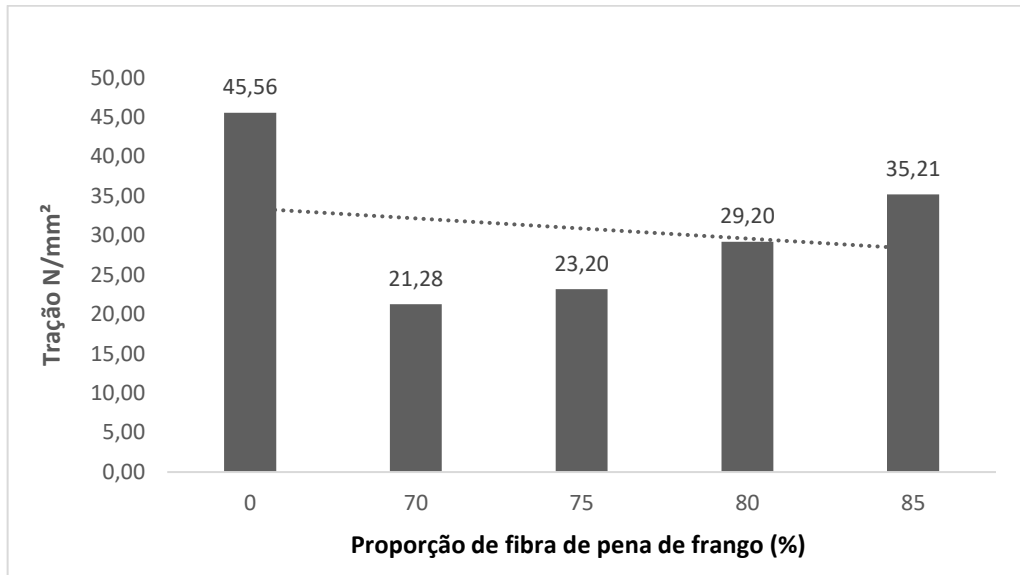
Logo, os valores obtidos estão em afirmativa com o estudo de Belini e Tomazello Filho (2010), que mostra a tendência em inchamento segundo o aumento da variação de porcentagem da fibra utilizada, apesar disso, todas as amostras possuem valores que se adequam a normativa, com índices inferiores a 12%, diferente de Da Silva Araujo (2021), que obteve até 15,6%, ficando fora dos padrões normativos com amostras de 24 horas.

4.4 Tração

Através do teste de tração foi possível coletar os dados de resistência de cada classe de corpo de prova conforme o Anexo 1, e verificar a resistência da aplicação de carga unilateral, onde foi adotado como referência o índice de $\geq 0,55$ N/mm² apontado pela NBR 15316-2 como o parâmetro designativo, dessa forma, dentre o

campo amostral estudado, as amostras obtiveram índices variantes entre 5,30 N/mm² e 15,04 N/mm², como mostra o gráfico 04:

Gráfico 04- Análise de resistência por tração



Fonte: Autora (2023)

Dessa forma, é possível analisar que todas as amostras apresentaram índices superiores a normativa comparada, entretanto, quando comparadas entre si, verifica-se que quanto menor a porcentagem de insumo da pena mais resistente se torna a amostra, logo o compósito amostral com maior resistência a tração é o CP A70.

Em concordância com esse índice, o módulo de elasticidade da amostra CP 1 percentual A70 também se apresenta como o maior entre as demais, sendo menor apenas que a amostra CP5, que entretanto possui uma dimensão maior e devido a isso possui uma área maior e um índice mais elevado,

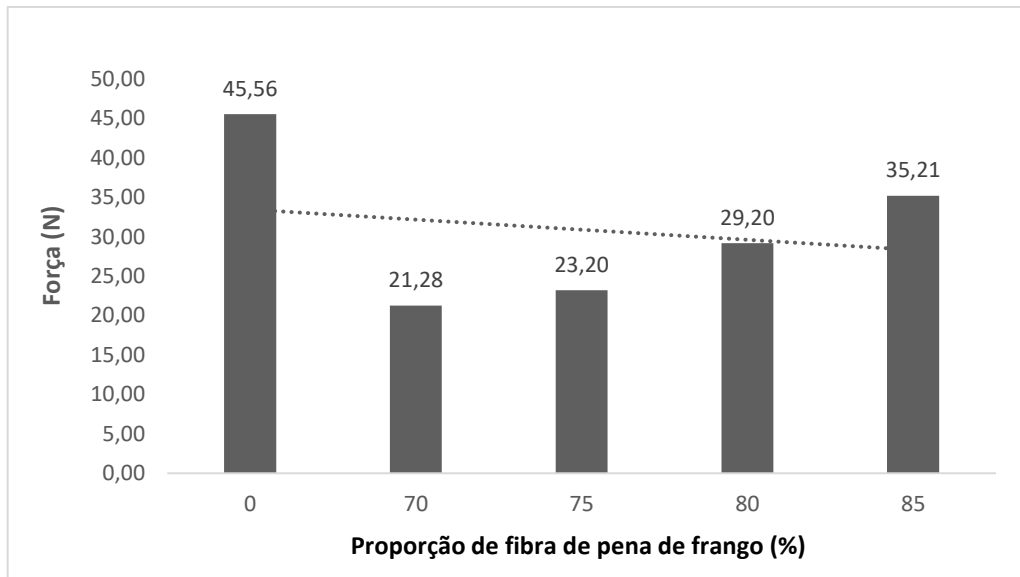
Conforme a NBR 15316-2, o módulo de elasticidade deve ser maior ou igual a 2.200 N/mm², dessa forma o CP1- A70 apesar de possuir resistência a tração apta, não conseguiu atingir o valor normativo para o módulo de elasticidade, resultando em apenas 357,01 N/mm².

4.5 Flexão

A respeito do teste de flexão, todas as classes de percentuais de mistura obtiveram valores superiores a 20 Mpa, os dados coletados de cada amostra segundo

sua classe estão dispostos no Anexo 2, assim, obedecendo os critérios regulares da NBR 15316-2, as médias de cada classe estão representadas no Gráfico 05, que aponta os índices intermediários de cada classe de mistura dos compósitos:

Gráfico 05- Análise do índice de flexão



Fonte: Autora (2024)

Conforme demonstrado é possível perceber uma relação entre o nível de matéria (pena) e o índice de flexão, quanto menor o teor de fibra de pena no compósito menor a quantidade de carga (N) que o corpo de prova estar suscetível a suportar, e com isso fica mais flexível.

Devido a isso, o CP7 da classe A85 obteve o maior valor de resistência de carga (N) entre os demais corpos de prova atingindo 68,22 N, e uma média entre os dez corpos de prova de 35,21 N, enquanto o maior valor da classe A70 foi o CP4 com 34,02 N, como disposto no Anexo 2, onde é possível verificar os relatórios dos testes de flexão de forma mais detalhada.

Os resultados obtidos são congruentes com o estudo de Eleotério, Tomazello e Bortoletto (2000), que afirmam que a resistência a carga cresce com o aumento da massa específica da matéria prima do compósito aplicado, assim, quanto menor a porcentagem de fibra a amostra possui mais flexível ela se torna.

Essa afirmação também pode ser vista no estudo de Sampaio (2021) que realizou testes em compósitos de fibra de pena de frango, e obteve que dentre todas as amostras, a que possuía menor porcentagem de fibra (5%) também apresentava o

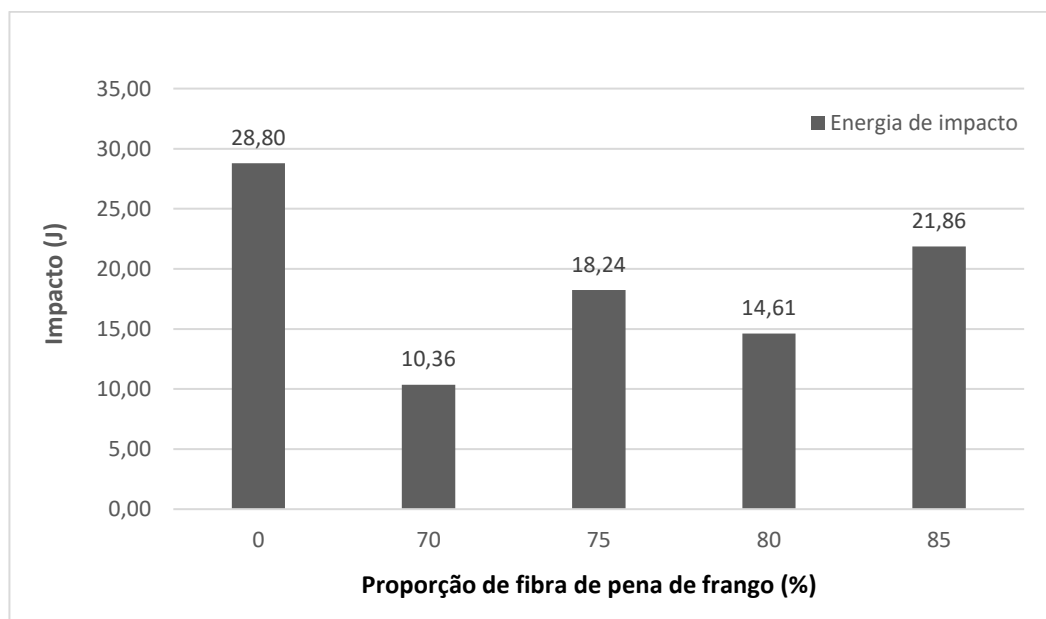
maior módulo de elasticidade, e dessa forma, apresentou também comportamento mais flexível.

4.6 Impacto

Bansal *et al.* (2018) observam em seu estudo que a variação da energia de impacto das amostras está associada com o aumento da porcentagem em peso da quantidade de pena de frango aplicado nos compósitos, onde a máxima força de impacto está ocorrendo a 5% em peso.

Os resultados do teste de impacto são mostrados no gráfico 06, onde é exibido a energia de impacto obtido dos compósitos com o aumento da energia de impacto em relação ao percentual de pena em cada amostra.

Gráfico 06- Relação de energia de impacto por variação amostral



Fonte: Autora (2023)

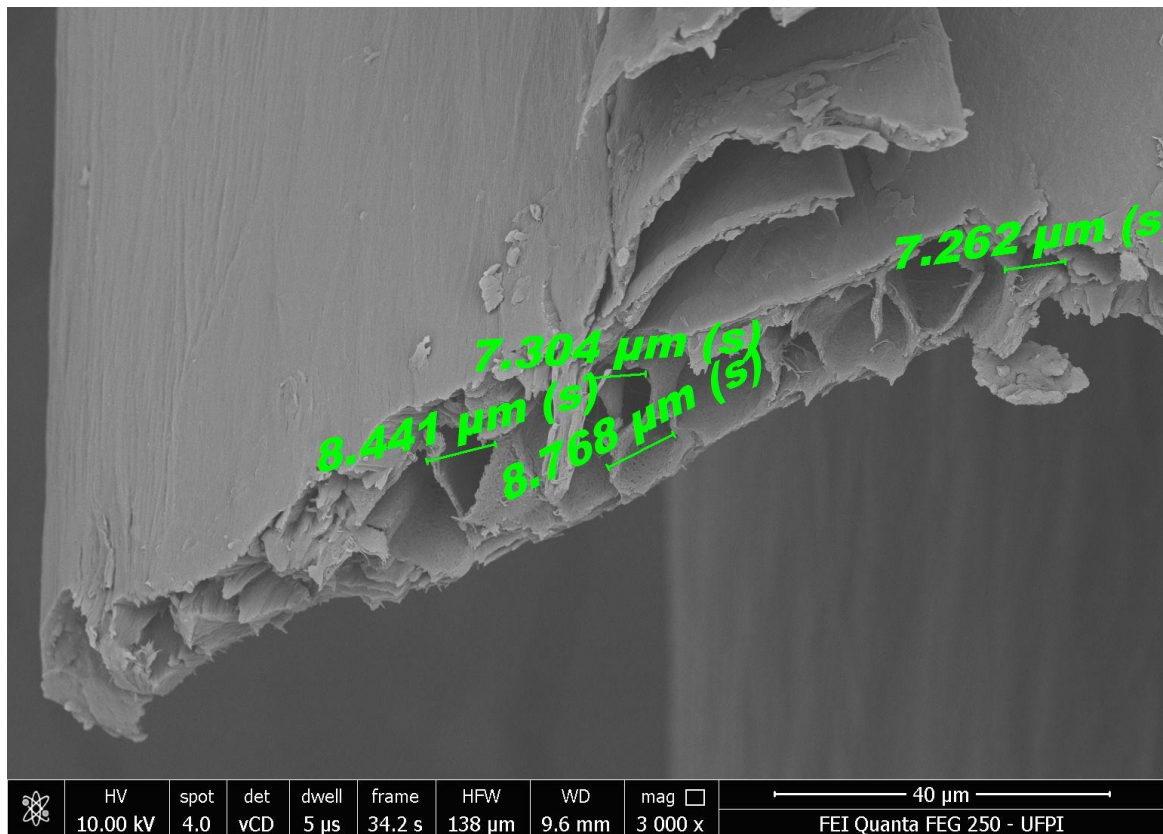
Observa-se através do ensaio de impacto que, desconsiderando a amostra de controle que possui apenas resina, a classe de amostras que apresentou melhor desempenho foi a A85, com média de 21,86 J, enquanto a amostra A70, obteve apenas 10,36 J.

Assim, os resultados obtidos estão em concordância com o estudo de Bansal *et al.* (2018), pois com o aumento da porcentagem de fibra obtêm-se maior resistência ao impacto.

4.7 Morfologia

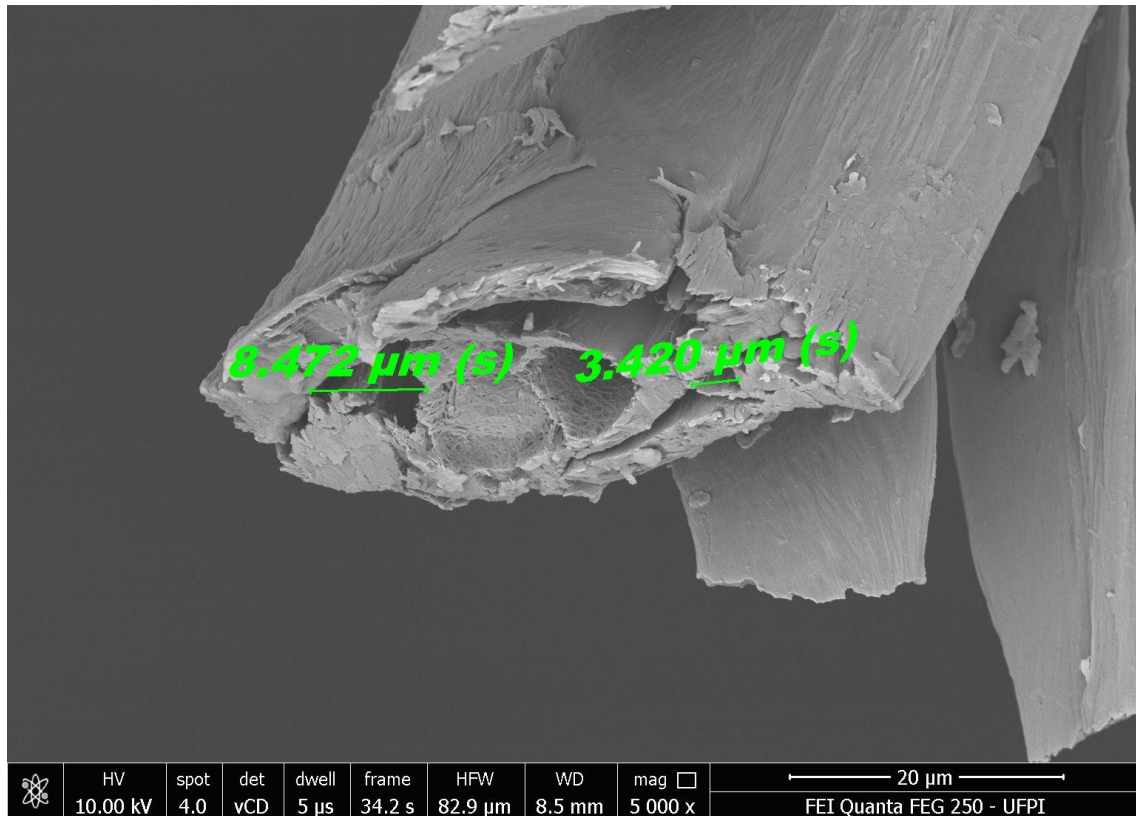
Sampaio (2021) verificou no estudo morfológico que as fibras de penas possuem micro divisões internas que formam bolsas de ar e que se assemelham a favos de mel, essa estrutura proporciona uma baixa densidade ao material, conforto térmico e acústico, além disso, também constatou que as áreas internas apresentam intervalos entre 3 μm e 10,2 μm , valores similares aos obtidos no teste realizado, conforme demonstra o corte transversal nas Figuras 17 e 18.

Figura 17- Corte transversal 7,30 μm a 8,77 μm



Fonte: Autora (2024)

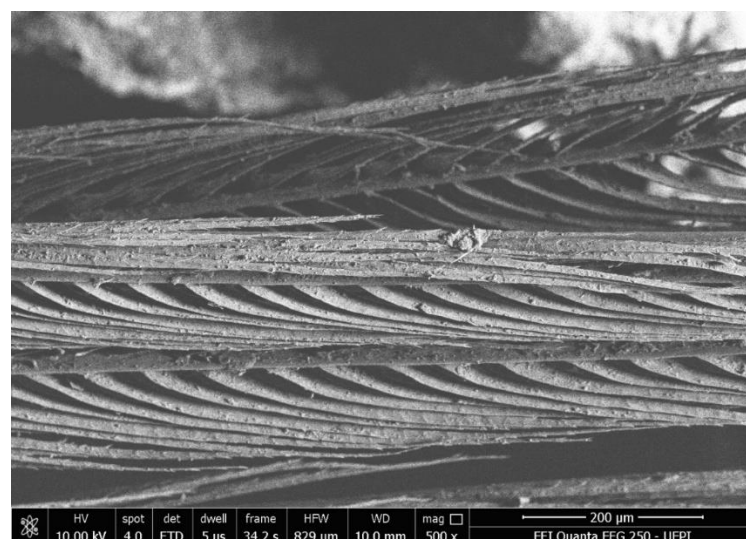
Figura 18- Corte transversal 3,42 μm a 8,47 μm



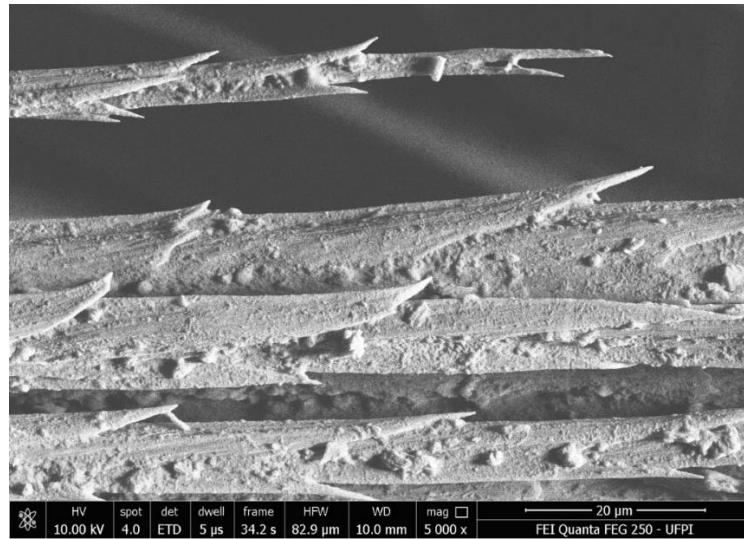
Fonte: Autora (2024)

Foram constatados nas seções verticais valores que variam entre 3,42 μm a 8,76 μm , por meio da análise de morfologia dos cortes longitudinais também foi possível identificar que a pena estudada possui elementos divisórios irregulares, e em formatos de pontas, como apresentado nas figuras 19 e 20.

Figura 19- Corte longitudinal



Fonte: Autora (2024)

Figura 20- Corte longitudinal

Fonte: Autora (2024)













Dessa forma, por meios dos cortes longitudinais, foi possível localizar a presença de uma estrutura com ramificações e ganchos, além de uma textura rugosa, o que permite que a fibra tem um bom nível de aderência e dessa forma também consiga proporcionar uma melhor homogeneização com os demais materiais presentes no compósito.

4.8 Seleção amostral

Após a aplicação dos testes no estudo laboratorial e a arguição bibliográfica apresentada, se faz necessário definir qual amostra apresentou melhor desempenho considerando o objetivo técnico deste estudo, de desenvolver um compósito substitutivo ao MDF.

Com o intuito de facilitar esta escolha, foi utilizada uma matriz de seleção, onde foi considerado como critério designador, a porcentagem geral de maior desempenho técnico das amostras nos referidos testes laboratoriais, dessa forma, os resultados obtidos foram selecionados de acordo com cada teste, discriminando as amostras com maior e menor desempenho na Tabela 09.

Tabela 09- Seleção de Amostras segundo ensaios laboratoriais

Teste	100 % de resina- A0	70% de pena -A70	75 % de pena – A75	80% de pena- A80	85% de pena- A85
Absorção					
Inchaço					
Tração					
Flexão					
Impacto					
Legenda:	 - Melhor desempenho		 -Pior desempenho		

Fonte: Autora (2024)

Como demonstrado na Tabela 09, dos 05 testes aplicados a amostra A70 obteve melhor desempenho em 03 testes, enquanto a amostra A80 obteve melhor desempenho em apenas 02 testes, utilizando o critério de porcentagem de melhor desempenho nos testes laboratoriais, a amostra A70 pode ser considerada a amostra ideal para o objetivo desse estudo com 60% de aceitação nos testes por maioria.

Além disso, a amostra também cumpre com aspectos mais atrativos de design para aplicação no setor de imobiliário, pois os testes de inchaço e absorção são um dos principais para essa aplicabilidade, pois o problema em relação a umidade é uma característica crítica, assim como a aplicação de cargas longitudinais nos mobiliários, com destaque para o teste de tração.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados apresentados no decorrer desse estudo, buscou-se responder a problemática inicial da pesquisa, que buscava compreender, como a pena de frango pode ser empregada na fabricação de compósitos que buscam substituir o MDF, atendendo suas características, físicas e mecânicas no setor de produção moveleiro, dessa forma, foi possível desenvolver um material ecologicamente eficaz capaz de substituir o MDF, que pode ser inserido na classe de biomateriais e utilizado especialmente em móveis e estruturas projetadas, além disso, o composto possui bom desempenho e resistência mecânica, além de possuir capacidade de reciclagem.

Com o desenvolvimento desse experimento, houve um impacto significativamente positivo no campo de pesquisas científicas, não só no âmbito do ecodesign, mas também no setor da agropecuária, como reaproveitamento do resíduo da pena de frango, que reduz diretamente a quantidade de resíduos acumulados gerados na produção aviária, diminuindo conseqüentemente os impactos ambientais, como degradação de materiais em aterros, poluição ambiental, propagação de vetores.

Outro fator de redução de impacto ao meio ambiente, está associado a retirada da matéria prima lenhosa para produção de MDF, o que exclui de maneira considerável a extração de madeiras em áreas indígenas e reservas ambientais.

No decorrer dos testes laboratoriais, que englobam toda a parte experimental de constituição e caracterização do compósito foi possível verificar que as fibras de penas de frango possuem características vantajosas para aplicação na substituição do MDF, como a homogeneização com matriz polimérica (resina epóxi), verificado no ensaio de FTIR, considerando que de fato a pena de frango possui fonte proteica e uma baixa densidade, além disso, também verificou-se que a morfologia da fibra da pena possui uma estrutura com ramificações de aparência rugosa, com ganchos de diâmetros irregulares, o que propicia uma boa aderência em misturas de materiais compósitos.

O ensaio de tração mostrou que os valores de tensão máxima e o módulo de elasticidade diminuem à medida que aumenta a inclusão de fibras, esta dificuldade de impregnação das fibras também afeta a absorção de líquidos dos compostos, proporcionando melhores resultados para compostos com menor percentual de fibras.

Com base na caracterização da fibra foi possível observar que sua densidade é baixa, o que confere menor peso ao produto.

A baixa densidade da pena, pode ser associada à sua 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.

O processo de criação do compósito se deu por meio da aplicação da técnica *hand lay-up*, com a qual obteve-se resultados eficazes, como no ensaio de inchamento em espessura que possui como valor normativo o índice máximo de 12%, onde todas as amostras apresentaram valores satisfatórios, sendo o maior índice de 2,85%.

No ensaio de tração também foi verificado a presença de aceitação normativa entre todas as amostras do compósito, onde foi adotado como referência normativa o índice de $\geq 0,55$ N/mm², e dentro do campo amostral obtiveram-se valores entre 5,30 N/mm² e 15,04 N/mm², superando as expectativas da norma.

Outro parâmetro normativo cumprido por todas as amostras foi o teste de flexão, onde aplicou-se o parâmetro normativo de 20 Mpa, e o menor valor obtido foi de 21,28N na amostra A70, logo na grande maioria dos testes, todas as amostras apresentaram bom desempenho, entretanto, para critério de seleção de melhor amostra, foi possível analisar que a amostra A70 possui melhor desempenho em 60% dos testes quando comparado com as demais amostras, então para atender o objetivo desse estudo a amostra ideal possui proporção de 70% de pena e 30% de resina, sendo a amostra com menor proporção de material fibroso testado.

Considerando a substituição integral da madeira que leva cerca de 7 a 12 anos na produção de painéis de MDF, por um compósito que possui mais da metade da sua composição por material fibroso gerado a partir de 40 dias, que é o período médio de abatimento de frangos, têm-se uma redução de 91,32% em relação ao período de produção da matéria-prima tradicional.

Verificou-se a quase inexistente literatura que trata acerca do presente tema, o que fortaleceu o desenvolvimento desta pesquisa, para produções futuras, considera-se a aplicação do compósito para análise do aspecto estético e do valor conceptual que se pode atribuir ao produto, além de verificar as condições de aplicação em outros setores e com outras caracterizações, como os aspectos acústicos.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, J.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Influence of cellulose nanocrystal/sisal fiber on the mechanical, thermal, and morphological performance of polypropylene hybrid composites. **Polymer Bulletin**, v. 78, n. 3, p. 1609–1635, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004-Resíduos: Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15316-1:2019-Painéis de fibras de média densidade - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2019.

ALONSO, R. S. **Pena de frango: estudo das características físicas das fibras têxteis**. 2013. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo.

ALONSO, R. S. **Estudos preliminares sobre a valorização têxtil de penas provindas da indústria da avicultura** (Tese de Doutorado). 2017. Université de Haute-Alsace e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mulhouse.

APRILE, M. (2015). **Aves - Planos de Aula**. Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/planos-de-aula/medio/biologia-aves.htm>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

AZAMBUJA, R. da R.; CASTRO, V. G.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Recycling wood waste from construction and demolition to produce particleboards. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, v. 20, p.681-690, 2018.

BALLA, V. K.; KATE, K.H.; SATYAVOLU, J.; SINGH, P.; TADIMETI, J.G.D. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 106956, 2019.

BANSAL, Gagan *et al.* Composite fabrication and characterization using chicken feather fiber, fish residue particulate and epoxy resin matrix amalgamation. **Int. J. Eng. Technol. Sci. Res**, v. 5, n. 3, p. 474-480, 2018.

BELINI, U. L., & TOMAZELLO, Filho, M. (2010). Avaliação tecnológica de painéis MDF de madeira de *Eucalyptus grandis* confeccionados em laboratório e em linha de produção industrial. **Ciência Florestal**, 20(3), 493–500. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050982063>. Acesso em: 11 jul. 2023.

BELL'ARTE. **Slow furniture: entenda o que é o movimento que chegou ao mercado moveleiro**. 2022. Disponível em: <https://www.bellarte.com.br/slow-furniture-entenda-o-que-e-o-movimento-que-chegou-ao-mercado-moveleiro>. Acesso em: 19 jul.2023.

BESSA, João *et al.* Characterization of thermal and acoustic insulation of chicken feather reinforced composites. **Procedia engineering**, v. 200, p. 472-479, 2017.

BRAGA, Juliana. Ecodesign. Estudo de caso de estratégias aplicadas a produtos nacionais. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, v. 13, n. 2, p. 28-40, 2014.

BRASIL. 2010. **Lei nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

CAVALCANTI, Fernando Antônio Villar Ramalho. **Avicultura caipira: estudo de mercado para a cadeia da galinha caipira**. 2019. Natal: SEBRAE/RN. 108p. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/e-book-avicultura-caipira-final.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CESAR, Paulo. **Propriedades dos materiais**. São Paulo. 2020. Apresentação em slide. 17 slides. USP. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2663917/mod_resource/content/1/Aula%20-%20Propriedades%20dos%20Materiais%20-%20Paulo%20Cesar.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

COSTA, Pedro Zohrer Rodrigues da *et al.* **Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e protótipos em plantas mínimas**. 2018.

CUBILLOS, C. (2016). Birds section. **Scientific illustration**. Birds, Bogotá-Colombia.

DA SILVA ARAUJO, Elesandra *et al.* Variação das propriedades tecnológicas de painéis MDF em uma linha de produção industrial no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e478101119951-e478101119951, 2021.

DA SILVA JUNIOR, Edson Barbosa; DOS SANTOS, Thiago Nascimento; DOS SANTOS ARAÚJO, Áureo. A sustentabilidade na construção civil. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 15, n. 1, p. 51-58, 2022.

DE CAMPOS, Tacio Mauro Pereira. **Desafios para aplicação da metodologia do Berço-ao-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP**. 2012. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

DE JESUS PACHECO, Diego Augusto *et al.* Redução do impacto ambiental na produção de cerâmicas: implicações e análise de investimentos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 112-123, 2015.

DIRYANA, I.; KURNIWAN, G. I. Brand Equity of Green Products THROUGH Customer Trust and Customer Value. In: **First International Conference on Economics and Banking**. Disponível em: < <http://goo.gl/dJhJhO>>. Acesso em: 10 jul.2023.

EMBRAPA. **Transferência de Tecnologia Florestal: Pínus**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas#:~:text=As%20espécies%20que%20melhor%20se,Pinus%20oocarpa%2C%20oriundos%20do%20Caribe>. Acesso em: 10 fev. 2024.

FARIA, V. Brasil pode reciclar 98% dos resíduos da Construção Civil, mas só consegue dar conta de 21%. **Gazeta do povo**.2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/brasil-pode-reciclar-98-dos-residuos-da-construcao-civil-mas-so-consegue-dar-conta-de-21/>. Acesso em: 01 jun. 2022.

FERNANDES, Cristiane do Nascimento et al. Painéis de partículas elaborados do mesocarpo do dendê como alternativa ao MDF utilizado na construção civil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 169-176, 2019.

FERREIRA, Taiza Naiana da Silva *et al.* **O Uso de polímeros reciclados na construção civil: uma proposta de habitação sustentável**. 2023.

FERREIRA, R. T. L.; AMATTE, I.C.; DUTRA, T.A.; BURGER, D. Experimental characterization and micrography of 3D printed PLA and PLA reinforced with short carbon fibers. **Composites Part B: Engineering**, v. 124, p. 88–100, 2017.

FEROZ, S., MUHAMMAD, N., RANAYAKE, J., & DIAS, G. (2020). Keratin - Based materials for biomedical applications. **Bioactive Materials**, 5(3), 496–509.

FONTGALLAND, Isabel Lausanne. **Economia circular e consumo sustentável**. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. 86 p.

FREIRE, C. de S., SILVA, D. W., SCATOLINO, M. V., CÉSAR, A. A. da S., BUFALINO, L., & MENDES, L. M. (2011). Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Floresta e Ambiente**, 18(2), 178–185. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2011.036>. Acesso em: 10 jul.2023.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto; TOMAZELLO, Mario; BORTOLETTO, Geraldo. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massas específicas e teores de resina. **Ciência Florestal**, v. 10, p. 75-90, 2000.

GEDOZ, Liliane. **Gerenciamento de resíduos sólidos gerados em uma propriedade de criação de aves para abate**. 2014.

GONÇALVES, Rafael Abrantes; MONTEIRO, Veruschka Escarião Dessoles. **Mecânica dos solos experimental**. 2019.

GURGEL, Miriam. **Projetando espaços: guia de arquitetura de interiores para áreas comerciais**. Editora Senac São Paulo, 2020.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (Simex). **Mapeamento da exploração madeireira no Amazonas – Agosto 2020 a Julho 2021**. 2022. Belém: Imazon, Idesam, Imaflora e ICV. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/sistema-de-monitoramento-da-exploracao-madeireira-simex-mapeamento-da-exploracao-madeireira-no-amazonas-agosto-2020-a-julho-2021/>. Acesso em: 10. Abr 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Trimestral do abate de animais (2022)**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/abate/tabelas>. Acesso em: 12 jul.2023.

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.

JUNIOR, O. (2013). **Produção e Caracterização de Compósitos à Base de Fibra de Curauá, Amido Termoplástico e Polietileno, Utilizando-se a Termografia**. Dissertação de Mestrado em Design, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Programa de Pós-graduação em Design (PPGD), Belo Horizonte.

KRAVCHENKO, Grégory Adad *et al.* Eficiência de diferentes adesivos para a confecção de painéis de bambu laminado. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 212-219, 2015.

KREUTZ, Juliana Cristina *et al.* **Propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de poliestireno e MDF**. 2019.

LANES, M. I. **Moradia contemporânea sustentável**. 2017. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20507/8/MORADIA%20CONTEMPORANEA%20SUSTENTAVEL.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

LINHARES, Henrique. **A importância das resinas na fabricação de tintas e os seus tipos**. Só Hélices.2017. Disponível em: <http://sohelices.com.br/a-importancia-das-resinas-na-fabricacao-de-tintas-e-os-seus-tipos/>. Acesso em: 10 set. 2022.

Marketplace for secondary Capital Equipment. Used Fei Nova Nanosem 200. Disponível em: <https://caeonline.com/buy/scanning-electron-microscopes/fei-nova-nanosem-230/9074929>. Acesso em: 10 jul. 2023.

Marques, (2011). **Fibrous materials reinforced composites production techniques**. In Figueiro, R. (org.), *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications* (pp. 191-215). Oxford: Woodhead Publishing

MAZUCATO, Thiago *et al.* **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. Penápolis: Funep, 2018.

MINUTTI, Fernanda Aparecida Alonge. **Uso de pena de galinha na produção de painéis para construção civil**. 2018.

MORA, L.; REIG, M; TOLDRÁ, F. Bioactive peptides generated from meat industry byproducts. **Food Research International**, v. 65, n. 1, p. 344-349, 2014.

MORAIS, Vinicius Souza. **Projeto e construção de Charpy utilizando a modelagem numérica da plataforma Ansys® no estudo comparativo entre ensaios numéricos e práticos a partir de diferentes propriedades mecânicas de materiais compósitos**. 2016.

PALMA, Julia de C. *et al.* **Processo de fabricação e design de moveis produzidos com Mdf reciclado**. São Paulo. 2022.

PEREIRA, Adriana Soares *et al.* **Metodologia da pesquisa científica**. 2018.

PINHEIRO, Marco Antonio Paula. **Proposta para integração do ecodesign na gestão de portfólio de produtos**. 2017.

PINTO, Diego. Estudos mecânicos. **Ensaio de impacto**. 2016. Disponível em: <https://estudosmecanicos.blogspot.com/2016/06/ensaio-de-impacto.html>. Acesso em: 21.jul.2023.

RICKMOND SCIENTIFIC. **Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR Spectrometer**. Disponível em: <https://www.richmondscientific.com/product/perkin-elmer-spectrum-100-ft-ir-spectrometer>. Acesso em: 20 mai. 2023.

RODRIGO, Thiago. **Indústria moveleira fechou 2021 com queda de 2,4% em volume, aponta Abimóvel: abimóvel apresenta dados oficiais do desempenho da indústria moveleira. 2021. Abimóvel apresenta dados oficiais do desempenho da indústria moveleira no ano de 2021 e no primeiro mês de 2022**. 2022. Disponível em: <https://emobile.com.br/site/industria/industria-moveleira-fechou-2021-com-bbbbqueda-de-24-em-volume-aponta-abimovel/#:~:text=Voltando%20aos%20n%C3%BAmeros%20de%202022,foi%20de%2021%2C7%25..> Acesso em: 10 jul. 2023.

SAMPAIO, Lívia Modesto de Melo. **Joalheria contemporânea: material compósito reforçado com fibras de penas de frango**. 2021. Tese de Doutorado.

SANTANA, Rhaldney Felipe de; ARAGÃO JÚNIOR, Wilson Ramos; EL-DEIR, Soraya Giovanetti. **Resíduos sólidos: desenvolvimento e sustentabilidade**. 2020.

SANTOS, Miriane Moreira Fernandes *et al.* **Elaboração de filme ativo e biodegradável a base de queratina e hidrolisado proteico extraídos da pena de frango caipira.** 2023.

SEBRAE. **Conheça a economia solidária, que incentiva produção socialmente justa.** 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-a-economia-solidaria-que-incentiva-producao-socialmente-justa,2a47bc9ee5826810VgnVCM1000001b00320aRCRD#:~:text=Economia%20solid%C3%A1ria%20na%20pr%C3%A1tica&text=Adotar%20um%20modelo%20de%20economia,pelo%20lado%20econ%C3%B4mico%20e%20ambiental>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Prensa de compressão.** 2023. Disponível em : <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/emic-equipamentos-e-sistemas-de-ensaios-ltda/produtos/maquinas-ferramenta/prensa-de-compressao>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SUNADA, Natalia da Silva; ORRICO, Ana Carolina Amorim; CENTURION, Stanley Ribeiro; OLIVEIRA, Arley Borges de Moraes. Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola. 2015. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.45, n.1, p.178-183.

TEIXEIRA, S. (2017). **Como forçar a Renovação de Penas de Galinhas.** CPT - Comissão Pastoral da Terra.2017.

TESFAYE, Tamrat *et al.* Valorisation of chicken feathers: Characterisation of physical properties and morphological structure. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 349-365, 2017.

VENTURA, A. (2009). Os Compósitos e sua Aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas. **Revista Ciência & Tecnologia dos Materiais**, 21(3/4), 10-19.

VICENTINI, Dienyfer Luana; DE OLIVEIRA, Jully Gabriela Retzlaf. Análise da gestão dos resíduos de avicultura e impactos ambientais no município de Leópolis (PR)/Analysis of the management of poultry waste and environmental impacts in the municipality of Leopoldis (PR). **Geografia em Atos (Online)**, v. 4, n. 11, p. 05-26, 2019.

VICTORIA, Isabel Cristina Moreira *et al.* **Design de produto aplicado à cultura slow: mobiliário urbano modular.** 2017.

ZANINI, Noelle C. *et al.* Revaluation of Australian palm residues in polypropylene composites: Statistical influence of fiber treatment. **Journal of Composite Materials**, v. 55, n. 6, p. 813-826, 2021.

ZHIGILEI, L. (2010). **Sítio Eletrônico do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade da Virgínia.** Disponível em MSE 209: Introduction to the Science and Engineering of Materials: <http://people.virginia.edu/~lz2n/mse209/Chapter1.pdf>>. Acesso em 13. Jul.2023.

