UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE PARINTINS
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ENDERSON BELÉM FREITAS

NOVO COMPÓSITO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO (ISOPOR) E DE MADEIRA (SERRAGEM) NA SUA PRODUÇÃO

PARINTINS-AM
2025

ENDERSON BELÉM FREITAS

NOVO COMPÓSITO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO (ISOPOR) E DE MADEIRA (SERRAGEM) NA SUA PRODUÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Centro de Estudos Superiores de Parintins, da Universidade do Estado do Amazonas como requisito obrigatório ao Trabalho de Conclusão de Curso e obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof.. Dr. Ademir Castro e Silva

PARINTINS-AM
2025

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

F862n Freitas, Enderson Belém
Novo compósito : Aproveitamento de resíduos de poliestireno (isopor) e de madeira (serragem) na sua produção / Enderson Belém Freitas . Manaus : [s.n], 2025.
45 f.: color.; 21,0 cm.

TCC - Graduação em Ciências Biológicas- Licenciatura- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.
Inclui Bibliografia.
Orientador: Ademir Castro e Silva.

1. Compósitos . 2. Reciclagem . 3. Isopor . 4. Serragem . 5. Sustentabilidade. I. Ademir Castro e Silva (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)57

ENDERSON BELÉM FREITAS

NOVO COMPÓSITO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO (ISOPOR) E DE MADEIRA (SERRAGEM) NA SUA PRODUÇÃO

Aprovado em 18 de JUNHO de 2025 pela Comissão Examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Presidente/Prof. Dr. Ademir Castro e Silva

Dra. Adriana da Silva Nunes

Espec. Jorge Pontes Koide

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ***a Deus***, por me conceder o dom da vida, por ter me protegido e me fortalecido durante toda a minha trajetória. Sua presença foi essencial, iluminando meu caminho, guiando minhas escolhas e me dando coragem para superar os desafios que surgiram.

Ao meu herói, meu pai, ***Adjair Freitas (in memoriam***), que, mesmo sem ter a oportunidade de acompanhar de perto minha trajetória acadêmica, foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Seu maior sonho era ver um de seus filhos tornar-se universitário, e hoje, com imensa emoção, dedico esta vitória a você. Esta conquista é sua também, meu herói. Te amarei eternamente e carregarei para sempre seus ensinamentos, sua força e o seu amor.

À minha rainha guerreira, minha mãe, ***Walcilene Belém***, que durante toda a minha caminhada nunca deixou que me faltasse nada. Mesmo à distância, seu amor sempre me acolheu, me aqueceu e me fortaleceu. Você é, e sempre será, o meu maior exemplo de força, determinação e coragem. Meu porto seguro, minha inspiração, meu tudo. Esta conquista é, acima de tudo, uma homenagem à sua luta e ao seu amor incondicional. Te amo!

Ao meu querido irmão, ***Enerson Belém***, que, mesmo à distância, nunca deixou de me apoiar, sempre me ajudando como podia, e me incentivando a seguir em frente. Sua presença, mesmo que muitas vezes silenciosa, foi essencial para que eu não desistisse dos meus sonhos. Você também faz parte desta conquista, e ela é tão sua quanto minha. Gratidão eterna, meu irmão!

À minha caçula, minha irmã***, Mirlanda Belém***, que, na minha ausência, assumiu com tanto amor e responsabilidade o cuidado da nossa maior preciosidade, nossa querida mãe. Irmã, o seu apoio, sua força e sua dedicação me ajudaram imensamente, mesmo que, às vezes, você nem tenha percebido. Saiba que sou profundamente grato por tudo. Te amo, e esta vitória também é sua!

Ao meu amigo e "coorientador", ***Raul Campos***, cuja presença, conselhos e ensinamentos foram fundamentais para que eu trilhasse meu caminho acadêmico. Saiba que sou imensamente grato pela sua ajuda, apoio e, principalmente, pelos puxões de orelha tão necessários, que me fizeram crescer não só como estudante, mas também como pessoa. Não tenho palavras suficientes para expressar o quanto foram importantes suas orientações ao longo dessa jornada. Meu sincero e eterno agradecimento!

À minha prima e irmã mais velha, ***Ryllare Dutra***, que sempre esteve ao meu lado como uma verdadeira irmã. Sua presença e apoio foram importantes em vários momentos da minha

trajetória, e sou muito grato por isso. Obrigado por sempre estar por perto, oferecendo conselhos e sendo um exemplo de força e responsabilidade.

À minha pequena ***Ivy***, minha afilhada, meu pinguinho de gente, que, com sua alegria e pureza, transformou muitos dos meus dias mais difíceis em momentos leves e felizes. Durante a elaboração deste trabalho, brincar com você me fazia esquecer, ainda que por alguns instantes, do peso das responsabilidades e das preocupações. Você nem imagina o quanto a sua presença foi importante para mim nesse processo. O dindo te ama demais, pequena, muito mais do que as palavras podem expressar!

Agradeço, de forma muito especial, à minha prima ***Lilia Silva***, por todo apoio nos primeiros períodos da faculdade, especialmente durante o período em que as aulas eram online. Sua generosidade em ceder sua casa e sua internet foi fundamental para que eu pudesse acompanhar as aulas e continuar os estudos naquele momento tão desafiador. Muito obrigado por ter acreditado em mim e por ter me ajudado quando eu mais precisei. Sua ajuda foi essencial para que eu chegasse até aqui.

À minha família, ***meus avós, tios, tias, primos e primas***, que de alguma forma, estiveram direta ou indiretamente presentes nesta trajetória. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo ou mesmo a simples torcida silenciosa foram essenciais para que eu chegasse até aqui. A todos vocês, a minha eterna gratidão!

À minha amiga ***Eneida Butel***, uma das amizades mais sinceras que a universidade me proporcionou. Você me acolheu desde o início e, juntos, dividimos sorrisos, choros, vitórias e dificuldades. Aprendi, com você, que família vai muito além dos laços de sangue, ela se constrói na convivência, no apoio e na cumplicidade. Teve momentos em que quase nos matamos (risos), mas justamente essas diferenças e desafios só fortaleceram ainda mais nossa amizade. Sou muito grato por ter conhecido você, Butel!

À minha amiga ***Quésia Gadelha***, uma amizade que fui cultivando com o tempo na universidade e que se tornou muito especial para mim. Além de amiga, você é uma artista uma cantora e violonista talentosa, com dons que Deus lhe concedeu e que nos ajudaram a transformar muitos momentos difíceis em instantes de alegria e descontração. Mesmo que, às vezes, parecesse apenas uma brincadeira entre amigos quando a turma estava reunida, suas músicas cantadas e sua presença tornavam tudo mais leve e especial. Sou muito grato por esses momentos e pela sua amizade, Qués/Pat!

À minha best, ***Alessandra Batalha,*** uma amizade construída com muitas gargalhadas e momentos inesquecíveis. Seu carisma contagiante sempre foi essencial quando a turma se

reunia, era garantia de boas risadas e de um ambiente leve e divertido. Sua alegria fazia toda a diferença e tornou a nossa convivência ainda mais especial. Sou muito grato por ter compartilhado essa fase da vida com você, Alê!

Ao meu amigo, ***Alexandre Brito***, que, logo no início, mesmo sem me conhecer direito, não hesitou em me ajudar. Admito que, às vezes, você me irritava ao ponto de quase me fazer perder o meu "réu primário" (risos), mas, acima de tudo, sempre esteve ali quando eu mais precisava, especialmente nos momentos de crise de ansiedade. Sua presença e apoio foram fundamentais para que eu conseguisse seguir em frente. Muito obrigado por tudo, amigo!

Ao meu orientador, Professor Doutor ***Ademir Castro***, que me guiou com sabedoria, paciência e profissionalismo ao longo desta trajetória acadêmica. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, e sou profundamente grato por todo o conhecimento compartilhado, pelos ensinamentos e pela confiança depositada em mim. Muito obrigado por ter contribuído de forma tão significativa para a realização deste sonho!

Aos ***professores do Colegiado de Ciências Biológicas*** do CESP/UEA, minha sincera gratidão por todo o conhecimento transmitido, pela dedicação e pelo comprometimento com a nossa formação. Cada disciplina, orientação e conselho contribuíram de maneira significativa para a construção da minha trajetória acadêmica e pessoal. Muito obrigado por fazerem parte desta conquista!

Aos meus ***professores da educação básica, do ensino fundamental e médio,*** que partilharam comigo não apenas o conhecimento, mas também o gosto pela educação e pelo aprendizado. Cada um de vocês, de alguma forma, contribuiu para que eu chegasse até aqui, despertando em mim a curiosidade, a disciplina e o amor pelo estudo. Minha sincera gratidão a todos!

A todas as pessoas que, de alguma forma, estiveram ao meu lado durante essa caminhada, torcendo pela minha vitória, apoiando, incentivando, e, muitas vezes, oferecendo ajuda silenciosa, mas essencial. Sei que, sem o apoio de vocês, muitos momentos teriam sido ainda mais difíceis. Cada palavra de conforto, cada gesto de carinho ou de incentivo, mesmo que parecessem pequenos, fizeram uma enorme diferença no meu percurso. Esta conquista não é só minha, mas também de todos que acreditaram em mim, que vibraram a cada passo dados e que nunca deixaram de me lembrar do meu potencial. ***Muito obrigado a cada um de vocês!***

Meus pais nunca tiveram muitas oportunidades, mas sempre que eu tinha, eles diziam: "Vai, nós damos um jeito." Por isso o meu "vou vencer" não é apenas por mim, é por nós.

RESUMO

Este trabalho investigou a produção de compósitos a partir de resíduos de poliestireno expandido (isopor) e serragem de madeira no município de Parintins-AM. A pesquisa teve caráter experimental, com coleta dos resíduos, preparo das misturas e prensagem para formação dos compósitos. Três tratamentos foram realizados (T1, T2 e T3), utilizando diferentes proporções e métodos de combinação entre os materiais. O T1, apresentou baixa resistência e foi descartado dos testes finais. Os tratamentos T2 e T3 demonstraram melhor desempenho em testes de rigidez, flexibilidade, lixamento, fixação de pregos/parafusos e absorção de água. Os resultados evidenciam que a combinação de isopor dissolvido em thinner com serragem pode gerar um material resistente, de boa trabalhabilidade e potencial para uso na construção civil e mobiliário. O estudo contribui para a valorização de resíduos sólidos e reforça a importância da sustentabilidade, promovendo soluções inovadoras e acessíveis para o reaproveitamento de resíduos urbanos.

Palavras-chave: Compósitos, Reciclagem, Isopor, Serragem, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study investigated the production of composite from expanded polystyrene (Styrofoam) waste and sawdust in the city of Parintins, Amazonas. The research was experimental, with waste collection, mixture preparation and pressing to form the composites. Three treatments were performed (T1, T2 and T3), using different proportions and combination methods between the materials. T1 showed low resistance and was discarded from the final tests. Treatments T2 and T3 demonstrated better performance in tests of stiffness, flexibility, sanding, nail/screw fixation and water absorption. The results show that the combination of Styrofoam dissolved in thinner with sawdust can generate a resistant material, with good workability and potential for use in civil construction and furniture. The study contributes to the valorization of solid waste and reinforces the importance of sustainability, promoting innovative and affordable solutions for the reuse of urban waste.

Key Words: Composites, Recycling, Styrofoam, Sawdust, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de compósitos obtidos com os tratamentos.....33
Figura 2. Aspecto do material obtido utilizando plástico e serragem 34
Figura 3. Desempenho ao processo de serrar das amostras do T2 e T3.....35
Figura 4. Desempenho ao processo de lixar das amostras dos tratamentos T2 e T3 35
Figura 5. Teste de rigidez e flexibilidade das amostras do T2 e T3.....36
Figura 6. Teste de rigidez e flexibilidade das amostras após período de aquecimento em 180 ºC 37
Figura 7. Fixação de pregos e parafusos nas amostras do T2 e T3 38

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Teor de umidade absorvido pelo compósito nos diferentes tratamentos 39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. OBJETIVOS 18
2.1 Objetivo Geral ..... **Erro! Indicador não definido.**
2.2 Objetivos Específicos 18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 19
3.1 RESÍDUOS PLÁSTICOS E SERRAGEM DE MADEIRA: GERAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL 19
3.2 COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO (WPC): DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E APLICAÇÕES 23
3.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO ..25
3.3.1 Extrusão 26
3.3.2 Moldagem por Injeção 26
3.4 SUSTENTABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO 27
4. METODOLOGIA 29
4.1 Coleta de Material 29
4.1.1 Resíduo de serragem: 29
4.1.2 Resíduo de poliestireno (isopor) 30
4.2 Tratamentos 30
4.2.1 Tratamento T1 (serragem + plástico + cola PVC) 30
4.2.2 Tratamento T2 (Poliestireno + cola PVC + serragem) 31
4.2.3 Tratamento três (T3) (serragem madeira sem extrativos+ poliestireno) 31
4.2.3.1 Retirada dos extrativos 31
4.3 Testes físicos do compósito 32
4.3.1 Serragem e Lixamento 32
4.3.2 Teste de rigidez e flexibilidade 32
4.3.3 Teste de fixação de pregos e parafusos 32
4.3.4 Teste de absorção de água 33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 40
REFERÊNCIAS 41

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos poliméricos (plástico) e pela exploração de recursos madeireiros tem impulsionado a busca por soluções mais sustentáveis. O resíduo polimérico, um dos principais poluentes do século XXI, demora centenas de anos para se decompor, gerando sérios danos aos ecossistemas terrestres e aquáticos.

O descarte inadequado desse resíduo, especialmente de materiais como o poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor, tem gerado impactos ambientais significativos. O isopor, amplamente utilizado em embalagens, apresenta baixa biodegradabilidade e ocupa grandes volumes em aterros sanitários, contribuindo para a poluição ambiental.

Paralelamente, resíduos de madeira, como serragem proveniente de madeiras mistas, também são frequentemente descartados de forma inapropriada, representando desperdício de matéria-prima que poderia ser reutilizada. No entanto, esses dois tipos de resíduos possuem grande potencial de reaproveitamento e podem ser transformados em novos produtos com valor agregado, contribuindo para a redução de impactos ambientais e promovendo a economia circular.

O município de Parintins (AM) possui um Polo industrial Moveleiro, conhecido como Distrito Industrial, onde marcenarias e movelarias geram significativa quantidade de resíduos de madeira, especialmente a serragem.

Diante desse cenário, a produção de novo compósito utilizando-se esses resíduos surge como alternativa sustentável que possibilita a sua reciclagem, transformando-os em um material de valor agregado, com propriedades físicas e mecânicas interessantes para aplicações na construção civil, mobiliário e outras áreas. A combinação de isopor dissolvido em thinner com serragem de madeira mista oferece potencial para a fabricação de um compósito que alia resistência, durabilidade e reaproveitamento de resíduos.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de aproveitar resíduos sólidos como o poliestireno expandido (isopor) e a serragem, os quais estão presentes no município de Parintins, no Estado do Amazonas, que está a 372 quilômetros em linha reta distante da sua capital Manaus. O município destaca-se por sediar um dos maiores espetáculos a céu aberto do Brasil, o Festival Folclórico de Parintins, onde são produzidas grandes alegorias que utilizam, em sua maior parte, o isopor como material base. Após o evento uma quantidade significativa

desse material é descartada, resultando em um volume expressivo de resíduos plásticos que, se não forem corretamente destinados, podem causar impactos ambientais.

A proposta é explorar metodologias de reciclagem e reprocessamento para transformar o poliestireno expandido e a serragem em novos materiais que possam ser utilizados em diversas aplicações, e ocasionem baixo impacto ambiental.

Com isso, visa-se não apenas a redução do volume de resíduos gerados, mas também a criação de uma cadeia de valor que promova a sustentabilidade e o uso eficiente dos recursos naturais.

Através deste projeto, pretende-se fornecer soluções inovadoras para a indústria, ao mesmo tempo em que se busca sensibilizar sobre a importância de práticas de reaproveitamento e reciclagem no contexto de uma sociedade que almeja reduzir seu impacto ambiental. Além disso, o estudo contribuirá para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e aplicáveis ao aproveitamento de resíduos, permitindo que pequenas e médias empresas também possam adotar tais práticas de forma eficaz.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo investigar e desenvolver alternativas para o aproveitamento de resíduos poliméricos e serragem de madeira produzido no município de Parintins (AM), buscando transformar esses materiais em subprodutos úteis e sustentáveis.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver e avaliar um processo sustentável para o aproveitamento de resíduos plásticos e madeireiros, tipo serragem, transformando-os em subproduto alternativo e ecológico com viável potencial de substituição da madeira.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as características dos resíduos plásticos e da serragem de madeira para identificar suas propriedades e potencial de reutilização em novos produtos.
- Desenvolver método de processamento e combinação de resíduos plásticos e serragem de madeira com o intuito de gerar biocompostos ou outros materiais sustentáveis, adequados para diferentes aplicações.
- Avaliar a maleabilidade e trabalhabilidade do subproduto gerado a partir dos resíduos plásticos e da serragem de madeira, verificando sua adequação para aplicações práticas em setores como construção civil, embalagens ou materiais compostos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos plásticos e serragem de madeira: geração e impacto ambiental

Com a Revolução Industrial, iniciou-se uma nova era de produção acelerada, que permitiu a fabricação em massa de bens e serviços. Esse avanço impulsionou o consumo de matérias-primas naturais, intensificado posteriormente pelo progresso das tecnologias modernas.

A Revolução Industrial representou uma ruptura nos sistemas tradicionais de produção, ao introduzir processos mecanizados e intensificar o uso de fontes energéticas fósseis, como o carvão. Esse avanço permitiu a fabricação em massa e em menor tempo, ao custo de uma exploração crescente dos recursos naturais. Segundo Hobsbawm (1996), essa transformação foi comparável apenas às grandes revoluções da antiguidade, como a domesticação das plantas e dos animais, dado seu impacto duradouro nas estruturas sociais e econômicas. Para White (1943), o nível de desenvolvimento cultural de uma sociedade está diretamente relacionado à sua capacidade de captar e usar energia de forma eficiente, sendo a Revolução Industrial um marco nesse processo.

Como consequência desse modelo produtivo intensivo, muitos materiais extraídos da natureza passaram a se transformar em resíduos sólidos industriais, seja por má utilização ou pelas sobras dos processos industriais. De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 10004 da associação Brasileira de Normas Técnica – ABNT (2004):

> O resíduo é todo material descartado nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado, não apresenta valor de uso ou econômico na forma em que se encontra, podendo causar impactos negativos ao ambiente quando manejados de maneira imprópria.

Quando não são adequadamente reaproveitados, esses materiais são frequentemente descartados de forma inadequada no meio ambiente, o que acarreta diversos impactos negativos. Os despejos inadequados e ambientalmente incorretos dos resíduos podem afetar o solo, as águas superficiais e subterrâneas, a paisagem e propiciar a proliferação de agentes patogênicos e animais sinantrópicos (ratos, baratas, moscas, mosquitos, cobras etc. (SILVA, 2015).

Nos últimos anos, a construção civil e os setores industriais têm registrado um crescimento expressivo, contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento econômico.

Contudo, esse avanço tem gerado impactos ambientais relevantes, principalmente em razão da intensificação dos processos produtivos. Estima-se que toneladas de resíduos sólidos sejam geradas diariamente, entre eles destacam-se os resíduos de compostos plásticos e os subprodutos da madeira, como a serragem, resultantes da atividade industrial e da construção civil.

> Cerca de 40% do resíduo produzido em uma cidade é derivado da construção civil, de forma que de acordo com as estimativas até o ano de 2050 irá ser produzidos 27 bilhões de toneladas ao ano de resíduos gerados no mundo, o que gera uma preocupação para a comunidade pois gera um grande impacto no equilíbrio do ecossistema (Evangelista, Costa e Zanta, 2010; Guerreiro *et al*., 2013; Brasileiro e Matos 2015).

Um dos principais vilões desse cenário é o plástico, material sintético derivado do petróleo, amplamente utilizado na fabricação de milhares de produtos. O consumo de plástico está intimamente relacionado ao modo de vida das sociedades modernas, estando presente nos objetos domésticos, brinquedos, transportes, roupas e utensílios em geral (Araújo; Cavalcanti, 2016).

Chamadas de polímeros, as macromoléculas formadoras dos mais diversos tipos de plástico apresentam alta resistência à degradação natural no meio ambiente. Anualmente, são produzidos milhares de produtos cuja matéria-prima principal é o plástico.

Sua versatilidade, durabilidade e baixo custo explicam sua presença massiva em praticamente todos os setores da sociedade moderna. De acordo com Franchetti; Marconato, (2006), Estima-se que determinadas variações deste material levem ao menos 100 anos para sua total degradação, uma vez que suas propriedades de elevada massa molar e de média hidrofobicidade prejudicam o cultivo de microrganismos e a atuação das enzimas em sua superfície.

Um grande exemplo de polímero é o poliestireno expandido (EPS) mais conhecido como isopor, é um material plástico derivado do petróleo, devido a sua leveza, facilidade de moldagem e baixo custo fazem com que o mesmo seja bastante utilizado. É composto por 98% de ar e apenas 2% da matéria-prima poliestireno (Franca; Viana; Rodrigues, 1997). Por ser volumoso e leve, ocupa grande espaço em aterros sanitários e pode permanecer no ambiente por longos períodos. O poliestireno expandido (EPS -Expandable PolyStyrene) é um plástico celular rígido, resultado da polimerização do estireno em água (Abquim, 2019).

De acordo com a Abrapex (online, s/p):

> EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a Norma DIN ISSO-1043/78. No Brasil, é mais conhecido como "Isopor®", marca registrada da Knauf Isopor Ltda., e designa, comercialmente, os produtos de poliestireno expandido, comercializados por essa empresa. O EPS foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha.

Esses compostos poliméricos se fazem presente em inúmeros produtos utilizados pela sociedade atual, sendo amplamente utilizadas na fabricação de brinquedos, móveis, embalagens, sacolas, garrafas, entre outros produtos. Apesar de seus inúmeros benefícios como versatilidade, leveza e baixo custo, o uso excessivo e o descarte inadequado do plástico tornaram-se um dos maiores desafios ambientais da atualidade. A produção de plástico é um dos principais impulsionadores das mudanças climáticas, representando cerca de 3 a 8% das emissões globais de gases de efeito estufa (Ghosh, 2024).

Frequentemente, resíduos plásticos são despejados em terrenos baldios, vias públicas, lixões a céu aberto e cursos d'água, sem qualquer tipo de tratamento ou destinação final adequada. A grande maioria do plástico e de seus derivados produzidos mundialmente não é reciclada e acaba sendo descartada de forma incorreta, poluindo rios, mares, oceanos, florestas e áreas urbanas. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a poluição plástica já é considerada a segunda maior ameaça ambiental ao planeta, com cerca de 8 milhões de toneladas de resíduos plásticos entrando nos oceanos anualmente (Dias, 2025).

Acredita-se que essas toneladas de plástico que alcançam os oceanos anualmente**,** são provenientes principalmente de centros urbanos, por meio de esgotos ou lixões irregulares. Uma vez no ambiente marinho, esse material se acumula e afeta diretamente os organismos aquáticos**,** como peixes, tartarugas, aves e mamíferos, que podem ingerir fragmentos de plástico ao confundi-los com alimento, resultando em sufocamento, obstrução do trato digestivo e, muitas vezes, morte. No ambiente marinho, o lixo plástico pode ser carregado por milhares de quilômetros pelas correntes oceânicas, afetando a vida de tartarugas, pássaros, mamíferos marinhos, corais, assim como uma variedade de peixes e crustáceos, sendo um dos importantes problemas ambientais marinhos globais do século XXI (Santos et al., 2012).

No solo, a presença do plástico dificulta a oxigenação e a drenagem, modificando a qualidade do mesmo, prejudicando assim o crescimento de plantas. Um outro fator grave é a liberação de substâncias extremamente tóxicas, alguns tipos de plástico durante o seu processo de degradação acabam liberando substâncias perigosas, que podem contaminar o solo e os lençóis freáticos, contaminando a água que ingerimos. Muitos produtos plásticos são

considerados tóxicos, pois durante sua fabricação são colocados vários aditivos tóxicos tanto para o ambiente quanto à saúde humana (Hammer; Kraak; Parsons, 2012, p. 05).

O plástico causa inúmeros problemas para a vida, desde a poluição dos rios, mares e oceanos. Como também no solo, contribuindo no aumento de lixões a céu aberto, liberando substâncias tóxicas e também ao ar, na queima do plástico substancias nocivas são liberadas para a atmosfera. Para minimizar esses impactos, é fundamental reduzir o uso de plásticos descartáveis, separar corretamente os resíduos, incentivar a reciclagem e apoiar políticas públicas de gestão integrada de resíduos sólidos. A gestão eficiente de resíduos é essencial para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade.

Conforme Yamaji (2004) apesar dos plásticos serem um dos grandes motivos de preocupações da sociedade, outras atividades como a madeireira vem afetando o equilíbrio do meio ambiente pelo grande volume de resíduos gerados. Além dos resíduos plásticos, o manuseio da madeira também gera grandes volumes de resíduos, especialmente nas indústrias madeireiras e da construção civil.

Segundo Schneider et al. (2007) boa parte dos resíduos sólidos da cadeia produtiva de madeira são gerados no processamento da madeira serrada. A produção e o processamento de madeira geram grandes volumes de resíduos, como serragem, lascas, aparas e fragmentos.

Esses materiais são considerados subprodutos resultantes tanto das etapas iniciais e secundárias de beneficiamento quanto do uso direto da madeira. Segundo Tuoto (2009), no Brasil são gerados milhões de toneladas anualmente de resíduos de madeira advindas de diversas fontes, sendo as principais: a indústria madeireira, construção civil e o meio urbano (poda de arborização, cascas, serragem, entre outros. Em grande parte das construções do Brasil, os resíduos de madeira não possuem destino específico. Sua maior utilização tem sido como substrato de solo, cama em criadouros de aves, cavalos e outros animais (Fagundes, 2003).

Porém quando isso não é mais possível, os resíduos são simplesmente queimados ou descartados, uma das destinações mais utilizadas por construtoras é enviar a madeira que não pode mais ser utilizada para olarias, que utilizam o calor da queima para a produção de blocos cerâmicos. Segundo Marozzi (2012), no Brasil são gerados aproximadamente 60 milhões de toneladas de resíduos madeireiros por ano. Durante o processo de transformação de uma madeira, são aproveitados 40% a 60% de seu volume, assim observa-se um alto índice de desperdício, visto que na maioria das vezes são manuseados incorretamente.

O processamento da madeira gera uma quantidade expressiva de resíduos que, na maioria das vezes, não são reaproveitados. Um exemplo comum é a serragem, formada por partículas finas resultantes do corte da tora pela lâmina de serra. Apesar de seu volume significativo, esse resíduo costuma ter baixo aproveitamento industrial devido ao seu alto grau de impurezas e contaminação, o que dificulta sua reutilização em produtos à base de madeira.

Além disso, a serragem é altamente inflamável, representando um risco considerável de incêndios. Quando queimada, libera gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO_2), contribuindo para o agravamento do aquecimento global. Conforme Brand et al. (2002) com a formação de resíduos, pode surgir problemas como o assoreamento e poluição dos rios, poluição do ar por causa da queima dos mesmos, perda de espaço para o armazenamento, deixando também a serraria com aspecto sujo e propiciando maior índice de acidentes.

A disposição inadequada da serragem em corpos hídricos pode causar sérios impactos ambientais, principalmente devido à formação de uma camada superficial que impede a troca gasosa entre a água e a atmosfera. Esse bloqueio reduz a oxigenação da água, levando à morte de organismos aquáticos e ao desequilíbrio do ecossistema.

Além disso, a prática comum de queimar serragem como forma de descarte também traz consequências negativas. Durante a combustão, são liberados diversos poluentes atmosféricos como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado fino e hidrocarbonetos voláteis.

Esses compostos contribuem para a degradação da qualidade do ar, intensificam o efeito estufa e agravam problemas respiratórios na população exposta. Diante desses impactos, é fundamental adotar alternativas sustentáveis para o manejo da serragem, valorizando seu reaproveitamento e reduzindo os danos ao meio ambiente.

Portanto, é essencial que alternativas sustentáveis sejam incentivadas para o manejo da serragem, evitando a queima e promovendo seu reaproveitamento em cadeias produtivas mais limpas e eficientes. Proteger a natureza exige mudanças de hábito e políticas públicas que estimulem práticas ambientalmente corretas.

3.2 Compósitos madeira-plástico (WPC): definição, histórico e aplicações

Os compósitos são materiais formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos com o objetivo de criar um produto que tenha propriedades superiores às dos materiais originais quando usados isoladamente. Nesse caso, os principais materiais a serem combinados são os resíduos de madeira, a serragem e resíduos poliméricos, como o poliestireno expandido, com o intuito de criar um compósito polimérico resistente.

Segundo Agnelli (2000), compósitos poliméricos são materiais compatibilizados constituídos por pelo menos duas fases ou dois componentes, sendo geralmente uma fase polimérica denominada matriz polimérica e outra fase de reforço, normalmente na forma de fibras.

Para a ASTM (2001), compósita é uma mistura física, de dois ou mais materiais combinados para formar um novo material útil de engenharia com propriedades diferentes aos componentes puros, podendo ser obtidos por combinação de metais, cerâmicas ou polímero. Nesse sentido, compósito é uma mistura física, de dois ou mais materiais combinados para formar um novo material útil de engenharia com propriedades diferentes aos componentes puros, como a serragem e o plástico, originando um compósito madeira-plástico.

Os compósitos madeira-plástico é conhecido pela sigla WPC-Wood Plastic Composites (composto de madeira plástica), ou PVC/Wood são materiais compostos pela combinação de fibras ou partículas de madeira como serragem, pó de madeira ou fibras vegetais com termoplásticos, como polietileno-PE (sacolas plásticas, garrafas PET, copos descartáveis, etc.), poliestireno-PS (esferoide, isopor) ou PVC. A mistura das fibras com os termoplásticos da origem a um produto híbrido que reúne as melhores características dos dois materiais a resistência e o visual natural da madeira, com a durabilidade e a resistência à umidade do plástico. A ideia principal é sempre unir dois materiais, buscando sinergia de propriedades (Rodolfo Jr. E John, 2006).

O WPC é um tipo de madeira plástica, resultando da combinação de dois resíduos o poliestireno expandido e a serragem, a ideia de se criar um material proveniente de dois compósitos surgiu na Europa, por volta da década de setenta, onde se falavam pela primeira vez sobre madeira plástica. O desenvolvimento dos WPCs teve início em larga escala a partir da década de 1990, especialmente nos Estados Unidos e na Europa, impulsionado pela busca por materiais mais sustentáveis e resistentes para uso externo. Entretanto, o maior crescimento vem ocorrendo a partir da última década (Clemons, 2002)

De acordo com Eckert (2000), a maior parte do mercado de WPC’s está na construção civil com materiais do tipo polietilenos, polipropilenos e PVC extrusados com resíduo de madeira na forma de perfis para pisos e assoalhos, batentes de janelas e portas, revestimentos dentre muitas outras aplicações. Com o avanço das tecnologias de extrusão que é o processo no qual um material compósito passa através de uma matriz em condições controladas de pressão e temperatura, moldando o material em peças com a geometria especifica.

Atualmente, o WPC é visto como uma alternativa ecológica e funcional à madeira tradicional e a outros materiais sintéticos. De acordo com o documento da Agenda 21 Global (BRASIL, 1995), que aborda sobre esse tipo de tecnologia como aquelas que:

> [...] protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam todos os recursos de forma mais sustentável, reciclam mais seus resíduos e produtos e tratam os dejetos residuais de uma maneira mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir. (BRASIL, 1995, f. 1).

Os compósitos WPC apresentam uma alta versatilidade e vem se destacando cada vez mais, atuando em vários setores por se tratar de um material que apresenta resistência mecânica, durabilidade, baixa manutenção e boa resistência à umidade. Sendo assim, bastante utilizado na construção civil, em forma de pisos, forros, fachadas, decks, etc. Devido à essas propriedades, são amplamente utilizados em muitas indústrias diferentes (Brigante, 2014).

Além da aparência semelhante à madeira natural, os WPCs oferecem vantagens como resistência à umidade, ao apodrecimento, aos cupins e à necessidade reduzida de manutenção não precisam ser envernizados ou pintados com frequência, por exemplo. No entanto, é importante ressaltar que os compósitos madeira-plástico podem ter propriedades físicas e mecânicas diferentes da madeira natural, o que pode afetar sua aplicação em algumas situações (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

3.3 Processos de fabricação de compósitos madeira-plástico

Os compósitos madeira-plástico WPC são produzidos a partir da mistura de fibras ou partículas de madeira com polímeros. A proporção entre esses componentes é fundamental para definir as características finais do material. A escolha adequada dos componentes e a sua proporção podem melhorar significativamente o desempenho dos WPCs em diversas aplicações (López; Rojas, 2018).

De modo geral, a formulação típica do WPC utiliza entre 50% a 70% de fibras naturais ou resíduos de madeira, enquanto o restante, 30% a 50%, corresponde ao polímero. O equilíbrio dessa proporção é essencial, uma maior quantidade de fibras pode conferir ao WPC um aspecto mais próximo da madeira natural e maior rigidez, mas pode comprometer a resistência a umidade. Por outro lado, o aumento da quantidade de polímero pode melhorar a impermeabilidade e a durabilidade, embora possa reduzir a rigidez e a aparência natural.

Ruch et al. (2004) citam os principais processos para a preparação e moldagem de componentes confeccionados com materiais compósitos de matriz termoplástica reforçados

com fibras naturais, que são: extrusão, injeção, plastificação/prensagem, preparação de formulação/injeção e processo NMT que é utilizado para termoplásticos reforçados com mantas de fibras naturais.

A extrusão, moldagem por injeção, moldagem por compressão, a calandragem e outras tecnologias podem ser empregadas no processo produtivo do WPC, porém os sistemas de extrusão e injeção são os mais utilizados (Vantsi, 2015).

Essa mistura passa por diferentes processos de fabricação para se transformar em peças sólidas e utilizáveis. A escolha do processo depende do formato, aplicação e propriedades desejadas do produto final. Para qualquer compósito termoplástico, os componentes devem ser previamente misturados para em seguida ocorrer a moldagem para o produto desejado (Schwarzkopf; Burnard, 2016).

3.3.1 Extrusão

Basicamente o processo de fabricação do WPC consiste em duas etapas distintas, sendo a mistura dos componentes e a moldagem do produto final. Esse processo consiste na dispersão e incorporação das fibras da serragem no polímero fundido. Para esse procedimento geralmente são utilizadas extrusoras, são os equipamentos mais comuns para a fabricação de WPC. Uma rosca ou parafuso sem fim transporta o material peletizado através de uma câmara onde é sucessivamente compactado, fundido e conformado como uma carga contínua de um fluído viscoso (Callister Jr.; Rethwisch, 2015).

A extrusão é o método mais utilizado na fabricação de WPCs. Nela, os materiais são misturadas simultaneamente por um parafuso. Ao passo que a mistura é aquecida por fricção entre as paredes da câmara, parafuso e matriz-madeira, assim como por zonas de aquecimento ao longo do comprimento (Schwarzkopf; Burnard, 2016). No final do processo, a solidificação do segmento extrudado é acelerada por sopradores de ar, por borrifo de água ou por um banho (Callister Jr; Rethwisch, 2015).

Etapas principais:

- Mistura dos componentes (fibras de madeira, polímeros e aditivos);
- Aquecimento da mistura;
- Força-se o material fundido através de um molde com o formato desejado;
- Resfriamento e corte do produto final.

3.3.2 Moldagem por Injeção

O processo de moldagem por injeção, apesar de menos utilizado que o por extrusão na produção de CMP, pode ser utilizado para fazer uma variedade de produtos com formatos complexos (Schwarzkopf; Burnard, 2016). Neste processo por injeção, o material é injetado em um molde e em seguida é resfriado e posteriormente é ejetado para que outra peça possa ser confeccionada. Se diferencia do processo de moldagem por extrusão, pois, o material misturado não é moldado passando pela matriz da extrusora, e sim já é injetado em um molde.

A injeção é usada para peças menores, com formas mais detalhadas.

Etapas principais**:**

- A mistura é derretida e injetada sob pressão em moldes metálicos;
- Após resfriar, a peça é retirada do molde.

A fabricação de WPCs une sustentabilidade e tecnologia, aproveitando resíduos de madeira e plástico para criar materiais resistentes e de baixo impacto ambiental. Outro fator crucial é a compatibilidade interfacial entre os polímeros e as fibras naturais, que influencia a coesão da matriz do compósito e, consequentemente, o seu desempenho, técnicas de modificação de superfície, como o uso de compatibilizantes, têm sido amplamente investigadas, pois melhoram a adesão interfacial, resultando em melhorias nas propriedades mecânicas, possibilitando seu uso em setores como a construção civil, mobiliário urbano e indústrias automotivas (Kieling Et Al., 2019; Fletes *et al*., 2020; Feng *et al*., 2020). A escolha do processo ideal depende da aplicação final, do formato desejado e do custo de produção.

3.4 Sustentabilidade e viabilidade econômica do uso de compósitos madeira-plástico

A utilização de polímeros sintéticos, que muitas das vezes dependem do petróleo, com fibras ou partículas provenientes de recursos naturais renováveis, permite adquirir materiais com custos competitivos e depender menos das reservas de petróleo (Rodolfo Jr. E John, 2006). Os compósitos madeira-plástico (WPC) são considerados uma alternativa ecologicamente correta aos materiais convencionais, como a madeira maciça ou plásticos puros, principalmente por promoverem o reaproveitamento de resíduos.

Sua produção utiliza: Fibras ou resíduos de madeira (serragem, pó de madeira, bagaço de cana, entre outros). Plásticos reciclados (sacolas plásticas, copos descartáveis, garrafas PETs, isopor, entre outros). Schwarzer, Rocha e Seleme (2021) constataram, em um estudo realizado sobre uma empresa produtora de madeira plástica, que no período de um ano, entre setembro de 2019 e agosto de 2020, essa empresa retirou do meio ambiente 14.964,14 toneladas de resíduos plásticos.

A fabricação do WPC pode ajudar a reduzir na redução dos compósitos de plásticos que são descartados de forma incorreta no meio ambiente. Isso é importante porque os plásticos podem levar centenas de anos para se decompor e podem causar danos ambientais significativos (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

A utilização da serragem no processo de fabricação de WPC apresenta algumas vantagens, a principal é o aproveitamento dos resíduos de madeira que iriam para o lixo ou seriam descartados em locais inadequados ou de formas incorretas, contribuindo para a redução de impactos relacionado ao descarte incorreto desse resíduo. Outro aspecto benéfico da utilização desse produto é sua capacidade de prevenir a derrubada de árvores, que é um fator responsável por 75% da emissão de gás carbônico no Brasil, sendo que esse é o principal gás causador do efeito estufa (Máximo, 2007).

Essa combinação reduz a quantidade de resíduos sólidos enviados aos aterros e diminui a extração de madeira nativa, contribuindo para a preservação das florestas. Além disso, essa prática reduz a necessidade de extração de madeira de fontes naturais, o que ajuda a preservar as florestas e ecossistemas, evitando a degradação ambiental associada à exploração da madeira (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

Os produtos WPC possuem grande durabilidade, são resistentes à umidade, ao ataque de cupins, ao apodrecimento e à corrosão. Isso acontece por que os compósitos de plástico utilizados para a fabricação do WPC são bastante resistentes a possíveis ataques desses organismos. É importante ressaltar que essa resistência pode variar dependendo da qualidade dos materiais utilizados na produção, bem como das condições ambientais em que é utilizado (Brigante, 2014).

Outra vantagem é que testes indicam que a madeira plástica quando molhada é menos escorregadia que a madeira natural (Guamá et al., 2008). Os decks de madeira plástica tornaram-se uma alternativa popular à madeira natural por exigirem pouca manutenção. Eles dispensam a necessidade de vedação, pintura, lixamento ou substituição frequente de tábuas danificadas

O uso dos compósitos de madeira plástica está crescendo rapidamente e isso se deve às vantagens desse produto em relação à madeira, como não rachar, não empenar, exigir pouca ou nenhuma manutenção e ser facilmente moldado em formas complexas (Brandt; Fridley, 2003). Do ponto de vista econômico, os WPCs apresentam várias vantagens:

- Redução de custos com manutenção, pintura e tratamento químico em comparação com a madeira natural;

- Vida útil prolongada, o que diminui a necessidade de trocas frequentes;
- Aproveitamento de materiais recicláveis, que podem ter custo mais baixo que matérias-primas virgens;
- Produção em larga escala por processos industriais eficientes como extrusão e injeção, reduzindo o custo por unidade.

Embora o investimento inicial possa ser um pouco maior em alguns casos quando comparado à madeira comum, o custo-benefício a médio e longo prazo é muito positivo, especialmente em aplicações externas ou que exigem alta durabilidade. Também é importante considerar os benefícios que ela oferece, como versatilidade e resistência à umidade, além de ser uma opção mais sustentável (Colom *et al*., 2003).

Vantagens econômicas utilizando materiais reciclados, WPCs materiais ecologicamente corretos comparados aos compósitos poliméricos tradicionais, redução da dependência de fontes não renováveis de energia e materiais, menores emissões de poluentes, menores emissões de gases do efeito estufa e recuperação de energia, biodegradabilidade de alguns componentes (Vantsi, 2015). O uso de materiais reciclados em compósitos madeira-plástico traz benefícios econômicos e ambientais, como a redução da dependência de recursos não renováveis, menores emissões de poluentes e gases do efeito estufa, além da possibilidade de biodegradação parcial e recuperação de energia.

A madeira plástica oferece diversas vantagens em comparação aos materiais convencionais. Entre elas, destacam-se a boa resistência mecânica e a rigidez, características fundamentais para aplicações estruturais e semiestruturais. Além disso, seu baixo peso e facilidade de processamento a tornam uma alternativa atrativa para uma ampla gama de usos.

4. METODOLOGIA

4.1 Coleta de Material

4.1.1 Resíduo de serragem:

A serragem utilizada neste experimento é proveniente de resíduo coletado no Distrito Industrial Moveleiro, localizado no município de Parintins (AM), onde significativa concentração de pequenas movelarias e serralherias que diariamente, geram consideráveis volumes de resíduos madeireiros, especialmente sob a forma de serragem.

A coleta foi feita de maneira sistemática, respeitando os horários de trabalho e funcionamento das movelarias e serralherias, com o objetivo de minimizar interferências nas

atividades produtivas. Para garantir qualidade do material coletado priorizou-se a serragem mista e livre de contaminantes como vernizes, colas, tintas e outros produtos químicos.

O resíduo serragem de uma única espécie também foi coletada caracterizando-se esta como amostra unitária da madeira de *Mezilaurus itaúba*, conhecida como "Itauba".

Todo material coletado foi alocado ao local de triagem, no caso, o LABEF-Laboratório de Estudos Fúngicos, onde passou por uma etapa de separação e limpeza para posterior análise e aproveitamento, conforme as necessidades do desenvolvimento deste trabalho.

4.1.2 Resíduo de poliestireno (isopor)

O poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como "isopor", ressaltando que isopor é uma marca, foi coletado aleatoriamente no Município de Parintins, Amazonas. Esta atividade ocorreu especialmente no período que sucede o Festival Folclórico de Parintins, evento cultural de grande relevância na região, onde há um intenso uso desse material na confecção das alegorias utilizadas pelas associações folclóricas.

Após o término do Festival é notório que uma grande quantidade de isopor é descartada inadequadamente sem destinação apropriada. Assim, a coleta foi realizada em pontos estratégicos da cidade onde o acúmulo desse resíduo é mais evidentes, como arredores do Bumbódromo, áreas próximas aos galpões de produção das alegorias e vias públicas de grande circulação. O material coletado foi limpo, livre de contaminantes e cortado em pedaços pequenos para facilitar a sua dissolução no solvente industrial thinner.

4.2 Tratamentos

4.2.1 Tratamento T1 (serragem + plástico + cola PVC)

Nesse tratamento foram utilizadas 100 g de resíduos de serragem mista e 25 g de um resíduo plástico, proveniente do reaproveitamento de garrafas plásticas de álcool, esse resíduo foi obtido diretamente no próprio laboratório. O material foi cortado manualmente, utilizando uma tesoura, conferindo ao material uma granulometria irregular, porém adequada para o teste.

Todo esse material foi colocado em um becker e adicionou-se 100 ml de cola específica para a colagem de tubos de PVC; a cola foi sendo introduzida aos poucos. Essa mistura foi homogeneizada através do uso de bastão de vidro, misturando vigorosamente a mistura.

Em seguida, a massa resultante foi colocada em molde de prensagem, com o objetivo de moldar e compactar o material, favorecendo a eliminação de bolhas de ar e garantindo maior coesão estrutural. Após isso, o material permaneceu na prensa até a secagem total, um processo

que durou aproximadamente 72 h, assegurando a completa evaporação do solvente e a estabilização do compósito formado.

4.2.2 Tratamento T2 (Poliestireno + cola PVC + serragem)

O primeiro passo foi fazer a diluição do poliestireno expandido, para a preparação da mistura, foi utilizado 50 g de poliestireno expandido (isopor), o qual foi dissolvido em 250 ml de thinner, utilizando um recipiente de vidro adequado para conter e facilitar a manipulação dos materiais. O thinner, solvente comumente composto por hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, possui a capacidade de romper as ligações físicas que mantêm a estrutura expandida do poliestireno. Dessa forma, ao entrar em contato com o isopor, o thinner promove sua dissolução, causando a desagregação da espuma e resultando em uma mistura viscosa.

Após a completa adição do poliestireno ao thinner, a mistura foi deixada em repouso por aproximadamente 40 minutos, permitindo que a dissolução ocorresse de maneira homogênea e completa.

Após a dissolução do poliestireno acrescentou-se 60 g de serragem e 40 ml de cola PVC, esta com o intuito de favorecer a adesão eficiente entre materiais poliméricos e lignocelulósicos, como a serragem, utilizados neste experimento.

Em seguida, o compósito homogeneizado foi colocado em uma prensa de ferro, confeccionada especificamente para este experimento, numa prensagem a frio. Esse método foi escolhido para evitar a volatilização excessiva dos solventes e a degradação térmica dos materiais, preservando suas propriedades físico-químicas. O compósito permaneceu na prensa até a completa secagem, um processo que durou 72 h, garantindo a estabilização e resistência necessárias para a obtenção de um material sólido e uniforme.

4.2.3 Tratamento três (T3) (serragem madeira sem extrativos+ poliestireno)

Para este tratamento utilizou-se a serragem da madeira de *Mezilaurus itaúba* sem os extrativos.

4.2.3.1 Retirada dos extrativos

Estes foram retirados com solvente etanólico onde 50g de serragem foi adicionada a 200 ml de etanol, e a mistura deixada repousando por um período de 72 h, sem qualquer agitação mecânica. Após esse período a mistura foi filtrada e a serragem obtida foi seca ao ar livre, e posteriormente utilizada para fabricação do compósito.

A serragem assim obtida foi misturada a 100 ml de poliestireno já líquido, conforme descrito anteriormente, e homogeneizada com bastão de vidro e depois colocada na prensa piloto desenvolvida especificamente para este experimento.

4.3 Testes físicos do compósito

Foram realizados os seguintes testes físicos nos compósitos obtidos: lixamento, serragem, flexibilidade inicial, resistência à fixação de pregos e parafusos e retenção de umidade.

4.3.1 Serragem e Lixamento

Esses testes tiveram o objetivo de avaliar a trabalhabilidade e o acabamento superficial do material. Para o processo de serragem, utilizou-se uma serra de aço pela sua capacidade de realizar cortes precisos e uniformes, além de ser adequada para materiais de maior resistência, como o produto obtido neste experimento.

Já para o lixamento, foi utilizada uma folha de lixa d'água 80, aplicada manualmente nas superfícies das amostras. O objetivo do lixamento foi suavizar as bordas, eliminar possíveis imperfeições resultantes da serragem e verificar a facilidade de acabamento do material obtido.

4.3.2 Teste de rigidez e flexibilidade

Foram realizados em amostras de 13 cm de comprimento por 3 cm de largura e consistiu na aplicação manual de força física diretamente sobre as amostras, realizada pelo pesquisador que tentou entortar os corpos de prova utilizando a força das mãos.

Com o objetivo avaliar o comportamento do material sob a influência de calor, verificando sua capacidade de flexionar ou deformar após exposição a altas temperaturas, o material foi submetido previamente a uma temperatura elevada de 180 °C, permanecendo em aquecimento por um período de 5 minutos. Após esse processo, as amostras foram imediatamente introduzidas em um ambiente controlado durante 2 minutos, a fim de observar possíveis alterações em sua estrutura física.

4.3.3 Teste de fixação de pregos e parafusos

O teste de resistência e fixação teve como objetivo avaliar o comportamento das amostras frente ao uso de elementos de fixação mecânica, como pregos e parafusos. Para isso, foram utilizados pregos telheiro de 2,5 polegadas, prego comum de 2,0 polegadas, 1,5 polegadas e de 1,0 polegada. e parafusos de 2,0 x 45 polegadas e de 1,5 x 40 polegadas.

O processo de fixação foi realizado com o auxílio de um martelo e de uma chave de Philips, garantindo a inserção adequada dos pregos e parafusos nas amostras. As dimensões das amostras utilizadas no teste foram padronizadas, 13 cm de comprimento por 3 cm de largura.

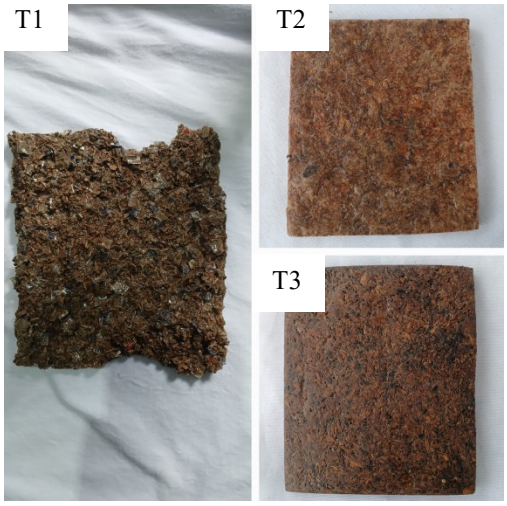
4.3.4 Teste de absorção de água

Para este foram utilizados corpo de prova nas dimensões de 3 x 1,5 cm, que foram pesados (P1) e colocados em recipiente de vidro com 200 ml de água por um período de 24 horas. Após esse período os mesmos foram retirados da água, secos superficialmente com papel toalha para eliminar o excesso de água na superfície e pesados (P2); posteriormente foram secos ao ar livre, e pesados (P3).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram realizados três tratamentos distintos (T1, T2 e T3), visando à produção de compósitos a partir da combinação de resíduos de serragem de madeira e resíduos poliméricos (Figura 1).

Figura 1. Tipos de compósitos obtidos com os tratamentos



Fonte: O autor, 2025

O Tratamento T1 produziu material com rugosidade acentuada em função das dimensões partículas de plástico utilizadas. Observou-se baixa aderência com as partículas de serragem e polímero. Esse fator comprometeu não apenas a coesão interna do material, mas também sua resistência mecânica, resultando em um compósito de aspecto grosseiro, frágil e estruturalmente inconsistente (Figura 2).

Figura 2. Aspecto do material obtido utilizando plástico e serragem

Fonte: O autor, 2024

É importante ressaltar que a resistência mecânica e rigidez dos compósitos podem variar dependendo da formulação utilizada (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

Esse comportamento pode ser atribuído à incompatibilidade entre a matriz polimérica utilizada, notadamente a sua morfologia dimensional, no T1 e o reforço lignocelulósico, dificultando a formação de ligações físicas e químicas entre os componentes. Além disso, a distribuição não homogênea do polímero evidenciou a necessidade de materiais com maior fluidez e capacidade de impregnação, características fundamentais para a produção de compósitos de qualidade (Ariyo *et al.,* 2025).

A deformação excessiva e a fragilidade estrutural indicaram que este polímero, nas condições empregadas, não seria viável para a fabricação de compósito. Apesar de não ter seguido para as etapas seguintes de ensaios, o T1 foi fundamental para direcionar o ajuste metodológico da pesquisa.

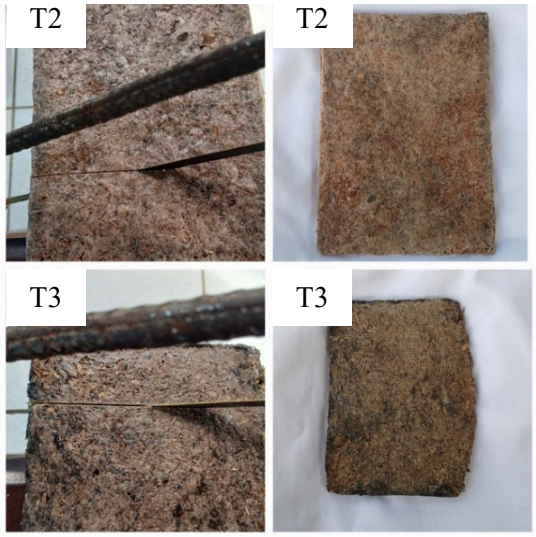
A partir dessa constatação, optou-se pela substituição do polímero, passando a utilizar o poliestireno expandido, a substituição do polímero pelo EPS, nos tratamentos subsequentes (T2 e T3), o que evidenciou uma melhora significativa na interação matriz-reforço. O EPS, por apresentar uma estrutura mais leve e capacidade de fusão a baixas temperaturas, favoreceu a penetração e aderência à serragem, resultando em compósitos mais coesos e resistentes.

Outro aspecto importante discutido neste estudo é a influência das proporções entre serragem e polímero na qualidade final do compósito. Observou-se que a variação nas proporções impactou diretamente nas propriedades do material.

Em relação a avaliação do compósito produzido no teste do processo de serrar e lixamento, neste caso para os tratamentos T2 e T3, os resultados obtidos indicaram um

desempenho bastante satisfatório, sobretudo no que diz respeito à trabalhabilidade do material. Durante a serragem, os compósitos demonstraram uma dureza adequada, possibilitando a penetração e o avanço da serra sem resistência excessiva. Esse comportamento é indicativo de uma matriz polimérica mais homogênea e menos rígida (Figura 3).

Figura 3. Desempenho ao processo de serrar das amostras do T2 e T3



Fonte: O autor, 2025

Além disso, um aspecto relevante observado foi à ausência de falhas estruturais durante o processo de serragem. Não houve ocorrência de rachaduras, fissuras ou desagregação das fibras, indicando uma boa coesão entre a matriz polimérica e as partículas lignocelulósicas presentes no compósito. Esse resultado é importante, pois demonstra que a técnica de dissolução do poliestireno em thinner favorece uma melhor impregnação e aderência entre os componentes, reduzindo as tensões internas e aumentando a integridade do material frente a esforços mecânicos de corte.

O processo de lixamento também apresentou resultados positivos e complementares aos observados na serragem. Para ambos os compósitos produzidos pelos tratamentos T2 e T3, a superfície resultante do lixamento foi considerada de ótimo acabamento, com aspecto uniforme, livre de rebarbas ou falhas visuais. Um ponto particularmente relevante foi à ausência de dispersão das fibras, o que evidencia uma eficiente encapsulação das partículas lignocelulósicas pela matriz polimérica. De acordo com Ghatage, Kar e Sudhagar, (2020) esse fator é essencial para a durabilidade e o desempenho estético do produto final, evitando problemas comuns como o desprendimento de fibras ou a formação de superfícies ásperas e irregulares (Figura 4).

Figura 4. Desempenho ao processo de lixar das amostras dos tratamentos T2 e T3

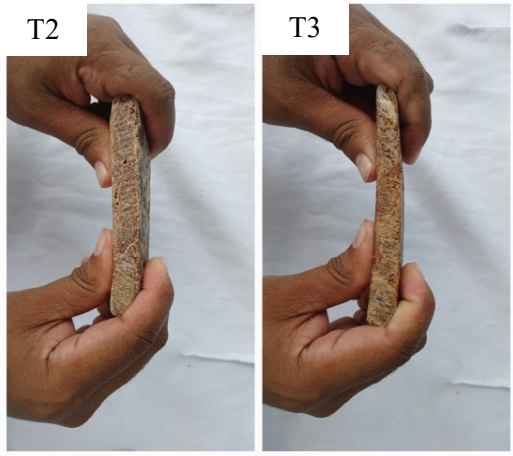
Fonte: O autor, 2025

Outro aspecto que merece destaque é a facilidade e a baixa exigência de esforço físico para a execução das etapas de serragem e lixamento nos tratamentos T2 e T3.

Essa característica sugere que o poliestireno dissolvido em thinner não apenas melhora a trabalhabilidade do compósito, mas também pode representar vantagens significativas em processos produtivos em escala industrial ou artesanal, reduzindo custos e otimizando o tempo de fabricação (Callister; Rethwisch, 2016).

No teste de rigidez e flexibilidade, as amostras dos tratamentos T2 e T3 foram padronizadas de 13 cm de comprimento por 3 cm de largura. A aplicação de força física manual não resultou em deformações visíveis nas amostras. Observou-se que, apesar da constituição do material incluir serragem de madeira e poliestireno expandido materiais que isoladamente apresentam menor resistência mecânica, a combinação entre eles proporcionou um compósito com alta rigidez estrutural (Figura 5).

Figura 5. Teste de rigidez e flexibilidade das amostras do T2 e T3



Fonte: O autor, 2025

Esse comportamento pode ser atribuído à interação entre as partículas de serragem e a matriz de poliestireno, que ao serem processadas, promovem uma estrutura coesa e resistente à aplicação de força. A rigidez apresentada pelos compósitos confirma a viabilidade do uso de resíduos lignocelulósicos e poliméricos na fabricação de materiais com boas propriedades mecânicas (Kim, 2000).

Logo após as amostras foram expostas a um forno pré-aquecido a 180 °C, permanecendo por um período de 2 minutos. Após esse tempo, as amostras foram submetidas novamente à aplicação de força física pelo pesquisador (Figura 6).

Figura 6. Teste de rigidez e flexibilidade das amostras após período de aquecimento em 180 ºC

Fonte: O autor, 2025

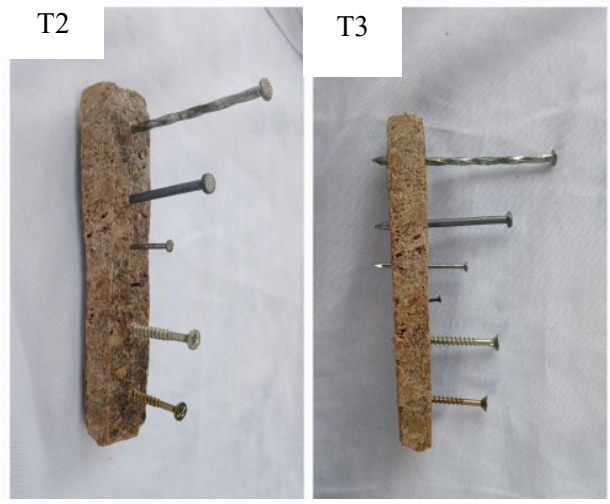
Diferentemente do teste anterior, neste procedimento o material apresentou capacidade de curvatura significativa. A deformação observada pode ser explicada pela ação da temperatura elevada sobre a matriz polimérica (Miyamboto, 2025). O poliestireno expandido (isopor) possui um ponto de amolecimento relativamente baixo, o que torna sua estrutura suscetível à deformação térmica. A elevação da temperatura comprometeu a integridade da matriz polimérica, permitindo que, mediante força física, o compósito se curvasse (Mallick, 2007).

Esse resultado evidencia que, embora o compósito apresente elevada rigidez em temperatura ambiente, ele possui uma flexibilidade térmica considerável, característica típica de materiais termoplásticos. Tais propriedades podem ser vantajosas em aplicações que exijam

resistência mecânica sob condições normais, mas também capacidade de conformação mediante aquecimento, como na fabricação de peças moldadas ou revestimentos.

Em relação à fixação de pregos e parafusos de diferentes tamanhos observou-se que os pregos e parafusos puderam ser inseridos nas amostras com resistência moderada, indicando que o material não era excessivamente rígido ou frágil. A fixação ocorreu de forma eficiente, com os elementos permanecendo bem presos nas amostras, sem apresentar folgas, rachaduras ou desintegração do material ao redor dos pontos de fixação (Figura 7).

Figura 7. Fixação de pregos e parafusos nas amostras do T2 e T3



Fonte: O autor, 2025

Esse desempenho satisfatório pode estar diretamente relacionado à boa aderência entre os componentes do compósito (Beraldo et al., 2002), especialmente entre as partículas de serragem e a matriz polimérica de poliestireno expandido. A utilização do thinner como solvente contribuiu para uma melhor dispersão e homogeneização do poliestireno, facilitando sua interação com a serragem durante a moldagem e solidificação do material. O resultado é uma estrutura coesa, com distribuição uniforme dos elementos e boa capacidade de absorção das tensões geradas pela fixação mecânica.

Além disso, o comportamento positivo das amostras nesse teste reforça o potencial do compósito obtido para aplicações que exigem montagem por fixação, como mobiliário, revestimentos ou elementos construtivos leves. A ausência de trincas ou falhas indica que o material apresenta resistência mecânica local adequada, sendo capaz de suportar esforços pontuais sem comprometer sua integridade estrutural.

Os resultados obtidos indicam que os compósitos desenvolvidos com resíduos de serragem de madeira e poliestireno expandido dissolvido em thinner não apenas apresentam boas características de rigidez e flexibilidade (como visto nos testes anteriores), mas também possuem excelente desempenho no quesito de fixação mecânica. Esse conjunto de propriedades amplia o leque de possíveis aplicações do material, tornando-o uma alternativa viável, econômica e ambientalmente sustentável em substituição a materiais convencionais de madeira ou plástico.

Outro teste realizado no compósito obtido foi o de absorção de água com o objetivo de avaliar a resistência à absorção de umidade dos materiais, um parâmetro essencial para aplicações onde o compósito pode estar exposto a ambientes úmidos (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de umidade absorvido pelo compósito nos diferentes tratamentos

	Tratamento	
	T2	**T3**
Teor de umidade (%)	3,2	0,70

Fonte: O autor, 2025

Os dados indicam que ambas as amostras apresentaram baixo índice de absorção de umidade, sendo o tratamento T3 onde se obteve o menor valor percentual. O poliestireno expandido, mesmo diluído, atua como uma barreira hidrofóbica, reduzindo a penetração de água nas fibras de madeira. No tratamento T3 os extrativos que ocupavam espaços intercelulares na estrutura lignocelulósica da serragem foram retirados. Estes espaços foram ocupados pelo poliestireno dissolvido que é um composto hidrofóbico e que consequentemente impediu a absorção de água pelo compósito nesses espaços vazios.

Esses resultados são relevantes, pois sugerem que o compósito desenvolvido possui potencial para aplicações onde a exposição à umidade é uma preocupação, como mobiliário externo, revestimentos ou elementos de construção civil. Além disso, destaca-se o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos e industriais, promovendo uma alternativa sustentável e de valor agregado.

O compósito obtido demonstrou bom desempenho em testes de serragem, lixamento, rigidez, flexibilidade, fixação com pregos e parafusos, e absorção de água.

A retirada dos extrativos da serragem da madeira de *Mezilaurus itaúba* proporcionou uma menor absorção de água, e consequentemente um baixo teor de umidade para essa amostra.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver e avaliar a viabilidade técnica e ambiental da produção de compósitos a partir do reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos, especificamente o poliestireno expandido (EPS) e a serragem de madeira, no município de Parintins-AM.

Os resultados demonstraram que a união de resíduos plásticos e madeireiros pode originar materiais sustentáveis, de boa resistência mecânica, baixo custo de produção e grande potencial de aplicação em diversas áreas, como a construção civil, produção de mobiliário, artesanato e estruturas leves. O uso do poliestireno dissolvido em thinner, associado à serragem de madeira, apresentou desempenho significativamente superior em relação a outras composições testadas.

É importante ressaltar que, embora os resultados sejam promissores, ainda há espaço para melhorias e avanços. Estudos futuros podem aprofundar:

- a caracterização físico-química dos compósitos desenvolvidos;
- testar diferentes proporções e combinações de materiais;
- aplicar agentes compatibilizantes para melhorar a coesão das fases;
- avaliar as propriedades mecânicas de resistência, tais como: módulos de elasticidade, flexão estática, módulos de ruptura dentre outras;
- avaliar a resistência biológica contra microrganismos xilófagos.

Portanto, conclui-se que a produção de compósitos a partir de resíduos de EPS e serragem não apenas é possível, como representa uma alternativa prática, eficiente e ambientalmente correta. Trata-se de um caminho real para a valorização de resíduos sólidos, a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABQUIM. EPS Brasil -Home **| Poliestireno Expansível** | Comissão Setorial. 2019.

ABRAPEX **- Associação Brasileira do Poliestireno Expandido** – Brasil, s/a. Disponível em: http://www.abrapex.com.br. Acesso em: 17 de outubro de 2024.

AGNELLI, J. A. M. **Curso de aperfeiçoamento em tecnologia de polímeros**: Introdução a materiais poliméricos. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos -UFSCar/SP, 2000.

ARAÚJO, M. C. B.; CAVALCANTI, J. S. S. **Dieta indigesta**: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 10, n. 5, p. 74-81, 2016.

ARIYO, Oladayo; WANG, Wenjia; ZHOU, Aixi. Printability and mechanical properties of wood resin polymer composites manufactured using stereolithography. **Wood and Fiber Science**, n.1,v.2. p32-333. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ASTM Standard D3878-01. **Standard terminology for composite materials**. ASTM International. West Conshohocken, Pa., U.S.A., 2001.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C.; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNANDES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: **Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira**, 8., 2002, Uberlândia. Anais [...]. Uberlândia, 2002.

BILLMEYER JR., F. W. **Textbook of polymer science**. USA: John Willey & Sons, 2 ed., 598 p. 1971.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Transferência de tecnologia ambientalmente saudável, cooperação e fortalecimento institucional**. In: Conferência das nações unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica**: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolitionwaste in theconstructionindustry). Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.

BRIGANTE, D. **New Composite Materials –Selection, Design, and Application**. Nápoles: Editora Springer, 2014.

BRIGANTE, D. **New** Composite Materials-Selection, Design, and Application. Nápoles: Editora Springer, 2014.

CALLISTER JÚNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, p 817, 2012.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução** - 9ª Ed. LTC, 2016.

CLEMONS, G. **Wood-Plastic Composites in the United States** – The Interfacing of Two Industries. Forest Products Journal, v. 52, n. 6, p. 10-18, 2002.

COLOM, X.; CARRASCO, F.; PAGES, P.; CANAVATE, J. **Effects of diferent treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites.** Composites Science and Technology. v. 63, p. 161-169, 2003.

DIAS, S. G. **Poluição plástica é a segunda maior ameaça ambiental ao planeta.** *Jornal da USP*, 26 fev. 2025. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/poluicao-plastica-e-a-segunda-maior-ameaca-ambiental-ao-planeta/. Acesso em: 12 abr. 2025.

ECKERT, C.H. **Market Opportunities for natural fibres in Plastics composites, in**: Proceedings of the Wood-Plastic Conference, p. 87-106, Baltimore, USA, 2000.

EVANGELISTA, P.P.A.; COSTA, D.B.; ZANTA, V.M. **Alternativa Sustentável para destinação de resíduos classe A**: avaliação da reciclagem em canteiros, 2010.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

FENG, Y; et al. **Toughening and reinforcing wood flour/polypropylene composites with high molecular weight polyethylene under elongation flow**. Composites Science and Technology, v. 200, p. 108395, 2020.

FLETES, R, et al. **Morphological and Mechanical Properties of Bilayers Wood-Plastic Composites and Foams Obtained by Rotational Molding. Polymers**, v. 12, n. 3, p. 503, 2020.

FRANCA, A.B.M.; VIANA, M.F.A.; RODRIGUES, M.F. **Estudo comparativo entre laje convencional e lajes com blocos de EPS nas modernas construções de concreto armado**. UFP - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1997; GRUPO http://www.polimex.com.mx/new/ecolog.htm. Acessado em setembro de 2013; 1997.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. **Degradação de plásticos**: uma revisão. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 16, n. 1, p. 1–7, 2006.

GHATAGE, P. S.; KAR, V. R.; SUDHAGAR, P. E. On the numerical modelling and analysis of multi-directional functionally graded composite structures: a review. **Composite Structures**, v. 236, p. 111837, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j. compstruct.2019.111837.

GHOSH, J. **Quem sustenta a Civilização do Plástico.** Instituto Humanitas Unisinos - IHU, 27 set. 2024. Disponível em: https://www.ihu.unisinos.br/categorias/644130-quem-sustenta-a-civilizacao-do-plastico-artigo-de-jayati-ghosh. Acesso em: 12 abr. 2025.

GUAMÁ, F; et al. **Lixo Plástico – de sua Produção até a Madeira Plástica**. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008. Anais... Rio de Janeiro, 2008.

GUERRERO, LA, et al. **Solidwaste management challenges for cities in developing countries**. Waste management, v. 33, n. 1, p.220-232, 2013.

HOBSBAWM, E. J. **A era das revoluções**: 1789–1848. 22. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

KIELING, A, et al. **Compósito de madeira plástica**: Considerações gerais. Scientia Amazonia, Revista online, v.8, n. 1, B1-B14, 2019.
KIM, H. S. On the rule of mixtures for the hardness of particle reinforced composites. **Materials Science and Engineering**: A, v. 289, n. 1-2, p. 30-33, 2000. DOI: https://doi. org/10.1016/S0921-5093(00)00909-6.

KRISHNASWAMY, P.; LAMPO, R. **Recycled-Plastic Lumber Standards**: From Waste Plastics to Markets for Plastic Lumber Bridge. Standardization News, v. 2, 2001.

LORENZETT, J; RIZZATTI, C, Daniel B. **Sacolas plásticas**: uma questão de mudança de hábitos. In:LORENZETTet al.nº 11. P. 2446-2454, jan-abr 2013.

MALLICK, P. K. **Fiber - reinforced composites:** materials, manufacturing, and design. 3ª Ed. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York, 2007.

MAROZZI, C. R. B. **Caracterização de Resíduos Agroindustriais e Florestas Visando a Briquetagem**. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Industrial Madeireiro) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2012.

MÁXIMO, W. **Derrubadas de árvores geram 75% das emissões de gás carbônico no Brasil.** Agência Brasil, Brasília, 2007.
MIYAMOTO, B.T.; SINHA,A. Time-temperature effects on early-stage primary termal creep of playwood and oriented strand board (OSB) at elevated temperatures. **Wood and Fiber Science**, v.57. n.1, pp. 15-26. 2025

MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos-Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**. 2ª ed. Porto: Editora Publindústria, 2010.

OLIVEIRA, S.M.M**. Meio Ambiente, Reciclagem e Tratamento de Resíduos**. Tecpar, 2005.

RODOLFO JR, A.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento de PVC reforçado com resíduos de pinus para substituir madeira convencional em diversas aplicações**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP/SP. 2006.

RUSCH, J.; FRITZ, H.; BURKLE, E.; ZIMMET, R**. Transformação direta facilita a moldagem plásticos reforçados com fibras naturais**. Plástico Industrial, n. 68, p. 44- 63, abril de 2004.

SCHNEIDER, V. E. et al. **Situação ambiental da indústria madeireira** –caracterização e aproveitamento dos resíduos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1-9. 2007.

SCHWARZER, E; et al. **Análise da utilização da logística reversa e sustentabilidade em uma empresa fabricante de madeira plástica**. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo. v. 6, n. 5, p. 109-133, 2021.

SCHWARZKOPF, M. J.; BURNARD, M. D. Wood-Plastic Composites-Performance and Environmental Impacts. In: KUTNAR, A.; MUTHU, S. S. (Eds) 73 Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts. Singapore: Springer. Cap.19-43. 2016.

SCHWARZKOPF, M. J.; BURNARD, M. D. **Wood-plastic composites-performance and environmental impacts**. In: KUTNAR, A; MUTHU, S. S. Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts. Singapore: Springer. p. 19-43. 2016.
SILVA, Otavio Henrique da et al.: **Etapas do gerenciamento de RCC**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria, v. 19, 2015.

TUOTO, M: **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e conduta técnicas para promover o seu uso adequado**. Curitiba; Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio as Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. 2009.

VÄNTSI, O. **Utilization of recycled mineral wool as filler in wood plastic composites. Thesis for the degree of Doctor of Science**. Lappeenranta University of Technology. Finland, 2015.

WHITE, L. A. **Energy and the evolution of culture**. American Anthropologist, v. 45, n. 3, p. 335–356, 1943.

YAMAJI, F. M**. Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.